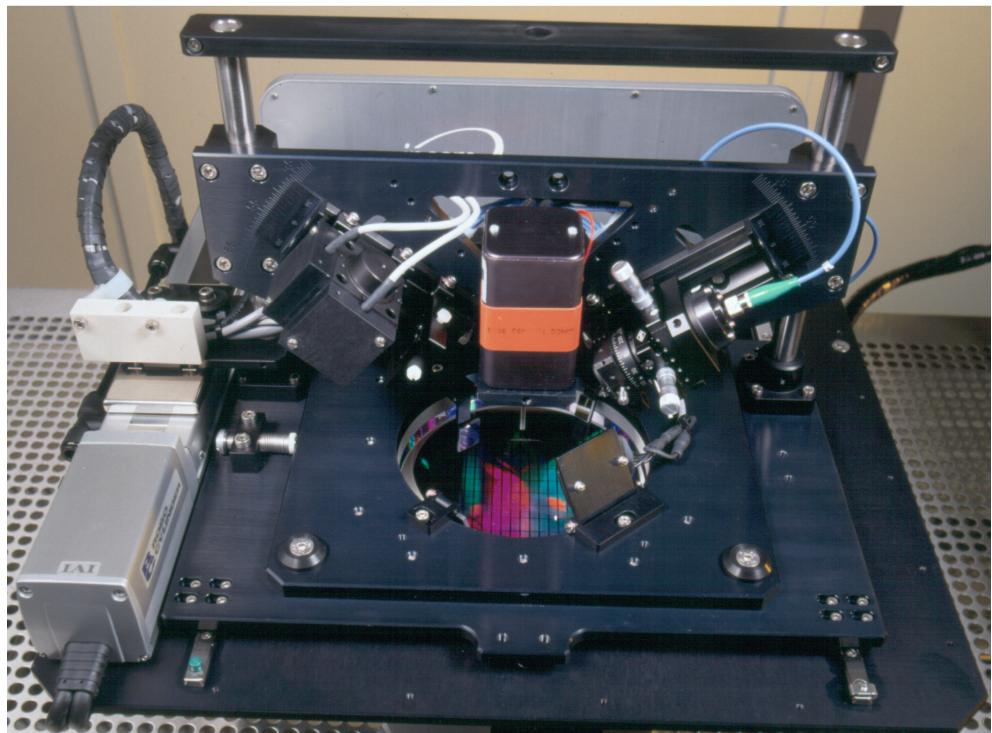





**Fraunhofer** Institut  
Integrierte Systeme und  
Bauelementetechnologie

Leistungen und Ergebnisse  
Jahresbericht 2002

Achievements and Results  
Annual Report 2002





Impressum / Imprint

Herausgeber / Published by:

Fraunhofer-Institut für  
Integrierte Systeme und  
Bauelementetechnologie  
Schottkystraße 10  
D-91058 Erlangen

Redaktion / Editing:

Richard Öchsner  
Heiner Ryssel

Gestaltung und Realisierung/

Layout and Setting:

Markus Pfeffer  
Richard Öchsner  
Felicita Coenen

Druck / Printed by:

Roland Heßler, Baiersdorf

Titelbild / Cover Photo:

Am IISB entwickeltes Meßgerät, das  
mittels Streulichtmessung bei Variation  
des Azimutwinkels Struktur- und Pro-  
zeßfehler detektiert (mit freundlicher  
Genehmigung von Infineon, Dresden).

Scatterometric measurement tool  
based on the variation of the azimuth  
angle, by which defect patterns and  
process faults can be detected (by cour-  
tesy of Infineon, Dresden).

© Fraunhofer-Institut für Integrierte  
Schaltungen, Erlangen 2003

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur  
mit Genehmigung des Instituts.

All Rights reserved. Reproduction only  
with express written authorization.

Leistungen und Ergebnisse  
Jahresbericht 2002

Achievements and Results  
Annual Report 2002

Fraunhofer Institut für  
Integrierte Systeme und  
Bauelementetechnologie, IISB

Fraunhofer Institute of  
Integrated Systems and  
Device Technology, IISB

Institutsleitung / Director:  
Prof. Heiner Ryssel

Schottkystrasse 10  
D-91058 Erlangen  
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-0  
Fax: +49 (0) 9131 761-390  
Email: [info@iisb.fraunhofer.de](mailto:info@iisb.fraunhofer.de)  
Internet: [www.iisb.fraunhofer.de](http://www.iisb.fraunhofer.de)

# Vorwort

Mit diesem Jahresbericht enden 17 Jahre der Gemeinsamkeit mit unserem Schwesterinstitut unter dem gemeinsamen Namen "Institut für Integrierte Schaltungen". Aus den beiden Bereichen "Angewandte Elektronik (IIS-A)" und "Bauelementetechnologie (IIS-B)" werden nun auch formell zwei getrennte Institute. Der Senat hat in seiner Sitzung am 22. Oktober 2002 in Stuttgart die Überführung der beiden Teilinstitute des Instituts für Integrierte Schaltungen IIS-A und IIS-B in zwei eigenständige Institute beschlossen. Die beiden Einrichtungen heißen seit dem 1. Januar 2003:

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Leitung: Prof. Heinz Gerhäuser und

Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), Leitung: Prof. Heiner Rysse

Wegen der deutlich unterschiedlichen Arbeitsgebiete kam es in der Vergangenheit kaum zu gemeinsamen Projekten - mit der Trennung in zwei unabhängige Institute haben sich jedoch einige Ansätze für sehr interessante gemeinsame Vorhaben ergeben.

Seit der Gründung im Jahre 1985 ist es das Ziel des Institutes, die Halbleiterindustrie sowie Geräte- und Materialienunternehmen durch Forschung und Entwicklung zu unterstützen sowie ein umfassendes Dienstleistungsangebot anzubieten. Dieses umfaßt Modellierung und Simulation von Fertigungsprozessen der Mikroelektronik, der Kristallzüchtung, Geräte- und Materialforschung sowie die Entwicklung neuer bzw. verbesserter Prozeßschritte. Eine breite Basis aus technischem und technologischem Know-how, dem Stand der Technik entsprechende Halbleiterfertigungsgeräte sowie innovative Entwicklungen, die auf einen dynamischen Markt abzielen, machen das IISB zu

einem anerkannten und kompetenten Partner für Industrie sowie öffentliche Forschung und Entwicklung.

Das Institut verfügt über moderne Reinnräume, eine Vielzahl von Labors und industriekompatible Prozeßgeräte. Die enge Zusammenarbeit mit der Universität Erlangen-Nürnberg gewährleistet den Zugang zur Grundlagenforschung. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind darüber hinaus durch den Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik koordiniert. Von besonderer Bedeutung ist die Zusammenarbeit mit unseren zahlreichen Partnern aus der Industrie. Die Leistungen innerhalb bilateraler Forschungs- und Entwicklungsverträge sind der Ausgangspunkt für Innovationen und die Reputation auf nationaler und internationaler Ebene.

Im Oktober 2002 wurde am IISB als erstem Institut des Fraunhofer-Verbundes Mikroelektronik ein Strategie-Audit als eines der neuen Mittel der Fraunhofer-Gesellschaft zur strategischen Ausrichtung der Institute durchgeführt. Unter der Leitung von Dr. Reinhard Ploß (Infineon Technologies AG) begutachteten neun Fachexperten aus Industrie und Forschung die aktuellen Geschäftsfelder, Kernkompetenzen sowie die Zukunftsplanungen des IISB, die ihnen über zwei Tage durch die Abteilungen des Instituts vorgestellt wurden. In der äußerst positiven Beurteilung des IISB durch die Auditoren aus dem In- und Ausland wurden vor allem die in vielen Bereichen international herausragende Position, die Geschlossenheit der technologischen Kette von der Kristallzüchtung bis zum Halbleiterbauelement bzw. System sowie der effiziente Einsatz der finanziellen Ressourcen gewürdigt. Als höchst vorteilhaft erweist sich nach Ansicht der Auditoren die enge Kooperation des IISB mit der benachbarten Universität Erlangen-Nürnberg, was nicht zuletzt durch die Personalunion des Leiters des IISB mit

dem Inhaber des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente begründet ist. Insgesamt wurde dem IISB bescheinigt, daß es vollständig den Auftrag eines Fraunhofer-Instituts erfüllt.

Für das IISB stellt das Audit eine ganz besondere Erfahrung dar, die aufgrund der fachlich hervorragenden Leistung der Auditoren und der damit verbundenen Empfehlungen und Erkenntnisse für das Institut in einigen Jahren auf jeden Fall eine Fortsetzung finden wird.

Die bereits in den letzten beiden Jahresberichten erwähnte Mitarbeit des Instituts an der "International Technology Roadmap for Semiconductors" fand wiederum starke internationale Anerkennung. Dies wird u.a. dadurch unterstrichen, daß der Leiter der Abteilung Technologiesimulation des IISB auf Wunsch der Industrie seit Anfang 2002 die Leitung der "International Technology Working Group" (ITWG) "Modeling and Simulation" übernommen hat. Er ist damit unseres Wissens nach der erste nichtamerikanische Leiter einer ITWG.

Die Abteilung Technologiesimulation konnte auch im Jahre 2002 ihren wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Erfolg weiter ausbauen. Mit der Koordination von gleichzeitig insgesamt vier europäischen Verbundprojekten zur Technologiesimulation konnte sie ihre zentrale Rolle auf diesem Gebiet in Europa wiederum bestätigen. Dies zeigt sich auch im bereits angesprochenen Beitrag und Erfolg bei der ITRS. Die Arbeiten der Abteilung zur Entwicklung von physikalischen Modellen für Halbleiterprozesse, von Algorithmen und von dreidimensionalen Simulationsprogrammen sowie zur Technologie- und Bauelementeoptimierung erfolgen in enger Kooperation mit Partnern aus Industrie und Forschung. Diese Zusammenarbeit und die Mitarbeit in Aktivitäten wie der ITRS bieten eine ausgezeichnete Basis



# Preface

With this annual report, 17 years of a common history of the two divisions of the "Institute of Integrated Circuits" end. The two divisions "Applied Electronics (IIS-A)" and "Device Technology (IIS-B)" will become two separate institutes. The Fraunhofer Senate decided in Stuttgart on October 22, 2002 to split the Erlangen IIS consisting of two divisions, IIS-A and IIS-B, into two independent institutes. As of January 1, 2003 their names are:

Fraunhofer Institute of Integrated Circuits (IIS), director: Prof. Heinz Gerhäuser  
and  
Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology (IISB), director: Prof. Heiner Rysse

Because of the clearly different fields of work, there were hardly any joint projects in the past - with the separation of the two independent institutes, some very interesting attempts concerning joint projects have been made.

Since the institute was established in 1985, the mission is to support IC manufacturers as well as the suppliers of equipment and materials by providing R&D and services on a broad scale. This covers modeling and simulation, crystal growth processes as well as key micro-electronic manufacturing processes, equipment and materials research, and development of advanced processing steps. A sound basis of knowledge and skills, state-of-the-art processing equipment and innovative developments targeting at a dynamic R&D market make IISB a well-recognized and competent partner for industry and public R&D.

Supported by industry, the "Förderkreis für die Mikroelektronik", the Bavarian State, and by the German BMBF, the institute has established advanced clean room facilities, laboratories, and industry-compatible processing equipment. Close cooperation with the University

of Erlangen-Nuremberg provides access to basic research. Furthermore, the R&D activities are closely coordinated with the Microelectronics Alliance. Most important, the cooperation with our numerous industrial partners has to be acknowledged. The achievements made within the scope of bilateral R&D contracts are the most important sources of innovation and international reputation.

In October 2002, a strategy audit - one of the new instruments of the Fraunhofer-Gesellschaft for the strategic orientation of the institutes - was held at the IISB for the first time at an institute of the Fraunhofer Microelectronics Alliance. Chaired by Dr. Reinhard Ploss (Infineon Technologies AG), nine experts from industry and research analyzed the current business segments and core competences as well as the strategies for the future, which were presented to them by the departments of the institute during a two-day audit. In the extremely positive assessment of the IISB by the auditors both from Germany and abroad, the in many fields internationally outstanding position, the completeness of the technological chain from crystal growth to semiconductor devices and systems, respectively, as well as the efficient use of the financial resources, were especially appreciated. The close cooperation with the neighboring University of Erlangen-Nuremberg in the auditors' opinion turns out to be supremely beneficial, which is strongly supported by the fact that the head of the IISB also leads the Chair of Electron Devices of the University. In summary, it was attested that the IISB fully completes the mission of a Fraunhofer Institute. For the IISB, the audit represents a very special experience, which due to the professional work of the auditors and the resulting recommendations and insights for the institute will surely find a sequel within a few years.

The involvement of the institute in the preparation of the International Technology Roadmap already mentioned in the preceding two reports was again internationally acknowledged. This was highlighted by the request from industry to the head of the Technology Simulation department of IISB to take over the role as chairman of the International Technology Working Group (ITWG) Modeling and Simulation from the year 2002 on. According to our knowledge he is the first non-american chairperson of an ITWG.

Also in 2002, the "Technology Simulation" department succeeded to extend its economic and scientific success. Its central role within Europe in the area of technology simulation has again been demonstrated by the coordination of four European projects at the same time, and as already mentioned above by the contribution and success in the ITRS. The main areas of activity have been the development of physical models for semiconductor process steps, of numerical algorithms, and three-dimensional simulation programs as well as the optimization of technologies and devices. These activities are carried out in close cooperation with industry and research which, together with the strong involvement in activities like the ITRS, is an excellent basis for the further development of the department and its topics. The field of lithography simulation newly established at the institute in 1999 is an example for the scientific success resulting from this approach: In the meantime, these activities have been widely recognized. Since 2001, IISB holds at the worldwide leading lithography conference, SPIE microlithography, on request from the organizers together with IBM a course on lithography simulation. Because of the positive feedback, this course will now be organized every year.

für die thematische Weiterentwicklung der Abteilung. Als Beispiel für den daraus resultierenden wissenschaftlichen Erfolg sei das seit 1999 am Institut neu aufgebaute Arbeitsgebiet Lithographiesimulation genannt, das mittlerweile breite internationale Anerkennung findet: Unter anderem veranstaltet das IISB seit 2002 im Rahmen der weltweit führenden Konferenz zur Lithographie, der SPIE Microlithography, auf Wunsch der Organisatoren einen Kurs zur Lithographiesimulation. Wegen der sehr positiven Erfahrungen im Jahre 2002 wird dieser Kurs nunmehr jedes Jahr angeboten.

Die Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und Materialien forscht und entwickelt auf den Gebieten neuartiger Fertigungsverfahren, Geräte und Komponenten im Bereich Geräteautomatisierung, Kontamination und Materialien. Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten zu Prozeßkontrollverfahren unter dem Aspekt der "Advanced Process Control (APC)" in Eigenforschungsvorhaben weiter vorangetrieben und in den Rahmen eines industriegeführten Projekt-Clusters strukturiert. Hiervon sollen vor allem mittelständische ASIC- Halbleiterfirmen profitieren, aber auch die Hersteller von Sensoren und Software. Damit ist ein wichtiger Schritt in Richtung e-Manufacturing gelungen. Das gemeinsam mit SEMATECH bearbeitete Projekt zur Evaluierung von FOUPs (front opening unified pods) und deren Reinigungsverfahren wurde erfolgreich abgeschlossen und der industriellen Nutzung zugeführt. Zur Vertiefung der internationalen Zusammenarbeit konnte im Jahre 2001 ein großes Investitionsvorhaben beim BMBF eingeworben werden. Damit ist das IISB gerüstet, die langjährig betriebene Analytik von Medien und Materialien in ein Kompetenzzentrum "Yield Enhancement" einzubringen. Hier werden zu den bestehenden Arbeiten zur Defektdetektion und -charakterisierung, zu Yield-Lern-

prozessen sowie zur Kontaminationskontrolle in der Waferumgebung zukünftig auch Arbeiten zur Yield-Modellierung und zu Defekt-Budgetbetrachtungen angeboten. Gemeinsam mit der Abteilung Technologie konnten erfolgreich Projekte zu Neuen Materialien, insbesondere zu Ferroelektrika, und zu ultradünnen Schichten akquiriert und bearbeitet werden. Vorteilhaft wirken sich hier die umfangreichen Kompetenzen im Bereich von Cluster Tools und von integrierten Prozeßkontrollverfahren aus, die eine rasche Prozeßentwicklung und schnelles Hoch-Rampen zur Fertigungstauglichkeit unterstützen. Des weiteren wurden wiederum Arbeiten zur Vorqualifizierung von Halbleiterfertigungsgeräten begonnen und anhand eines ersten Beispiels zur Equipmentzertifizierung die Zusammenarbeit mit SEMATECH auf diesem Gebiet fortgesetzt.

Um auch in Zukunft den gestiegenen Anforderungen der Halbleiterbranche gerecht zu werden, wurde in der Abteilung Technologie 2002 der Gerätepark erneuert und ergänzt, vor allem im Hinblick auf eine Umstellung von derzeit 150 mm auf 200 mm Wafer in den nächsten Jahren. So wurde die zentrale Chemieversorgung von „Druck-beaufschlagt“ auf „Pumpengefördert“ umgestellt, in der Metallisierung wurden neue Sputtermodule und ein Aluminiumätzter in Betrieb genommen, in der Schichtabscheidung wurden zwei Systeme zur Abscheidung von dotiertem Polysilicium und Nitrid beschafft und die Analytikgruppe erhielt ein neues AFM (atomic force microscopy) mit integriertem SCM- (scanning capacitance microscopy) Modul sowie die Aufrüstung des XPS- (Xray photoelectron spectroscopy) Geräts. Bei der Entwicklung geeigneter Abscheideverfahren dielektrischer Schichten mittels metallorganischer Dampfphasenabscheidung wurden erfolgreich Metallsilikatschichten abgeschieden. Deren

elektrische Charakterisierung zeigte, daß diese Schichten den hohen Ansprüchen zukünftiger Technologiegenerationen gerecht werden. In der Siliciumcarbid-Technologie konnten sehr erfolgreich erstmals mit RTP (rapid thermal processing) SiC-Scheiben nach der Implantation ausgeheilt werden. Die darauf hergestellten Dioden erfüllten alle an sie gestellten Erwartungen. Im Bereich der Ionenimplantation wurde, obwohl bereits vorher ein großer Umfang an Auftragsimplantationen erreicht wurde, dieser 2002 nochmals gesteigert. Ein weiterer Schwerpunkt dieser Gruppe war der gelungene Aufbau einer Endstation zur Implantation bei erhöhten Temperaturen. Bei der Entwicklung von fortschrittlichen Smart Power-Bauelementen ist die Konzeptphase und die Einzelprozeßentwicklung für einen lateralen IGBT (isolated gate bipolar transistor) nahezu abgeschlossen und dessen Herstellung basierend auf 16 Maskenebenen hat begonnen. In der Nanotechnologie konnte mit der Ansiedlung des langjährigen industriellen Kooperationspartner Nanoworld in Erlangen der größte Erfolg erzielt werden. Dadurch ist es möglich, weiterhin bei der Herstellung und Bearbeitung von Spitzen mittels FIB (focused ion beam) für die Nanotechnologie in der Weltspitze mitzuspielen.

Das Fraunhofer-Institut IISB hat im Jahr 2002 seine Position als weltweit anerkanntes Kompetenzzentrum auf dem Gebiet der Kristallzüchtung weiter ausgebaut. In den traditionellen Arbeitsgebieten der Abteilung Kristallzüchtung wurden die Kooperationen mit den Industriepartnern trotz der angespannten Konjunkturlage auf nahezu dem gleichen Niveau wie in den Vorjahren fortgesetzt und im Bereich der numerischen Modellierung sogar noch ausgebaut. Darüber hinaus hat die Abteilung Kristallzüchtung auch im Jahre 2002 neue Forschungsgebiete erschlossen. Beispielsweise hat das IISB im Rahmen

The department "Manufacturing Equipment and Materials" is performing research and developments in the field of new manufacturing processes, equipment and components including equipment automation, in the field of contamination and clean materials and in the field of production techniques. In 2002, activities in the area of process control under the aspect of "advanced process control (APC)" made considerable progress, embedded in the framework of an industrially oriented project cluster. It is primarily the medium-sized ASIC-semiconductor companies who profit by these developments, but also the manufacturers of sensors and software. Thus, an important step in the direction of e-manufacturing has been made. A project together with SEMATECH concerning the evaluation of FOUPs (front opening unified pods) and their cleaning processes was finished with great success and the results are now implemented in industrial manufacturing. In the year 2001, a comprehensive investment project could be started with the support of the German Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). This project helps to intensify international cooperation enabling the IISB to bring its experience in analytics and metrology in the area of semiconductor surfaces, of media and materials into the competence center "yield enhancement". In the future, activities will be offered there concerning yield-modeling and defect-budget considerations in addition to the already established activities defect detection and defect characterization. Our department was also successful in acquiring and performing projects in the field of novel materials, especially ferroelectrics, and ultra-thin layers. The wide competence in the field of cluster tools and integrated metrology has a great benefit, providing fast process development and fast ramp-up for production. Moreover, we have started activities for the pre-qualification of semiconductor

equipment, and - on the basis of a first example for equipment certification - we have been able to continue our cooperation with SEMATECH in this area.

Due to growing demands in Semiconductor Industry, the „Technology“ Department of IISB has renewed and completed its equipment park in 2002, especially with regard to a changeover from 150 mm to 200 mm wafer diameter in the upcoming years. There was a change in the central chemical delivery system from pressure-enabled delivery to pumping systems, several sputtering modules for metallization and an aluminum etcher have been put in operation, two systems for the deposition of doped polysilicon and nitride layers have been provided and for characterization, a new AFM (atomic force microscopy) with integrated SCM (scanning capacitance microscopy) module and an upgrade for XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) was supplied. Metal-silicate layers have been successfully deposited within the framework of the development of dedicated deposition methods for dielectric layers via metal-organic chemical vapor deposition and the electrical characterization reveals that the layers live up to the demands of future technology generations. In the field of silicon-carbide technology, SiC wafers have been successfully annealed after implantation by RTP (rapid thermal processing) for the first time. Diodes manufactured on these wafers fulfill all nominated prospects very well. For ion implantation, the project volume further increased in 2002 despite a high level in 2001. As an example of another target of the implantation group, the construction of an end station for implantation at elevated temperatures succeeded very well. For the development of progressive smart-power devices, the conception phase and development of single process steps for a lateral IGBT (isolated bipolar gate transistor) is nearly finished and its manufacturing has started

based on 16 mask levels. In the field of nano technology, a major success has been achieved with the settlement of the Nanoworld company, a longstanding industrial partner of IISB. Thus, it is possible to continue to be at the leading edge of the world in manufacturing and modification of tips by FIB (focused ion beam) for nanotechnology.

The Fraunhofer Institute IISB has expanded its position as a world-wide acknowledged research institution in the field of crystal growth. The department „Crystal Growth“ was able to continue its cooperations in the traditional fields of the department nearly at the same level despite of the economic situation. In the field of numerical modeling, the activities were even expanded. Furthermore, the department crystal growth has expanded its activities to new research areas in 2002. For example, within the framework of a "BMBF" project it started as the only German R&D institution to develop methods for the growth of gallium-nitride bulk crystals. In the field of optical crystals the development and optimization of the growth of oxide crystals for medical applications started. In addition, the IISB has extended its position as a research institution in the field of material science under microgravity conditions. A contract from the European Space Agency ESA was acquired in which IISB will develop software programs. This will create the basis that in the future experiments related to material science on the international space station will be planned and optimized by using the software tools developed at IISB.

In the short time since its foundation, the „Power Electronic Systems“ department could gain an excellent reputation in the field of automotive power electronics. This is confirmed by many bilateral projects with leading car manufacturers and automotive suppliers. Highly integrated systems for

eines BMBF-Vorhabens als bislang einzige Institution in Deutschland begonnen, Verfahren zur Züchtung von massiven Galliumnitrid-Substratkristallen zu entwickeln. Ferner wurde im Bereich optische Kristalle mit der Entwicklung und Optimierung der Züchtung von Oxidkristallen begonnen, die in der Medizintechnik Anwendung finden. Außerdem konnte das IISB seine Stellung als Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der Materialforschung unter Schwerelosigkeit ausbauen. Dazu wurde ein Auftrag der Europäischen Raumfahrtagentur ESA zur Softwareentwicklung akquiriert. Damit sollen am IISB die Grundlagen dafür geschaffen werden, daß künftig materialwissenschaftliche Experimente, die im sogenannten Material Science Laboratory auf der Internationalen Raumstation durchgeführt werden, mit den am IISB entwickelten Softwarewerkzeugen geplant und optimiert werden.

Die Abteilung Leistungselektronische Systeme hat sich in der kurzen Zeit ihres Bestehens bereits einen sehr guten Namen im Bereich Kfz-Leistungselektronik erarbeitet, was sich in einer Reihe von Projekten mit führenden Kfz-Herstellern und Zulieferern widerspiegelt. Im Fokus der Entwicklungen stehen höchstintegrierte Systeme für den Antriebsstrang und zur Bordnetzversorgung. Der Begriff Integration geht dabei weit über eine monolithische Integration hinaus und umfaßt insbesondere die Makrointegration von Halbleitern, passiven Komponenten und Mechanik im Sinne mechatronischer Systemlösungen. Mit dem ersten vollständig mechatronisch in einen Elektromotor integrierbaren 40kW-Frequenzumrichter konnte bereits ein bedeutender Meilenstein gesetzt werden. Mehrere Erfindungs- und Patentanmeldungen unterstreichen darüber hinaus die erfolgreiche Arbeit der Abteilung. Den auch von den Auditoren befürworteten weiteren Ausbau speziell des Bereichs

Kfz-Leistungselektronik werden wir in den kommenden Jahren verstärkt vorantreiben. Mit Standpräsenz auf mehreren Fachmessen, einer Beteiligung an der Hannovermesse und am HighTech-Christkindlesmarkt der Region Nürnberg im EU-Parlament in Brüssel konnte erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit betrieben werden.

Die erfolgreiche Arbeit im IISB während des abgelaufenen Zeitraums war nur möglich durch Unterstützung von staatlicher Seite, durch die Auftraggeber aus Industrie und öffentlichen Einrichtungen sowie durch den unermüdlichen Einsatz der Mitarbeiter des IISB.



Erlangen, April 2003

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Ryszel'. The signature is stylized and cursive.

Prof. Dr. Heiner Ryszel

power train and onboard power supply are in the R&D focus of the department. The concepts of integration go far beyond a monolithic integration and comprise the macro-integration of semiconductors as well as of passive electronic and mechanical components to mechatronic system solutions. With the first 40 kW frequency inverter which is completely mechatronically integrated into an electric motor, a first important milestone could already be set. Moreover, several invention or patent applications underline the successful work of the department. We will actively support the further expansion especially of the automotive power electronics activities in the next years, in accordance with the recommendations of the auditors. With booth presence on several trade fairs and a participation at the »Hanover Messe« and the »HighTech Christkindlesmarkt« of Nuremberg in the EC parliament in Brussels, successful public relations and marketing could be done.

The successful activities undertaken last year were only possible through the support provided by the cooperation with our customers from the public and the private sector, as well as the untiring efforts of the employees of IISB.

Erlangen, April 2003



Prof. Dr. Heiner Ryssel

# Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2002

## Das Institut im Profil

Ziele .....	12
Kurzportrait .....	12
Arbeitsschwerpunkte .....	14
Kompetenzen und Anwendungen	14
Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente .....	14
Kuratorium .....	18

## Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Institutsspezifische Angebote zur Vertragsforschung .....	20
Apparative Ausstattung .....	22
Kontakt und weitere Informa- tionen .....	26

## Das Institut in Zahlen

Mitarbeiterentwicklung .....	28
Betriebshaushalt .....	28

## Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

Die Forschungsorganisation .....	30
Die Forschungsgebiete .....	30
Die Zielgruppen .....	30
Das Leistungsangebot .....	30
Die Vorteile der Vertragsforschung	32
Der Weg zur Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft .....	32

## Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik

Die Standorte der Forschungseinrich- tungen .....	35
--	----

## Technologiesimulation

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologiesimulation .....	36
Untersuchung elektrischer Eigenschaf- ten von CMOS-Bauelementen in Ab- hängigkeit von der Prozeßführung mittels Simulation .....	38
FRENDTECH - eine europäische Initiati- ve zur Entwicklung von Prozeßmodel- len für die Front-End-Prozessierung von Silicium .....	40

## Modelle für die nächste Lithographie- generation

Simulation der Konformität von mittels Sputtern abgeschiedener Barriere- Schichten.....	44
---	----

# Achievements and Results

## Annual Report 2002

### Profile of the Institute

Objectives .....	13
Brief Portrait .....	13
Major Fields of Activity .....	15
Areas of Competence and Applications .....	15
Cooperation with the Chair of Electron Devices .....	15
Advisory Board .....	19

### Research and Services

Contract Research Services .....	21
Facilities .....	23
Contact and Further Information ..	27

### Representative Figures

Staff Development .....	28
Budget .....	28

### The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

The Research Organization .....	31
The Research Fields .....	31
The Research Clients .....	31
The Range of Services .....	31
The Advantages of Contract Research .....	33
Working Together with the Fraunhofer-Gesellschaft .....	33
Fraunhofer Alliance Microelectronics .....	34
Locations of the Research Institutes	35

### Technology Simulation

Focal Areas of Research and Develop- ment, Trends and Potentials of the De- partment of Technology Simulation .....	37
Simulation Studies of the Electrical Per- formance of CMOS Devices in Depend- ence of the Process Flow .....	39
FRENDTECH - a European Initiative for the Development of Process Models for Front-end Processing of Silicon .....	41
Modeling of Next Generation Lithography .....	43
Simulation of the Conformality of Sputter-deposited Barrier Layers.....	45

## Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien ..... 46

E-Learning für die Halbleiterfertigung ..... 48

MOCVD-Modul zur Erzeugung ferroelektrischer Schichten ..... 50

Defektinspektion auf blanken Siliciumscheiben für 90 nm Technologien.. 52

## Technologie

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologie ..... 54

Neuartige metallorganische Precursoren zur Abscheidung von Hoch-epsilon Dielektrika ..... 56

Hochtemperaturprozesse für Siliciumkarbid ..... 58

ENCOTION - ein Werkzeug zur Kontaminationsanalyse in der Ionenimplantation ..... 60

Neue Anwendungsschwerpunkte für das ELYMAT-Meßverfahren ..... 62

## Kristallzüchtung

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung ..... 64

GaN in der Anwendung ..... 66

Materialforschung unter Schwerelosigkeit am IISB ..... 68

Auf dem Weg zu 500 kg schweren Silicium-Kristallen ..... 70

Züchtung von CaF<sub>2</sub>-Kristallen für optische Anwendung ..... 72

Trends bei der Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen.....74

## Leistungselektronische Systeme

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme ..... 88

Neue Ansteuerlösungen für Leistungshalbleiter ..... 90

Intelligente Leistungsmodule ..... 92

Aktive Leistungsfaktorkorrektur .... 94

## Namen, Daten, Ereignisse

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. .... 84

Ereignisse ..... 86

Gastwissenschaftler ..... 87

Patenterteilungen ..... 89

Mitarbeit in Fachgremien, Fachverbänden und Komitees ..... 89

Konferenzen und Workshops ..... 91

Messebeteiligungen ..... 92

## Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Dissertationen ..... 94

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge ..... 106

Veröffentlichungen ..... 106

Vorträge ..... 109

Studienarbeiten ..... 117



## Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials .... 47

E-Learning for Microelectronics Manufacturing ..... 49

Module for Ferroelectric Layers by MOCVD ..... 51

Defekt Inspection on Bare Silicon for 90 nm Technologies ..... 53

## Technology

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology ..... 55

Novel Metal-organic Precursors for the Deposition of High-*k* Dielectrics .... 57

High Temperature Processes in Silicon Carbide ..... 59

ENCOTION - a Tool for Contamination Analysis in Ion Implantation ..... 61

New Applications for the ELYMAT Method ..... 63

## Crystal Growth

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Crystal Growth ..... 65

Application of GaN ..... 67

Materials Research under Microgravity Conditions ..... 69

On the Way to Silicon Crystals with a Weight of 500 kg ..... 71

Growth of High Quality CaF<sub>2</sub> Crystals for Optical Applications ..... 73

Trends in the Modeling of Crystal Growth Processes ..... 75

## Power Electronics

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Power Electronic Systems ..... 77

New Driver Solutions for Power Semiconductors ..... 79

Intelligent Power Modules ..... 81

Active Power Factor Correction.....83

## Important Names, Data, Events

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. .... 85

Events ..... 86

Guest Scientists ..... 88

Patents ..... 89

Participation in Committees ..... 89

Conferences and Workshops ..... 91

Fairs and Exhibitions ..... 92

## Scientific Publications

PhD Theses ..... 94

Edited Books / Contributions to Books ..... 106

Journal Papers and Conference Proceedings ..... 106

Presentations ..... 109

Theses ..... 117

# Das Institut im Profil

## Ziele

Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), hat die Aufgabe, gemeinsam mit der Industrie neue Halbleiter-Fertigungsgeräte und -verfahren zu entwickeln und Simulationswerkzeuge zur Beschreibung moderner mikroelektronischer Fertigungsschritte bereitzustellen. Als Kompetenzzentrum für Leistungselektronik entwickelt das IISB darüber hinaus leistungselektronische Bauelemente und Systeme - von Einzeldioden bis hin zu kompletten Prototypen für Schaltnetzteile, Frequenzumrichter u.v.a.m.

## Kurzportrait

Das IISB gliedert sich in fünf Abteilungen und arbeitet auf den meisten Gebieten eng mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente sowie bei der Kristallzüchtung mit dem Lehrstuhl Werkstoffe der Elektrotechnik zusammen. Die Struktur zeigt das Organigramm in Fig. 1.

Die Institutsleitung des IISB wird durch ein Kuratorium, das Direktorium, den Institutsleitungsausschuß und den Arbeitsschutzausschuß beraten. Dem Institutsleitungsausschuß gehören neben den Abteilungs- und stellvertretenden Abteilungsleitern, die Infrastruktur-

leitung, die Verwaltungsleitung und die gewählten Vertreter des wissenschaftlich-technischen Rates an. Das Direktorium besteht aus der Institutsleitung und allen Abteilungsleitern. Seit 1994 gibt es einen Betriebsrat, der entsprechend dem Betriebsverfassungsgesetz an den Entscheidungen beteiligt wird.

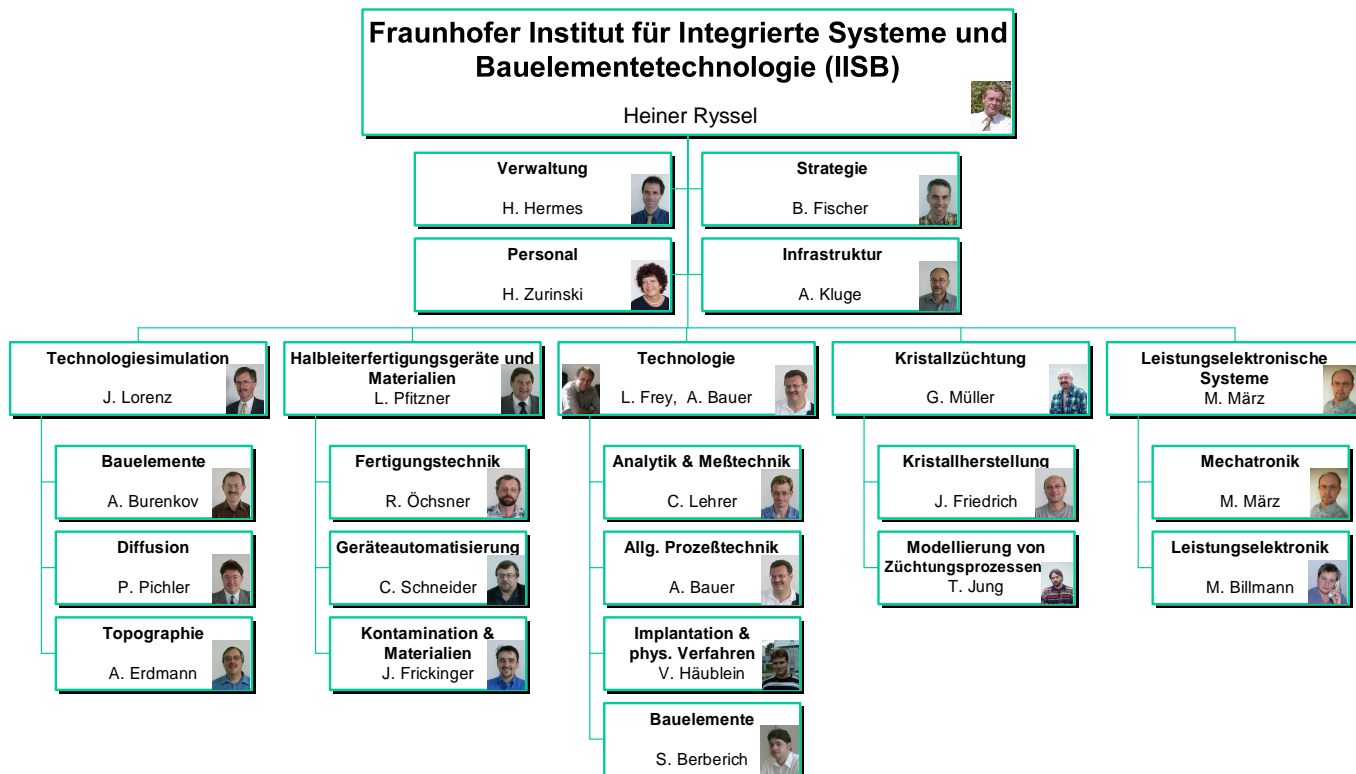


Fig. 1: Organigramm des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie.

# Profile of the Institute

## Objectives

Together with its industrial partners, the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology (IISB) is responsible for developing new equipment and processes in semiconductor manufacturing, as well as to provide simulation tools to characterize the process steps involved in modern microelectronics manufacturing. As a center of competence for power electronics, the IISB develops power electronic devices and systems - from discrete diodes up to complex prototypes for switch-mode power supplies, drives etc.

## Brief Portrait

The IISB consists of five departments and closely cooperates with the Chair of Electron Devices and the Chair of Electronic Materials in the field of crystal growth. Fig. 1 shows the organizational structure.

The director of IISB is consulted by an Advisory Board, the board of directors, the Institute Executive Committee, as well as by the Workplace Safety Committee. The Institute Executive Committee includes the department heads and vice department heads, the infrastructure manager, the administration manager, and the elected representatives of

the Technical Research Board. The board of directors consists of the director of IISB and the heads of all departments. Since 1994, a works council participates in decisions according to the works council constitution act.

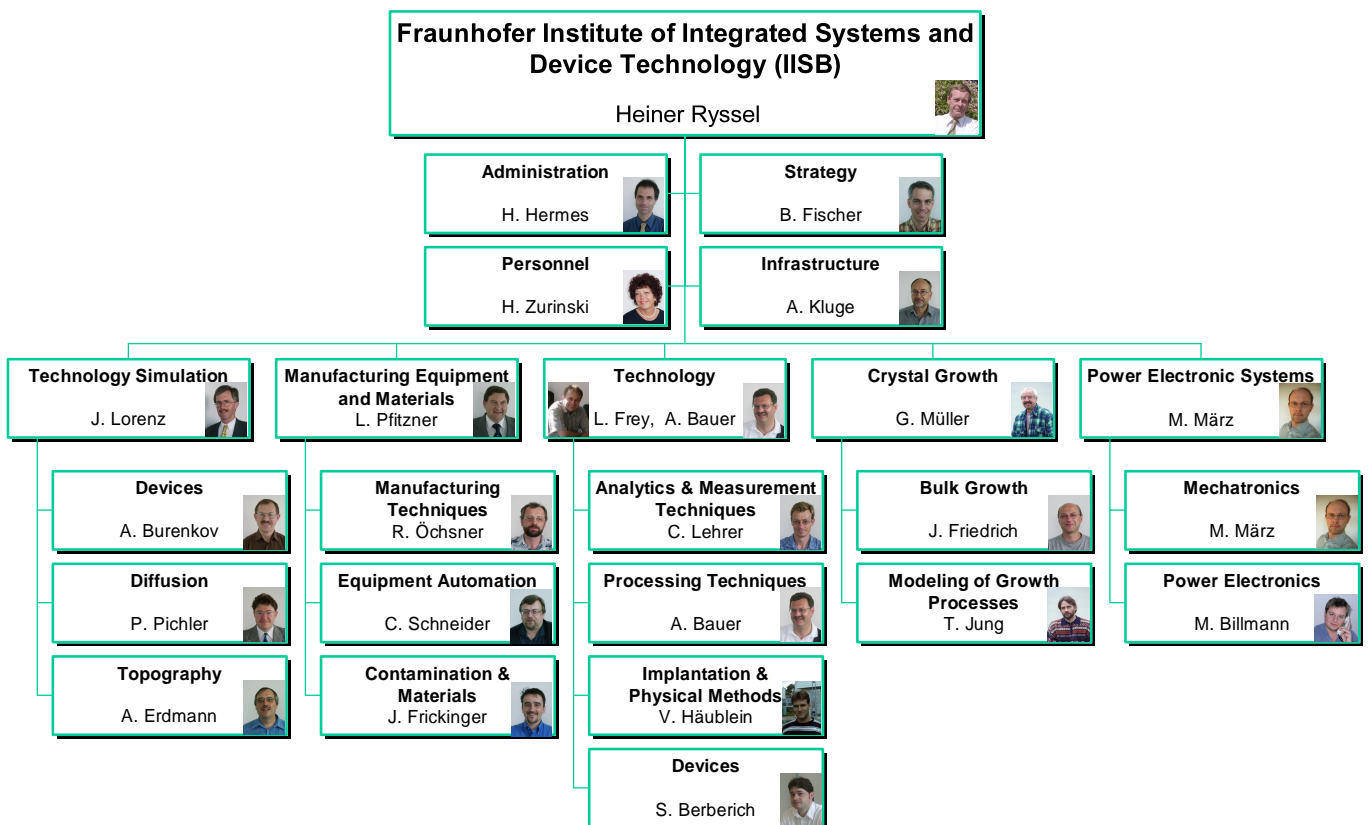


Fig. 1: Organizational Structure of the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology.

## Arbeitsschwerpunkte

Im Arbeitsgebiet Technologiesimulation werden leistungsfähige Simulationsprogramme zur Optimierung von Einzelprozessen und Prozeßfolgen in der Halbleitertechnologie entwickelt.

Im Arbeitsgebiet Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien werden Firmen bei der Entwicklung und Verbesserung neuer Fertigungsgeräte, Materialien und der zugehörigen Prozesse unterstützt (durch Integration von in situ-Meßtechniken und durch Minimierung der Kontamination). Ein weiteres Gebiet der Forschungsaktivität ist die Halbleiterfertigungstechnik.

Neue technologische Prozesse und Herstellungsmethoden für die VLSI- und ULSI-Technologie und für moderne Leistungsbaulemente werden im Arbeitsgebiet Technologie entwickelt. Höchstauflösende Meß- und Analysemethoden erlauben dabei Verunreinigungen geringster Konzentrationen in Gasen, Chemikalien und auf Siliciumscheiben sowie ihre Wirkung auf die elektrischen Eigenschaften von Bauelementen zu erfassen.

Im Arbeitsgebiet Kristallzüchtung werden Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Kristallen für die Mikroelektronik, Optoelektronik, Kommunikationstechnologie, Photovoltaik, Medizintechnik und für die Mikrolithographie entwickelt und optimiert. Dazu werden Simulationsprogramme zur Berechnung von Hochtemperaturanlagen und -prozessen sowie Meßtechniken zur Bestimmung des Stoff- und Wärmetransportes in Kristallzüchtungsprozessen entwickelt und eingesetzt. Die Materialforschung unter Schwerelosigkeit vervollständigt das Arbeitsgebiet.

Einen weiteren Arbeitsschwerpunkt bildet die Leistungselektronik. Im Rah-

men dieses Schwerpunkts werden innovative Lösungen zur monolithischen, hybriden und mechatronischen Systemintegration von Leistungswandlern aller Art wie Schaltnetzteile, Frequenzumrichter usw. entwickelt.

Die Finanzierung erfolgt etwa zu gleichen Teilen durch öffentliche Projekte und Aufträge aus der Halbleiter- und Halbleitergeräte-Industrie. Der Bereich des Instituts beschäftigt 100 feste Mitarbeiter. Fast 5000 m<sup>2</sup> Büro- und Laborfläche stehen zur Bearbeitung von Forschungsaufträgen zur Verfügung. Ferner besteht die Möglichkeit, das Reinraumlabor des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente (Prof. Heiner Rysse) der Universität Erlangen-Nürnberg zu nutzen.

## Kompetenzen und Anwendungen

Die Kompetenzen und Anwendungen der anerkannten Forschungstätigkeit des Fraunhofer-Institutes für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie, zeigt Fig 2.

## Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

Das IISB und der Lehrstuhl Elektronische Bauelemente, Universität Erlangen-Nürnberg, betreiben im Rahmen eines Kooperationsvertrages nicht nur gemeinsam Labore, sondern sind auch bei Ausbildung und Forschung gemeinsam tätig. So beteiligen sich die Mitarbeiter des IISB bei Praktika für Studenten und umgekehrt wird die Berufsausbildung zum „Mikrotechnologen“ im IISB durch Mitarbeiter des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente unterstützt.

Der Lehrstuhl ist daneben in mehreren Forschungsrichtungen mit grundlegenden Vorfelddararbeiten tätig, die auch für

das IISB von großem Interesse sind. Dazu gehören Projekte zu „Neuen Dielektrika“ und „Metal Gate“, „SiGe-Ga-tseelektroden“, „SiC“ und „Aktoren“.

## Major Fields of Activity

The Department of Technology Simulation develops high-performance simulation tools for optimizing single processes and process sequences in semiconductor technology.

The Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials supports industrial companies in developing and upgrading new manufacturing equipment, materials and relevant processes (e.g. by integrating *in situ* measurement techniques and by minimizing contamination). Research in semiconductor manufacturing technology is an additional field of activity.

New technological processes and manufacturing methods for both VLSI and ULSI technology as well as for advanced power devices are being developed by the Department of Process Technology. High-resolution metrology and analytics allow the detection of impurities of extremely low concentration levels in gases, chemicals, and on silicon wafer surfaces as well as the determination of their impact on the electrical properties of the devices.

The department of crystal growth develops and optimizes equipment and processes in collaboration with its industrial partners for the growth of crystals to be used in microelectronics, optoelectronics, communication technology, photovoltaics, medical technology and microlithography. It develops and applies simulation programs for modeling of high temperature equipment and processes as well as measuring techniques for determining the mass and heat transport in crystal growth processes. Material science under microgravity conditions completes the field of activity.

Power electronics is another major field

of activity. Innovative solutions for monolithic, hybrid or mechatronic system integration of all kinds of power converters - such as switch-mode power supplies or drive inverters - are developed in this context.

The budget of the Institute is obtained almost equally from public project funding and from contract research performed for the semiconductor and semiconductor equipment industry. IISB has a permanent staff of 100 people. Nearly 5.000 m<sup>2</sup> of office and laboratory space provide ample room to perform contract research. Moreover, the staff can use the cleanroom building belonging to the Chair of Electron Devices (University of Erlangen-Nuremberg). Both institutions are headed by Prof. Heiner Ryssel.

## Areas of Competence and Applications

The technological expertise and applications offered by the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology, known for its efficient and internationally renowned contract research activities, are illustrated in Fig. 2.

## Cooperation with the Chair of Electron Devices

IISB and the Chair of Electron Devices, University of Erlangen-Nuremberg, do not only operate joint laboratories in the framework of a cooperation contract, but moreover are also working together in education and research. Employees of IISB promote student practical training and the professional training as "Mikrotechnologen" at IISB is being supported by employees of the Chair of Electron Devices.

Furthermore, the Chair of Electron Devices does preliminary basic research

work in several areas. This work, which is of great interest to IISB as well, comprises projects regarding "new dielectrics" and "metal gate", "SiGe gate electrodes", "SiC", and "actors".

Wissenschaftlich-technische Kernkompetenz

**IISB**

F & E-Produkte

	Prozeßsimulation	Mathematische Algorithmen	Programmierung komplexer Systeme	Halbleiterprozeßtechnik	in situ / on line-Meßtechnik	Gerätekonstruktion (mech., elektr., prozeßtech.)	Halbleiter- u. Bauelementemeßtechnik	Analytik (chem., phys. Kontamination)	Schichttechniken	Kristallzüchtung	Ionenstrahltechniken	Reinigung	Teststrukturen	Bauelementephysik	Leistungselektronik (LE)	Thermische Systemanalyse	LE-Meßtechnik
Physikalische Modelle f. Einzelprozesse u. Strukturen	•		•	•			•	•	•	•			•			•	
Rechenprogramm zur Prozeßsimulation		•	•							•				•			
Gerätesimulation			•	•	•				•	•			•		•		•
Geräteentwicklung			•	•	•	•		•		•					•	•	•
Gerätequalifizierung				•			•	•		•			•			•	•
Prozeßautomatisierung	•	•	•	•	•	•				•							•
Materialienqualifizierung				•	•			•				•	•		•	•	
Reinraumtechnik	•						•	•				•					
Normung				•	•	•	•	•				•	•				•
Prozeßentwicklung	•			•	•		•	•	•	•	•	•	•	•			•
Analytische Verfahren						•		•		•						•	
Bauelemente der Mikrosystemtechnik	•			•			•	•	•		•	•	•	•			
Lebensdauerengineering	•			•			•				•						
Chippreparatur/Maskenreparatur				•			•		•		•						
Sensorentwicklung	•			•			•	•	•	•	•	•	•	•			
Schaltungs- und Systementwicklung															•	•	•

Fig. 2: Wissenschaftlich-technische Kernkompetenz des FhG-IISB.

Competencies and Applications

**IISB**

R & D Products

	Process Simulation	Mathematical Algorithms	Programming of Complex Systems	Semiconductor Physics	in situ / on line Metrology	Equipment Design (mech., electrical, technolog.)	Semiconductor and Device Metrology	Analytics (Chemical and Physical Contamination)	Thin-film Technologies	Crystal Growth	Ion Beam Technologies	Cleaning	Test Structures	Device Physics	Power Electronics (PE)	Thermal System Analysis	PE Metrology
Physical Models for Single Processes	•		•	•			•	•	•	•	•		•			•	
Process Simulation Software		•	•							•				•			
Equipment Simulation			•	•	•				•	•			•		•		•
Equipment Development			•	•	•	•		•		•					•	•	•
Equipment Qualification				•			•	•		•			•			•	•
Process Automation	•	•	•	•	•	•				•							•
Materials Qualification				•	•			•				•	•		•	•	
Cleanroom Technology	•						•	•				•					
Standardization				•	•	•	•	•				•	•				•
Process Development	•			•	•		•	•	•	•	•	•	•	•			•
Analytic Techniques						•		•		•						•	
Microsystems Technology	•			•			•	•	•		•	•	•	•			
Lifetime Engineering	•			•			•				•						
Chip Repair / Mask Repair				•			•		•		•						
Sensor Development	•			•			•	•	•	•	•	•	•	•			
Circuit and System Engineering															•	•	•

Fig. 2: Competences and Applications of the FhG-IISB.

██████████  
Kuratorium

Die Institutsleitungen von IIS und IISB werden durch ein gemeinsames Kuratorium beraten, dessen Mitglieder aus Wirtschaft und Wissenschaft stammen:

Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Fiebiger  
Geschäftsführer der Bayerischen  
Forschungstiftung  
(Vorsitzender des Kuratoriums)

Dr.-Ing. Hans-Georg Betz  
West STEAG Partners GmbH  
(Stellvertretender Vorsitzender)

Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst  
1. Vorsitzender des Förder- und Freun-  
deskreises für den Ausbau der Mikro-  
elektronik an der Friedrich-Alexander-  
Universität Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr.-Ing. Wolfram H. Glauert  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg  
Lehrstuhl für Rechnergestützten Schal-  
tungsentwurf

Jürgen Großkreutz  
Ministerialdirigent  
Bayerisches Staatsministerium für  
Wissenschaft, Forschung und Kunst

Klaus Jasper  
Ministerialdirigent  
Bayerisches Staatsministerium für Wirt-  
schaft, Verkehr und Technologie

Dr. Hans-Georg Junginger  
Sony Europe GmbH  
Chief Technology Officer  
Executive Vice President

Dr. Franz Neppi  
Infineon AG  
Senior Vice President  
Corporate Development

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Hans Jörg Werrmann  
Deutsche Forschungsanstalt für Luft-  
und Raumfahrt e. V. - DLR

Prof. Dr. Albrecht Winnacker  
Dekan der Technischen Fakultät  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Dr. Markus Zügel  
Industrieberatung  
Halbleitertechnologie



██████████  
Advisory Board

IISB is consulted by an Advisory Board, whose members come from industry and research.

Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Fiebiger  
Managing Director of the Bavarian Research Foundation  
(Chairman of the Advisory Board)

Dr.-Ing. Hans-Georg Betz  
West STEAG Partners GmbH  
(Vice Chairman)

Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst  
Chairman of the „Förder- und Freundeskreis für den Ausbau der Mikroelektronik“ at the Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg

Prof. Dr.-Ing. Wolfram H. Glauert  
Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg  
Chair of Integrated System Design  
Automation

Jürgen Großkreutz  
Ministerialdirigent  
Bavarian State Ministry of Science, Research and the Arts

Klaus Jasper  
Ministerialdirigent  
Bavarian State Ministry of Commerce, Transportation and Technology

Dr. Hans-Georg Junginger  
Sony Europe GmbH  
Chief Technology Officer  
Executive Vice President

Dr. Franz Neppi  
Infineon AG  
Senior Vice President  
Corporate Development

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Hans Jörg Werrmann  
German Aerospace Center (DLR)

Prof. Dr. Albrecht Winnacker  
Dean of the Faculty of Engineering Sciences  
Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg

Dr. Markus Zügel  
Semiconductor Technologies,  
Industrial Consultant

# Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot

## Institutsspezifische Angebote zur Vertragsforschung

Die Arbeitsschwerpunkte des IISB liegen auf dem Gebiet der Simulation der Technologie mikroelektronischer Bauelemente sowie der Herstellungsverfahren von Halbleitermaterialien, der Entwicklung neuer Halbleiterfertigungsgeräte und Materialien sowie der Entwicklung neuer Prozessschritte und Verfahren zur Herstellung höchst- und ultrahochintegrierter Schaltkreise und der Entwicklung von Bauelementen der Mikrosystemtechnik.

Im Bereich der Technologiesimulation werden leistungsfähige Simulationsprogramme zur kostengünstigen und zügigen Bauelemententwicklung erstellt, die beispielsweise eine zweidimensionale Vorausberechnung der Ergebnisse der Technologieprozesse gestatten. Neben der Programmerstellung umfassen diese Arbeiten umfangreiche experimentelle Untersuchungen zur Aufstellung von verbesserten physikalischen Modellen. Mit den entwickelten Programmen stehen der Halbleiterindustrie und der Forschung Werkzeuge zur Verfügung, die die Simulation aller wesentlichen Prozessschritte wie Lithographie, Ionenimplantation, Diffusion, Ätzen und Schichtabscheidung gestatten, wobei durch die modulare Struktur der Programme eine Anpassung an spezifische Anforderungen des jeweiligen Nutzers ermöglicht werden kann.

Ein weiterer Schwerpunkt des IISB befaßt sich mit der Entwicklung und Erprobung von Halbleiterfertigungsgeräten und Materialien. Die enge Verbindung zwischen Gerätetechnik, chemisch-physikalischer Verfahrenstechnik und Bauelementetechnologie ist hier von herausragender Bedeutung. Die Abteilung bietet interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsleistungen

ausgehend von einem breiten Know-how und Erfahrungen im Bereich Gerätebau, neue Regelungs- und Steuerungsverfahren, Meßtechnik, chemische Verfahren, Softwareengineering und Fertigungstechnik an. Durch die Anwendung von neuen Simulations- und Entwicklungswerkzeugen können Systemlösungen für Fertigungsgeräte- und Materialhersteller sowie für Halbleiterhersteller entwickelt werden. Beispiele für erfolgreiche, neue Entwicklungen sind: Gerätequalifizierung für ultrareine Prozessierung, Meßtechnik für integrierte Qualitätskontrolle, neue Gerätekonzepte und die Integration von Feed-forward- und Feedback-Regelungen in Fertigungssteuerungen. Die Entwicklungen tragen den steigenden Anforderungen nach schneller Anwendung in ULSI-Fertigungslinien und einer erhöhten Zuverlässigkeit und Produktivität Rechnung. Deshalb verfügt die Abteilung über eine leistungsfähige Analytik zur Charakterisierung von Geräten, Komponenten und Materialien.

Der Arbeitsschwerpunkt Technologie befaßt sich mit Entwicklung von neuen Prozessschritten und Verfahren für höchstintegrierte Schaltungen, der Qualifizierung von Gasen und Chemikalien anhand von Testprozessen und der Entwicklung von Bauelementestrukturen der Mikrosystemtechnik. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird dafür ein Reinraum betrieben, welcher die Durchführung der wichtigsten Prozessschritte auf Siliciumscheiben von 100 bis 150 mm Durchmesser ermöglicht. Für zukünftige VLSI- und ULSI-Schaltkreise werden Einzelprozesse entwickelt. Insbesondere werden umfangreiche Arbeiten auf den Gebieten der Erzeugung dünner dielektrischer Schichten mittels Kurzzeitprozessen (RTP, RTN) und chemischer Dampfphasenabscheidung unter Verwendung metallorganischer Precursormaterialien sowie der Implantation von Dopanden bei

Nieder- und Hochenergie durchgeführt. Darüberhinaus laufen Arbeiten auf den Gebieten der Oberflächenmodifikation von Metallen und Kunststoffen.

Entwicklungen aus den oben genannten Forschungsschwerpunkten der Abteilung für Bauelementetechnologie werden unterstützt durch meßtechnische Untersuchungen. Zu einem besonderen Schwerpunkt hat sich hier die Analytik von Spurenverunreinigungen auf Siliciumscheiben, in Prozeßchemikalien und in Gasen durch TXRF, AAS, VPD-AAS und ICP-MS bzw. HRICP-MS und API-MS entwickelt. Daneben werden die klassischen Meßverfahren wie MOS-, I(U)-, C(U)-, Schichtwiderstands-, Beweglichkeits-, Dotierungsprofil-, Halleffektmessungen, REM- und TEM-Untersuchungen sowie energiedispersive Röntgenanalyse, aber auch Bestimmung von Linienbreiten, Schichtdicken, Scheibenebenheit und prozeßinduziertem Scheibenverzug angewendet.

Die Abteilung Kristallzüchtung bietet basierend auf ihrem Know-how aus der Kristallzüchtung und den langjährigen Erfahrungen der Mitarbeiter im Anlagenbau, in der Meßtechnik und in der Computersimulation vielfältige Forschungs- und Entwicklungsleistungen an. Dazu zählt insbesondere die Entwicklung und Optimierung von Anlagen und Prozessen für die Züchtung von Kristallen für die Mikroelektronik, Optoelektronik, Kommunikationstechnologie, Photovoltaik, Medizintechnik und für die Mikrolithographie. Die Strategie ist dabei durch sowohl experimentelle als auch theoretische Studien, den Zusammenhang zwischen den Prozeßbedingungen und den Kristalleigenschaften bzw. Kristalldefekten zu identifizieren und zu quantifizieren. Dazu verfügt die Abteilung über leistungsfähige, benutzerfreundliche Simulationsprogramme, die die Berechnung des globalen Wärme- und Stofftransports in Hochtemperaturanlagen mit

## Contract Research Services

The focal areas of the Institute are technology simulations for advanced manufacturing processes, development of new semiconductor manufacturing equipment and materials, new process steps and methods for manufacturing very-large-scale-integration and ultra-large-scale-integration circuits, and devices for microsystems technology.

In the domain of technology simulation, high-performance simulation tools for a cost-effective and rapid device development are developed. These tools allow, for example, a two-dimensional prediction of results to be obtained from technology processes. Apart from the development of software, these activities comprise extensive experimental investigations for designing improved physical models. With the programs developed, the semiconductor industry as well as universities and research centers have tools at their disposal allowing the simulation of all essential process steps, such as lithography, ion implantation, diffusion, etching, and layer deposition. Thus, the modular structure of these tools enables their adaptation to the specific requirements of their respective users.

The second key activity of IISB is the development and testing of semiconductor manufacturing equipment and materials. Most businesses active in this domain have evolved from mechanical engineering or chemical companies and are small or medium-sized. In this context, the close interrelation between equipment technology, physical-chemical process engineering, and device technology is of outstanding importance. The department provides interdisciplinary R&D services, and a wide range of know-how and skills including mechanical engineering, novel control concepts, metrology, chemical engi-

neering, software engineering, and manufacturing techniques. Using advanced simulation tools and the latest technological developments, the department is able to provide system solutions for the benefit of E&M suppliers as well as for IC manufacturers. Recent examples for advanced developments are equipment characterization methods for ultraclean processing, metrology for integrated quality control, novel equipment concepts, and integration of feedback and feed-forward controls into IC factories. Development of new manufacturing tools takes into account the increasing demand for immediate applicability in ULSI production lines and for enhanced reliability and productivity. The present focus of the department is, therefore, on providing complementary analytical characterization of equipment, components, and materials to provide the latest measurement and control techniques to be integrated into equipment being modular measurement systems and the integration of novel monitoring strategy into IC manufacturing.

The Technology department works on the development of new process steps and methods for VLSI circuits, the qualification of gases and chemicals by means of test processes, as well as on the development of device structures in microsystems technology. For this purpose, IISB and the Chair of Electron Devices maintain joint cleanroom facilities. This allows the implementation of the most important process steps performed out on silicon wafers with diameters from 100 to 150 mm. Individual processes are developed for future VLSI and ULSI circuits. Special activities are focused on generating thin dielectric layers by means of rapid processes (RTP, RTN) and chemical vapor deposition using organo-metallic precursor materials, as well as low- and high-energy implantation of dopants. Moreover, research endeavors are being pur-

sued in the domain of surface modification of metals and plastics.

Developments achieved in the above-mentioned key areas are supported by metrological services. Analysis of trace impurities on silicon wafers, in process chemicals and gases through TXRF, AAS, VPD-AAS, and ICP-MS or HRICP-MS and API-MS has evolved into a major field of activity. Apart from that, classical testing methods, such as MOS, I-V, C-V, sheet resistance, mobility, doping profile, and Hall effect measurements as well as SEM & TEM investigations, energy-dispersive X-ray analysis, the determination of feature size, layer thickness, wafer planarity, and process-induced wafer warp are performed.

The Crystal Growth department provides various R&D services which are based on its know-how in crystal growth and solidification as well as on the profound experience of its colleagues in mechanical engineering, process analysis and computer simulation. R&D services are especially the development and optimization of equipment and processes for melt growth of crystals to be used in microelectronics, optoelectronics, communication technology, photovoltaics, medical technology and microlithography. The strategy is to contribute by experimental and theoretical studies to an identification and quantification of the relation of process conditions for crystal properties and defects. The department is provided with highly efficient user-friendly simulation programs which are especially suitable for heat and mass transport calculations in high temperature equipment with complex geometry. These computer codes are continuously further developed in close cooperation with industry regarding new or improved physical models, towards an easier way to use the programs and towards more efficient algo-

komplexer Geometrie erlauben. Diese Programme werden in enger Kooperation mit den industriellen Nutzern in Hinblick auf neue oder verbesserte physikalische Modelle, auf Benutzerfreundlichkeit und auf effizientere numerische Algorithmen weiterentwickelt. Es sind darüber hinaus umfangreiche experimentelle Erfahrungen im Bereich der Entwicklung und Anwendung von Meßtechniken zur Bestimmung des Wärme- und Stofftransports in Kristallzüchtungsanlagen vorhanden. Zusätzlich stehen durch die enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften, Lehrstuhl Werkstoffe der Elektrotechnik, zahlreiche Verfahren zur elektrischen und optischen Charakterisierung von Kristallen zur Verfügung.

Das Arbeitsgebiet der Leistungselektronik umfaßt die Bauelemente, Schaltungs- und Systementwicklung für die Antriebs- und Stromversorgungstechnik. Unterstützt werden Firmen in der anwendungsorientierten Vorlauforschung sowie bei der Entwicklung von Prototypen und Kleinserien. Besonderes Augenmerk gilt der mechatronischen Systemintegration, d.h. der Integration von Leistungselektronik, Mikroelektronik, Sensorik und Mechanik. Weitere Themenfelder sind die elektrische und thermische Systemanalyse, Hochtemperatur Elektronik, Ansteuerschaltungen für Leistungsbauelemente, innovative Lösungen zur Energie-Einsparung und Wirkungsgradoptimierung, leistungselektronische Meßtechnik, Bauteilcharakterisierung und Modellbildung.

Durch einen Kooperationsvertrag zwischen der FhG und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg ist das IISB sehr eng mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente sowie mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften, Lehrstuhl Werkstoffe der Elektrotechnik, verknüpft. Dies ermöglicht die gemeinsame Nutzung vorhandener For-

schungseinrichtungen, Abstimmung der Forschungsaktivitäten und anwendungsorientierte Lehre und Ausbildung auf dem Gebiet der Technologie der Mikroelektronik.

Nicht nur über die Zugehörigkeit zum Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik und der Einbindung in die Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg, sondern auch über die Verbindung zu zahlreichen Lehrstühlen und Instituten anderer Universitäten, Forschungseinrichtungen und Organisationen in Deutschland, im europäischen Ausland, in Nordamerika, Japan und China wird die wissenschaftliche Forschungsbasis auf dem Gebiet der Herstellung und der Technologie der Mikroelektronik verbreitert und langfristig gesichert.

#### Apparative Ausstattung

Das Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie, verfügt über eine Fläche von 4780 m<sup>2</sup>, davon 2620 m<sup>2</sup> Büro- und Sonderflächen sowie 1590 m<sup>2</sup> Laborräume. Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird die Reinraumhalle der Universität mit 600 m<sup>2</sup> genutzt.

Bei der Auswahl und Beschaffung der Technologiegeräte wurde besonderer Wert auf die industriekompatible Ausstattung des Halbleiterlabors gelegt. Die Prozeßgeräte ermöglichen durchgängig die Bearbeitung und meßtechnische Auswertung von Siliciumscheiben bis 150 mm Durchmesser, auch die Scheibenhandhabung von Kassette zu Kassette entspricht dem in der Industrie geforderten Standard.

Im einzelnen stehen folgende Großgeräte zur Verfügung:

#### Technologiegeräte

- Oxidation: 3-Stock- und 4-Stock-öfen, 300 mm-Vertikalöfen, Kurzzeitoxidation, Rohrreinigungsanlage
- Dotierung: 5 Ionenimplantationsanlagen einschließlich einer Hochenergieimplantationsanlage bis zu 6 MeV, Diffusions- und Temperöfen, Kurzzeitausheilapparaturen
- Schichtabscheidung: LPCVD von SiC, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Polysilicium, SIPOS, Elektronenstrahlverdampfung, Widerstandsverdampfung und induktiver Verdampfer, Sputteranlage für hochschmelzende Metalle, Gold und Aluminium, Epitaxieanlage
- Ätztechnik: Plasma- und RIE-Trockenätzer für SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Silicium, Aluminium, Lackveraschung, Naßätzbänke für alle wesentlichen Reinigungs- und Ätzschritte
- Lithographie: Projektions- und Proximity-Belichtungsgeräte, automatische Lackstraße für Belägen und Entwickeln
- 2 Bonder (Hand und Automatik), Verkapselung
- Reinräume der Klasse 100 für die Entwicklung, Erprobung, Vorqualifikation und Montage von Halbleiterfertigungsgeräten mit
  - MESC-kompatibler Clusterplattform mit XPS-Meßmodul
  - Versuchsstand für Partikelmessung
  - Versuchsstand für Plasmadiagnostik
  - Vertikalofen mit *in situ*-Schichtdickenmeßtechnik
- Siliciumscheibenmarker und Mehrkammerprozeßanlagen
- Kristallziehenanlagen: 5 Hochdruckofenanlagen, 1 Mehrzonenofenanlage für Hochvakuum bzw. Reaktivgase, mehrere Mehrzonenöfen u.a. für spezielle Einsatzgebiete (Magnetfelder, Zentrifuge)
- Diverse Magnetsysteme für statische und zeitabhängige Magnetfelder

rithms. Furthermore, profound experimental experience exists in the development and application of process analysis, especially for the determination of the heat and mass transport in crystal growth equipment. In addition, numerous methods for electrical and optical characterization of crystals are available due to a close collaboration with the Institute of Electronic Materials Department.

The Power Electronic Systems department is engaged in circuit and system engineering for drive and power generation technology. We support our partners in application-oriented research projects, in circuit design and prototype engineering. A focus is on mechatronic system integration, i.e. the integration of power electronics, microelectronics, remote sensing, and mechanics. Further topics are electrical and thermal system engineering, high-temperature electronics, driver circuits, innovative solutions for energy saving and efficiency optimization, measuring techniques for power electronics, device characterization and modeling.

Through a cooperation contract between the Fraunhofer-Gesellschaft and the Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, IISB and the Chair of Electron Devices as well as the Department of Material Science, Institute for Electrical Engineering Materials maintain a close link enabling them to share available R&D infrastructure and equipment as well as to coordinate research activities and application-oriented teaching and professional training in the domain of microelectronics.

Not only by its membership of the Fraunhofer Alliance Microelectronics and its incorporation into the Engineering Faculty of the University of Erlangen-Nuremberg, but also by its connections to numerous chairs and institutes of other universities, research institu-

tions, and organizations in Germany as well as in other European countries, in North America, Japan, and China, the basis for scientific research in the field of the technology and fabrication of microelectronic products is enlarged and guaranteed in the long run.

## Facilities

The Institute of Integrated Systems and Device Technology has a total of 4,780 m<sup>2</sup> of floor space at its disposal; 2,620 m<sup>2</sup> for offices and special purposes and 1,590 m<sup>2</sup> of laboratory space. In addition, 600 m<sup>2</sup> of cleanroom space are shared with the Chair of Electron Devices (University of Erlangen-Nuremberg).

Great importance was attached to the compatibility of the semiconductor laboratory equipment with industry standards. The entire equipment enables processes and metrological evaluation of silicon wafers with a diameter of up to 150 mm. Also the cassette-to-cassette wafer handling meets the high standards required by the semiconductor industry.

The IISB has the following large-scale equipment at its disposal:

### Processing Equipment

- Oxidation: 3-stage and 4-stage furnaces, 300 mm vertical furnace, rapid thermal oxidation, tube cleaning system
- Doping: 5 ion implanters, including a high-energy implanter (up to 6 MeV), diffusion and annealing furnaces, rapid thermal annealing units
- Layer deposition: LPCVD of SiC, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, polysilicon, SIPOS, electron beam evaporation, resistance evaporation, and inductive evaporator, sputtering system for refractory metals, gold, and aluminum, epitaxy

system

- Etching methods: plasma and RIE dry etcher for SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, silicon, aluminum, resist ashing, wet benches for all essential cleaning and etching steps
- Lithography: projection and proximity exposure systems, automatic wafer track for coating and developing
- 2 bonders (manual and automatic), packaging
- Class 100 cleanrooms for the development, testing, prequalification, and mounting of semiconductor manufacturing equipment with
  - MESC-compatible cluster platform with XPS measurement module
  - Test set-up for particle measurements
  - Test set-up for plasma diagnostics
  - Vertical furnace with *in situ* layer thickness metrology
- Silicon wafer marker and integrated vacuum processing tools
- Facilities for crystal growth: 5 high pressure furnaces, 1 multi zone furnace for high vacuum and reactive atmosphere, several multi zone furnaces, among other things for special applications (magnetic fields, centrifuge)
- Several magnets for steady and time-dependent magnetic fields
- centrifuge (3 m in diameter, up to 250 rpm)
- Wire saw and polishing machine (max. 3")
- Layer deposition: 2 evaporation systems, 2 sputter systems (max. 6"), 2 liquid phase epitaxy facilities

### Electrical Metrology

- Sheet resistance (four-point probe)
- Profile of carrier concentration and mobility (Hall measuring set, spreading resistance)
- Diffusion length and lifetime of minority carriers (Electroclytical Metal Tracer (Elymat), surface photovoltage (SPV), microwave photocurrent

- Zentrifuge (3 m Durchmesser, bis zu 250 U/min)
- Drahtsäge und Poliermaschine (max 3")
- Schichtabscheidung: 2 Aufdampf-anlagen, 2 Sputteranlagen (max. 6"), 2 Flüssigphasenepitaxieanlagen

#### Elektrische Meßtechnik

- Schichtwiderstand (Vierspitzenmeßplatz, Teststrukturen)
- Profile von Ladungsträgerkonzentration und -beweglichkeit (Hall-Meßplatz, Spreading-Resistance)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT), Surface Photovoltage (SPV), Microwave Photocurrent Decay ( $\mu$ W-PCD))
- Oxidladungs- und Grenzflächenzustandsdichte (hoch- und niederfrequente Kapazitäts-Spannungs-Messung, Thermo-Streß)
- Trap-Konzentration (Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS))
- I(U)- und C(U)-Messungen mit manuellen oder automatischen Scheibenprobern
- Prüfkartenfertigungsplatz
- Solarmeßplatz
- Hall-Effekt (temperaturabhängig 15 K - 650 K)
- Widerstandsmapping (Vierspitzen und Spreading Resistance)
- C(U), DLTS, TSC und PICTS für Messung von flachen und tiefen Störstellen
- Photolumineszenz (14 K, 300 K), IR-Absorption
- Oszilloskope (bis 10 GS/s)
- IR-Thermographie
- Zth-Meßplatz
- normgerechte Burst/Surge-Generatoren, Load-dump, ESD
- Netzleistungs- und Oberwellen-Analysator
- Klimatestkammer
- Lastwechseltesteinrichtung
- Impedanzanalysator

- Teilentladungsmessung

#### Geometrische Charakterisierung

- Scheibendicke und -verbiegung (kapazitiv)
- Schichtdicken (optisch mit Ellipsometer oder Interferometer, mechanisch mit Profilometer, schnelles Interferometer für *in situ*-Messungen, Spektralellipsometer (*in situ, ex situ*))
- Strukturbreiten (Rasterelektronenmikroskop, Laserrasterelektronenmikroskop)
- Partikelkontamination (für strukturierte und nicht strukturierte Scheiben)
- Elektronenoptische Untersuchungen (Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop mit digitaler Bildverarbeitung, Probenpräparation)
- Mechanische Spannungen in dünnen Schichten
- Interferometer

#### Analytik

- Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energiedispersiver Röntgenstrahlanalyse (EDX)
- Rasterkraftmikroskop (AFM)
- Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop
- Sekundärionen-Massenspektrometer (SIMS)
- Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometer (ToF-SIMS)
- Neutralteilchen-Massenspektrometer (SNMS)
- Rutherford-Rückstreu-Spektrometer (RBS)
- Photoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Atomabsorptionsspektrometer (AAS mit VPD)
- Transmissionselektronenmikroskop (TEM)
- Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- Hochauflösende Röntgendiffraktometer (HR-XRD)

- Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)
- UV / VIS / NIR Spektrometer
- Atmosphärendruckionisations-Massenspektrometer (APIMS)
- Kontaktwinkelmeßgerät
- Magnetsektorfeldmassenspektrometer
- ICP-Massenspektrometer (ICP-MS)
- Hochauflösendes ICP-Massenspektrometer (HR-ICP-MS)
- Flüssigchromatograph (LC)
- TOC-/DOC-Meßgeräte
- Partikelzähler für flüssige und gasförmige Medien und zur Überwachung der Reinraumqualität
- Feinfokusionenstrahlanlagen
- Thermowellenmeßtechnik
- optisches System zur Halbleiterscheibeninspektion und Klassifikation
- Gaschromatograph-Massenspektrometer mit Thermodesorption (TD)-GC-MS
- Kalometrie, Thermodynamik (DTA und DSC)

Am IIS-B können folgende Prozeßschritte und Analytik auf 300 mm-Scheiben durchgeführt werden:

#### Prozesse

- Oxidation
- Ionenimplantation
- Reinigung
- Naßätzen
- Aufdampfen (Metallisierung)
- Lithographie (bis zu 10  $\mu$ m)
- Polieren
- Waferreclaim
- Al- und Golddraht-Bonden
- Vakuum-Dampfphasen-Löten

#### Meßtechnik

- Schichtdickenmessung (Spektral- und Einwellenellipsometrie, Interferometrie)
- Thermowellenanalyse

- decay ( $\mu\text{W-PCD}$ )
- Oxide-charge and interface-state density (high- and low-frequency capacitance voltage measurement, thermal stress)
- Trap density (Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS))
- I-V and C-V measurements with manual or automatic wafer probers
- Test card assembly
- Solar measurement set-up
- Hall effect (temperature-dependent 15 K - 650 K)
- Resistivity mappings (four point probe and spreading resistance)
- C(U), DLTS, TSC und PICTS for measurement of shallow and deep levels
- Photoluminescence (14 K, 300 K), IR absorption
- Oscilloscopes (up to 10 GS/s)
- Thermal imaging system
- Zth measurement equipment
- Burst and surge pulse sources, load-dump, ESD
- Three-phase power meter with line harmonic analyzer
- Climatic test cabinet
- Power cycling test equipment
- impedance analyzer
- partial discharge measuring

#### Geometric Characterization

- Wafer thickness and bow (capacitive)
- Layer thickness (optically with ellipsometer or interferometer, mechanically with profilometer, rapid interferometer for *in situ* measurements, spectral ellipsometer (*in situ*, *ex situ*))
- Feature size (scanning electron microscope, laser scanning microscope)
- Transmission and scanning electron microscopy with digital image processing, sample preparation
- Mechanical stress in thin films
- Particle contamination (patterned and unpatterned)
- Interferometer

#### Analytics

- Scanning electron microscope (SEM) with energy-dispersive X-ray analysis (EDX)
- Atomic force microscope (AFM)
- Field-emission scanning electron microscope
- Secondary ion mass spectroscopy (SIMS)
- Time-of-flight secondary ion mass spectroscopy (ToF-SIMS)
- Secondary neutral mass spectroscopy (SNMS)
- Rutherford backscattering spectroscopy (RBS)
- X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)
- Atomic absorption spectroscopy (AAS with VPD)
- Transmission electron microscope (TEM)
- Total-reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF)
- High-resolution X-ray diffractometer (HR-XRD)
- Optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma (ICP-OES)
- UV / VIS / NIR spectrometer
- Atmospheric pressure ionization mass spectrography (APIMS)
- Contact angle measurement tool
- Magnetic sector field mass spectrography
- ICP mass spectrography (ICP-MS)
- High-resolution ICP mass spectrography (HRICP-MS)
- Liquid chromatography (LC)
- TOC / DOC measurement tools
- Particle counter for liquid and gaseous media and for monitoring cleanroom quality
- Focused ion beam systems
- Thermal wave metrology
- Optical system for wafer inspection and classification
- Gas chromatography mass spectrometer with thermo-desorption (TD)-GC-MS
- Calometry, thermodynamics (DTA

#### and DSC)

At IIS-B, the following process steps and analytics can be performed for 300 mm wafers:

#### Processing

- Oxidation
- Ion implantation
- Cleaning
- Wet etching
- Deposition (metallization)
- Lithography (down to 10  $\mu\text{m}$ )
- Polishing
- Waferreclaim
- Aluminum and gold filament bonding
- Vacuum vapor phase soldering

#### Metrology

- Layer thickness (single-wavelength and spectral ellipsometer, interferometer)
- Thermal wave metrology
- Vapor phased decomposition (VPD) with or without automatic droplet scanner
- Atomic absorption spectroscopy (AAS with VPD)
- ICP mass spectrometry (ICP-MS)
- Optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma (ICP-OES)
- Gas chromatography mass spectrometer with thermo-desorption (TD)-GC-MS
- Total-reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF)
- Diffusion length and lifetime of minority carriers (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT))
- Particle counter
- Fourier transformation infrared spectroscopy (TTIR)
- thermo-desorption
- defect inspection
- microscope with digital image processing

- Vapor Phase Decomposition (VPD) mit und ohne automatischen Tropfenscanner
- Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
- ICP-Massenspektrometrie
- Optische Emissionspektroskopie (ICP-OES)
- Gaschromatograph-Massenspektrometrie (GC-MS)
- Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträger mit Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT)
- Partikelmessungen
- Fouriertransformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR)
- Thermodesorption
- Defektinspektion
- Mikroskop mit digitaler Bildverarbeitung

#### Softwareausstattung

- Schaltungssimulatoren Pspice, Simplorer
- Flotherm (3D thermische FEA)
- Ansoft PEMAG
- Verschiedene Programme für Geräte-, Prozeß- und Bauelementesimulation
- Cadence Design Paket zur Synthese von Analog-Mixed-Signal ASICs
- Entwicklungswerkzeuge zur Gerätesteuerung
- Fuzzyentwicklungssystem

#### Rechner

- Leistungsfähiges Rechner-Netzwerk zur Durchführung von Simulationen, Arbeitsplatz- und Steuerrechner

#### Kontakt und weitere Informationen

##### Öffentlichkeitsarbeit

Dr. Claus Schneider  
Telefon: +49 (0) 9131 761-161  
Fax: +49 (0) 9131 761-112  
Email: info@iisb.fraunhofer.de

##### Applikations- und Dienstleistungszentrum Mikrosystemtechnik

Sven Berberich  
Telefon: +49 (0) 9131 761-341  
Fax: +49 (0) 9131 761-360  
Email: sven.berberich@iisb.fraunhofer.de

#### Technologiesimulation

Dr. Jürgen Lorenz  
Telefon: +49 (0) 9131 761-211  
Fax: +49 (0) 9131 761-212  
Email: juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

#### Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Dr. Lothar Pfitzner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-111  
Fax: +49 (0) 9131 761-112  
Email: lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

#### Technologie

Dr. Lothar Frey  
Telefon: +49 (0) 9131 761-320  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

Dr. Anton Bauer  
Telefon: +49 (0) 9131 761-308  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

#### Kristallzüchtung

Prof. Georg Müller  
Telefon: +49 (0) 9131 852-7636  
Fax: +49 (0) 9131 852-8495  
Email: georg.mueller@iisb.fraunhofer.de

Dr. Jochen Friedrich  
Telefon: +49 (0) 9131 761-344  
Fax: +49 (0) 9131 761-390  
Email: jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

#### Leistungselektronische Systeme

Dr. Martin März  
Telefon: +49 (0) 9131 761-310  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: martin.maerz@iisb.fraunhofer.de




## Software Tools

- Circuit simulation tools Pspice, Simplorer
- 3-D thermal FEA
- Ansoft PEMAG
- Various tools for equipment, process, and device simulation
- Cadence design package for syntheses of analog mixed-signal ASICS
- Development tools for equipment control
- Fuzzy development system

## Computers

- Powerful computer network for performing simulations, PCs, and control computers


  
Contact and Further Information

## Public Relations

Dr. Claus Schneider  
 Phone: +49 (0) 9131 761-161  
 Fax: +49 (0) 9131 761-112  
 Email: info@iisb.fraunhofer.de

Application and Service Center for  
Microsystems Technology

Sven Berberich  
 Phone: +49 (0) 9131 761-341  
 Fax: +49 (0) 9131 761-360  
 Email: sven.berberich@iisb.fraunhofer.de

## Technology Simulation

Dr. Jürgen Lorenz  
 Phone: +49 (0) 9131 761-210  
 Fax: +49 (0) 9131 761-212  
 Email: juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

Semiconductor Manufacturing  
Equipment and Materials

Dr. Lothar Pfitzner  
 Phone: +49 (0) 9131 761-110  
 Fax: +49 (0) 9131 761-112  
 Email: lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

## Technology

Dr. Lothar Frey  
 Phone: +49 (0) 9131 761-320  
 Fax: +49 (0) 9131 761-312  
 Email: lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

Dr. Anton Bauer  
 Phone: +49 (0) 9131 761-308  
 Fax: +49 (0) 9131 761-312  
 Email: anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

## Crystal Growth

Prof. Georg Müller  
 Phone: +49 (0) 9131 852-7636  
 Fax: +49 (0) 9131 852-8495  
 Email: georg.mueller@iisb.fraunhofer.de

Dr. Jochen Friedrich  
 Phone: +49 (0) 9131 761-344  
 Fax: +49 (0) 9131 761-390  
 Email: jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

## Power Electronic Systems

Dr. Martin März  
 Phone: +49 (0) 9131 761-310  
 Fax: +49 (0) 9131 761-312  
 Email: martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

## Mitarbeiterentwicklung

2002 beschäftigte das IISB 98 Mitarbeiter. Fig. 3 zeigt die Entwicklung des Personalstandes seit 1992.

## Staff Development

In 2002, IISB had 98 employees. Fig. 3 shows the staff development since 1992.

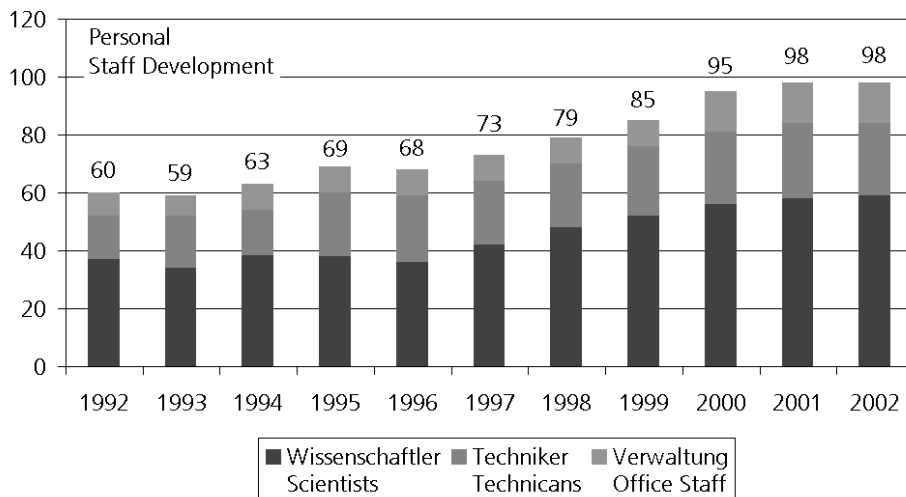


Fig. 3: Personalentwicklung 1992 - 2002;  
Staff development 1992 - 2002.

## Betriebshaushalt

Fig. 4 und Fig. 5 sollen eine schnelle Orientierung über die wichtigsten Kennziffern bei Aufwand und Finanzierung des IISB schaffen.

## Budget

Fig. 4 and Fig. 5 give a quick overview of the most important representative figures in terms of funding and investments of IISB.

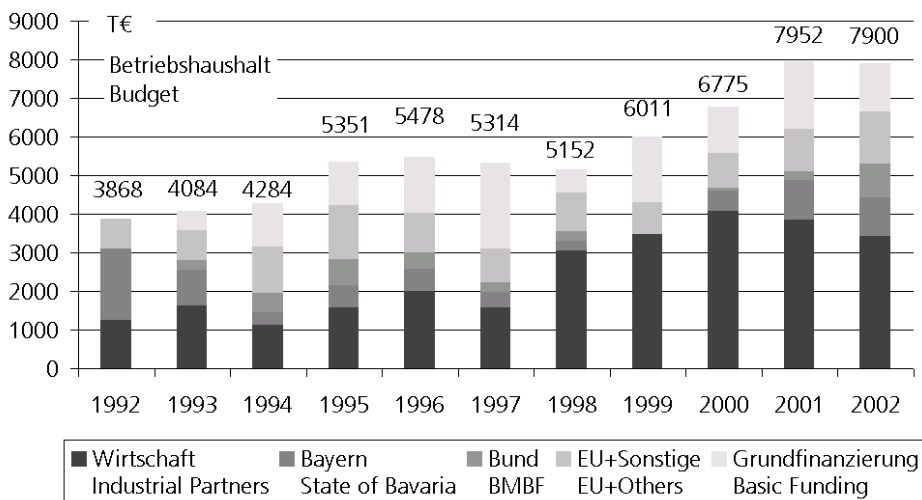


Fig. 4: Entwicklung des Betriebshaushaltes;  
Budget development IISB.

# Representative Figures

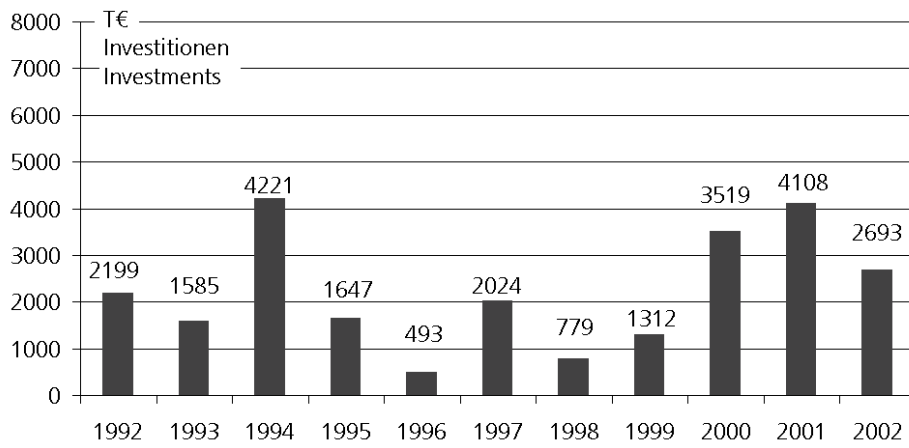


Fig. 5: Entwicklung des Investitionshaushaltes;  
Development of investments.

# Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

## Die Forschungsorganisation

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftliche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Qualifizierung für verantwortliche Positionen in ihren Instituten, in der Wirtschaft und in anderen Bereichen der Wissenschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 13 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von etwa einer Milliarde €. Davon fallen etwa 900 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Für rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft Erträge aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein

Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

## Die Forschungsgebiete

Die Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsarbeit an den Fraunhofer-Instituten sind acht Forschungsgebieten zugeordnet:

- Werkstofftechnik, Bauteilverhalten
- Produktionstechnik, Fertigungstechnologie
- Informations- und Kommunikationstechnik
- Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik
- Sensorsysteme und Prüftechnik
- Verfahrenstechnik
- Energie- und Bautechnik, Umwelt- und Gesundheitsforschung
- Technisch-ökonomische Studien, Informationsvermittlung

## Die Zielgruppen

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist sowohl der Wirtschaft und dem einzelnen Unternehmen als auch der Gesellschaft verpflichtet. Zielgruppen und damit Nutznießer der Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft sind:

- Die Wirtschaft: Kleine, mittlere und große Unternehmen in der Industrie und im Dienstleistungssektor profitieren durch die Auftragsforschung. Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt konkret umsetzbare, innovative Lösungen und trägt zur breiten Anwendung neuer Technologien bei. Für kleine und mittlere Unternehmen ohne eigene F&E-Abteilung ist die Fraunhofer-Gesellschaft wichtiger Lieferant für innovatives Know-how.
- Staat und Gesellschaft: Im Auftrag von Bund und Ländern werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt. Sie dienen der Förderung von Spitzen- und Schlüsseltechnologien oder Innovationen auf Gebieten, die von besonderem öffentlichem Interesse sind, wie Umweltschutz, Energietechniken und Gesundheitsvorsorge. Im Rahmen der Europäischen Union beteiligt sich die Fraunhofer-Gesellschaft an den entsprechenden Technologieprogrammen.

## Das Leistungsangebot

Wer wirtschaftlichen Erfolg sucht, muß neue Ideen entwickeln und rasch in Produkte umsetzen. Der schnelle Informationstransfer zählt zu den wichtigsten Zielen der Unternehmenspolitik der Fraunhofer-Gesellschaft. Unternehmen aller Größen und Branchen nutzen die Fraunhofer-Institute als externe High-Tech-Labors für praktisch alle Arten von Entwicklungsaufgaben,

# The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

## The Research Organization

The Fraunhofer-Gesellschaft undertakes applied research of direct utility to private and public enterprise and of wide benefit to society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration. The organization also accepts commissions and funding from German federal and Länder ministries and government departments to participate in future-oriented research projects with the aim of finding innovative solutions to issues concerning the industrial economy and demands faced by society in general.

By developing technological innovations and novel systems solutions for their customers, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. Through their work, they aim to promote the economic development of industrial society, paying particular regard to social and environmental concerns.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers a platform that enables its staff to acquire the necessary professional and personal qualifications to assume positions of responsibility within their Institute, in industry and in other scientific domains.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains roughly 80 research units, including 57 Fraunhofer Institutes, at over 40 different locations in Germany. A staff of some 13,000, predominantly qualified scientists and engineers, work with an annual research budget of around one billion euros. Of this sum, approximately €900 million is generated through contract research. Roughly two thirds of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research reve-

nue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. The remaining one third is contributed by the German federal and Länder governments, as a means of enabling the Institutes to pursue more fundamental research in areas that are likely to become relevant to industry and society in five or ten years' time.

Affiliated Research Centers and Liaison Offices in Europe, the USA and Asia provide contact with the regions of greatest importance to future scientific progress and economic development.

The Fraunhofer-Gesellschaft was founded in 1949 and is a recognized non-profit organization. Its members include well-known companies and private patrons who help to shape the Fraunhofer-Gesellschaft's research policy and strategic development.

The organization takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787-1826), the illustrious Munich-born researcher, inventor and entrepreneur.

## The Research Fields

The focal research and development activities at the Fraunhofer Institutes are grouped into eight focal fields, with the respective Institutes listed accordingly:

- Materials technology, component behavior
- Production technology, manufacturing engineering
- Information and communications technology
- Microelectronics, microsystems technology
- Sensor systems, testing technology
- Process technology
- Energy and building technology, environmental and health research

- Technical and economic studies, information transfer

## The Research Clients

The Fraunhofer-Gesellschaft maintains an obligation to serve industry, its partner companies, and society at large. Target groups and thus beneficiaries of research conducted by the Fraunhofer-Gesellschaft are:

- Industry: Small, medium-sized and multinational companies in industry and in the service sector all profit from contract research. The Fraunhofer-Gesellschaft develops technical and organizational solutions which can be implemented in practice, and promotes applications for new technologies. The Fraunhofer-Gesellschaft is a vital supplier of innovative know-how to small and medium-sized companies who do not maintain their own in-house R&D departments.
- Government and Society: Strategic research projects are carried out under contract to national and regional government. They serve to promote the implementation of cutting-edge technology and innovations in fields of particular public interest, such as environmental protection, energy conservation and health. The Fraunhofer-Gesellschaft furthermore participates in technology programmes supported by the European Union.

## The Range of Services

Commercial success depends on new ideas rapidly implemented as marketable products. One of the primary policy objectives of the Fraunhofer-Gesellschaft is improved information transfer. Companies of all sizes and from all sectors of industry use the

für spezielle Dienstleistungen und als kompetente Berater in organisatorischen und strategischen Fragen. Professionelles Projektmanagement und Verfahren des Qualitätsmanagements führen zu konkreten Ergebnissen, die sich in der Praxis bewähren.

### Die Vorteile der Vertragsforschung

Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt in acht Forschungsgebieten Produkte und Verfahren bis zur Anwendungsreife. Dabei werden in direktem Kontakt mit dem Auftraggeber individuelle Lösungen erstellt. Durch die Zusammenarbeit aller Institute stehen den Auftraggebern der Fraunhofer-Gesellschaft zahlreiche Experten mit einem breiten Kompetenzspektrum zur Verfügung. Gemeinsame Qualitätsstandards und das professionelle Projektmanagement der Fraunhofer-Institute sorgen für verlässliche Ergebnisse der Forschungsaufträge.

Modernste Laborausstattungen machen die Fraunhofer-Gesellschaft für Unternehmen aller Größen und Branchen attraktiv. Neben der Zuverlässigkeit einer starken Gemeinschaft sprechen auch wirtschaftliche Vorteile für die Zusammenarbeit, denn die kostenintensive Vorlaufforschung bringt die Fraunhofer-Gesellschaft bereits als Startkapital in die Partnerschaft ein.

Der Weg zur Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft

Fraunhofer-Gesellschaft  
Hauptabteilung Forschung und Kommunikation  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-577 / 544  
Fax: +49 (0) 89/12 05-317  
Email: gorzaw@zv.fraunhofer.de  
Email: behlau@zv.fraunhofer.de

Die zentrale Anschrift lautet:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.  
Postfach 19 03 39  
D-80603 München  
Leonrodstraße 54  
D-80636 München  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-01  
Fax: +49 (0) 89/12 05-317  
Internet: <http://www.fraunhofer.de/>

Dem Vorstand gehören an:

Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger  
(Präsident)  
Dr. Dirk-Meints Polter  
(Vorstand Personal und Recht)  
Prof. Dr. Dennis Tsichritzis  
(Vorstand Wissensmanagement und Startups/Beteiligungen)  
Dr. Alfred Gossner  
(Vorstand Finanzen)

Ihre Ansprechpartner in der Abteilung für Presse und Öffentlichkeitsarbeit:

Dr. Ingo Heinemann  
(Öffentlichkeitsarbeit)  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-277  
Email: sarria@zv.fraunhofer.de  
Franz Miller  
(Presse)  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-533  
Email: miller@zv.fraunhofer.de

Fraunhofer Institutes as external high-tech laboratories for virtually all kinds of development work, for special services, and as expert consultants on organizational and strategic questions. Professional project management and processes of quality management lead to concrete results of genuine market value.

### The Advantages of Contract Research

The Fraunhofer-Gesellschaft develops products and processes through to market implementation in eight focal research fields. Individual solutions are generated in close cooperation with the industrial partner. The cooperation of all Fraunhofer Institutes ensures industrial partners the necessary expertise across a wide spectrum of disciplines. Common standards of quality and the professional project management of the Fraunhofer Institutes guarantee reliable results from research contracts.

The latest laboratory equipment makes the Fraunhofer-Gesellschaft attractive to companies of all sizes and from all sectors of industry. In addition to the reliability of this powerful association, economic benefits also speak for collaboration; cost-intensive preparatory research by the Fraunhofer-Gesellschaft represents the investment capital it makes available to any partnership.

### Working together with the Fraunhofer-Gesellschaft

Research and Communications Division  
Phone: +49 (0) 89 1205-577 / 544  
Fax: +49 (0) 89 1205-317  
Email: gorzaw@zv.fraunhofer.de  
Email: behlau@zv.fraunhofer.de

The central address is:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der Angewandten Forschung e.V.  
Postfach 19 03 39  
D-80603 Muenchen  
Leonrodstrasse 54  
D-80636 Muenchen  
Phone: +49 (0) 89 1205-01  
Fax: +49 (0) 89 1205-317  
Internet: <http://www.fraunhofer.de/>

The Members of the Executive Board:

Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger  
(President)  
Dr. Dirk-Meints Polter  
(Personnel, Legal Department, International Relations)  
Prof. Dr. Dennis Tsichritzis  
(Knowledge Management and Startups / Joint Ventures)  
Dr. Alfred Gossner  
(Accounting Department)

Press and Public Relations:

Dr. Ingo Heinemann  
(Public Relations)  
Phone: +49 (0) 89 1205-277  
Email: sarria@zv.fraunhofer.de  
Franz Miller  
(Press)  
Phone: +49 (0) 89 1205-533  
Email: miller@zv.fraunhofer.de

## Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik

Der Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik V $\mu$ E koordiniert seit 1996 die Aktivitäten der auf den Gebieten Mikroelektronik und Mikrointegration tätigen Fraunhofer-Institute. Seine Aufgabe besteht dabei im frühzeitigen Erkennen neuer Trends bei mikroelektronischen Anwendungen und deren Berücksichtigung bei der strategischen Weiterentwicklung der Verbundinstitute. Dies geschieht vorwiegend durch Entwicklung gemeinsamer Themenschwerpunkte und Projekte. Auf diesem Wege kann der Verbund insbesondere innovativen mittelständischen Unternehmen rechtzeitig zukunftsweisende Forschung und anwendungsorientierte innovative Entwicklungen anbieten und so entscheidend zu deren Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Der Verbund widmet sich beispielsweise den aktuellen Themen ubiquitärer Elektronik und Systeme. Die Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik fungiert als zentrales Koordinierungsbüro für neun Verbundinstitute. Sie berät und unterstützt das Direktorium des Verbunds Mikroelektronik bei Fra-

gen der inhaltlichen Abstimmung und der fachlichen Zukunftsplanung. Zentrale Aufgabe ist die Erarbeitung von Strategien und Roadmaps für die Verbundinstitute sowie die Koordinierung ihrer Umsetzung. Darüber hinaus ist die Geschäftsstelle für zentrales Marketing und institutsübergreifende Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

## Fraunhofer Alliance Microelectronics

The Fraunhofer Microelectronics Alliance V $\mu$ E coordinates the activities of the Fraunhofer institutes working in the fields of microelectronics and micro-integration. Its purpose is to recognize and anticipate new trends in microelectronics applications and to incorporate them in the future strategic plans of the member institutes. This is generally done by defining joint focal areas of research and through joint projects. This method of working enables the cooperating institutes to offer their customers, in particular innovative small and medium-sized firms, access to cutting-edge research and innovative developments in applications at an extremely early stage, thus giving them a

distinct competitive advantage.

The office of the Fraunhofer Microelectronics Alliance serves as a central liaison point for the seven member institutes. Acting in an advisory function, it provides support to the steering committee of the Microelectronics Alliance in matters related to the coordination of research content and the planning of future work. The office's main function is to draw up strategies and roadmaps for the member institutes and to coordinate their implementation. A further aspect of its work is central marketing and cross-institute public relations work.

Fraunhofer-Institut / Fraunhofer Institute	Ort / Location	Leitung / Director
Angewandte Festkörper Physik IAF / Applied Solid State Physics IAF	Freiburg	Prof. Dr. Günter Weimann
Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik HHI Heinrich-Hertz-Institut HHI	Berlin	Prof. Dr. Joachim Hesse
Integrierte Schaltungen IIS / Integrated Circuits IIS	Erlangen, Nürnberg, Fürth Dresden, Ilmenau	Prof. Dr. Heinz Gerhäuser
Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB / Integrated Systems and Device Technology IISB	Erlangen	Prof. Dr. Heiner Ryszel
Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS / Microelectronic Circuits and Systems IMS	Duisburg Dresden	Prof. Dr. Peter Jung Prof. Dr. Günter Zimmer
Photonische Mikrosysteme IPMS / Photonic Microsystems IPMS	Dresden	Dr. Hubert Lakner
Siliciumtechnologie ISIT / Silicon technology ISIT	Itzehoe	Prof. Dr. Anton Heuberger
Systeme der Kommunikationstechnik ESK / Communications Systems ESK	München	Prof. Dr. Ingolf Ruge
Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM / Reliability and Microintegration IZM	Berlin, München, Teltow Chemnitz, Paderborn	Prof. Dr. Herbert Reichl Vorsitzender des Verbundes/Chairman



Die Standorte der Forschungseinrichtungen

Locations of the Research Facilities



Fig. 6: Die Standorte der Forschungseinrichtungen;  
Locations of the Research Institutes in Germany.

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologiesimulation

Die Abteilung Technologiesimulation konnte auch im Jahr 2002 nahtlos an den Erfolg der Vorjahre anschließen: Neben einem wiederum sehr hohen Finanzierungsanteil durch externe Projekte freuen wir uns insbesondere über den andauernden Erfolg der wissenschaftlichen Arbeiten und den weiteren Ausbau unserer nationalen und internationalen Kooperationen.

Nachdem Ende 2001 die ESPRIT User Group „UPPER“ sehr erfolgreich abgeschlossen worden war, wurde in 2002 auf Wunsch der industriellen Partner das Nachfolgeprojekt „UPPER+“ im letzten Aufruf des 5. Rahmenprogramms vom IISB beantragt und von der EU trotz der am Ende des 5. Rahmenprogramms sehr beschränkten Finanzmittel angenommen. Für das IISB sind bei UPPER+ nicht die bewilligten Ressourcen entscheidend, sondern daß es sich wiederum um eine ideale Plattform für die Abstimmung von Forschungsplänen mit der europäischen Industrie handelt. Diese enge Kooperation der Abteilung mit Halbleiterindustrie und Softwarehäusern ist bereits in der Vergangenheit entscheidend für den Erfolg gewesen und wird in Zukunft möglichst noch ausgebaut werden. Die daraus erwachsene zentrale Rolle der Abteilung innerhalb der europäischen Halbleitertechnologiesimulation wird unter anderem dadurch belegt, daß das IISB neben UPPER+ in 2002 mit MAGIC\_FEAT, FRENDECH und MULSIC vier einschlägige IST-Projekte geleitet hat. Des weiteren übernahm der Leiter der Abteilung Technologiesimulation, wie bereits im vorigen Bericht angekündigt, auf Wunsch der Industrie ab 2002 die Leitung der „International Technology Working Group“ (ITWG) „Modeling and Simulation“ der „International

Technology Roadmap for Semiconductors“ (ITRS). Unseres Wissens nach wird damit erstmals eine der 12 ITWGs von außerhalb der USA geleitet. Besonders hervorzuheben ist auch die enge Zusammenarbeit der Abteilung mit der Halbleiterfirma INFINEON und dem Softwarehaus SIGMA-C auf dem Gebiet der Lithographiesimulation: Diese exemplarische Kooperation zwischen Forschung, Softwarehaus als Serviceanbieter sowie Endnutzer hat wiederum zu weit über Deutschland und Europa hinaus anerkannten Ergebnissen geführt.

Die Hauptrichtungen der wissenschaftlichen Arbeiten im zurückliegenden Jahr waren die Entwicklung physikalischer Modelle insbesondere für Diffusion, Lithographie und Schichtabscheidung, von effizienten problemangepaßten Algorithmen für die dreidimensionale Prozeß- und Lithographiesimulation, die Implementierung der Algorithmen und Modelle in leistungsfähigen dreidimensionalen Prozeß- und Lithographiesimulatoren, sowie die Anwendung dieser Programme und weiterer Simulatoren von Kooperationspartnern zur Entwicklung und Optimierung von Halbleitertechnologien und -bauelementen. Die Bandbreite der Anwendungen reicht hierbei von der Optimierung von Phasenschiebmasken für die optische Lithographie bis zum besseren Verständnis und daraus wachsenden Verbesserungen modernster Nanohalbleiterbauelemente, z.B. sogenannter FINFET Transistoren mit Gatelängen von 50 nm und darunter.

Um der rapiden Entwicklung in der Mikroelektronik auch in Zukunft gerecht werden zu können, ist es neben der Beibehaltung und dem weiteren Ausbau der engen Kooperation insbesondere mit der Halbleiterindustrie vor allem notwendig, rechtzeitig durch gezielte Vorlauftforschung die wissenschaftliche Kompetenz der Abteilung

weiterzuentwickeln und zukünftige Themen vorzubereiten. Diese Einschätzung wird auch im 2002 fertiggestellten und extern auditierten Strategieplan des Instituts und der Abteilung bekräftigt, was für uns eine weitere Motivation zur Ausweitung unserer diesbezüglichen Aktivitäten darstellt. Wichtige neue Themenfelder sind unter anderem die sogenannte „Next Generation Lithographie“, atomistische Simulationen sowie insgesamt gekoppelte hierarchische Simulationen, mit denen z.B. der Einfluß von nichtidealen Prozessen und Prozeßschwankungen auf Chip-Ebene untersucht werden kann. Die enge Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen am IISB, insbesondere der Halbleitertechnologie und den Halbleiterfertigungsgeräten, sowie die Nutzung der Möglichkeiten der universitären Forschung insbesondere seitens des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente werden hierfür in Zukunft noch an Wichtigkeit gewinnen.

Auch für die Technologiesimulation ist die Heranziehung geeigneten wissenschaftlichen Nachwuchses von großer Bedeutung. Über die Einbeziehung von Diplomanden und Doktoranden hinaus unterstützt die Abteilung deshalb seit 2002 die Lehre an der Universität Erlangen-Nürnberg durch neu eingerichtete Vorlesungen zur „Prozeß- und Bauelementesimulation“ (ab dem Sommersemester 2002) sowie zu „Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen“ (ab dem Wintersemester 2002/03) zusammen mit der Abteilung Halbleitertechnologie).

Ansprechpartner

Dr. Jürgen Lorenz  
Telefon: +49 (0) 9131 761-210  
Email: juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

## Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology Simulation

Also in 2002, the department of Technology Simulation continued its success of the preceding years: Besides an again very high revenue from external contracts, we are especially glad to see the results of our scientific work and the further extension of our international cooperations.

After the ESPRIT User Group „UPPER“ finished very successfully at the end of 2001, on request from industry we proposed in 2002 the follow-up project „UPPER+“ within the final call of the EC 5th Framework Programme. In spite of the very limited resources available at the end of the 5th Framework Programme, the EC approved the funding of UPPER+. Here, for IISB not the small resources provided are of major importance, but that UPPER+ is again an ideal platform for the consolidation of research plans with European semiconductor industry. This close cooperation of the department with semiconductor industry and software houses was already in the past of highest importance for the success of the department and will therefore be further extended in future. The central role of the department in European technology simulation, resulting from these cooperations, is among others highlighted by the coordination of four European compound projects by the department in 2002: Besides UPPER+ also the IST projects MAGIC\_FEAT, FRIENDTECH and MULSIC. Additionally, as already announced in the preceding report, the head of the Technology Simulation Department accepted the request from industry to act from 2002 on as chairperson of the „International Technology Working Group“ (ITWG) „Modeling and Simulation“ of the „In-

ternational Technology Roadmap for Semiconductors“ (ITRS). As far as we know, this is the first time that one of the 12 ITWGs is chaired from outside the USA. Another highlight is also the close cooperation between the department, the semiconductor company INFINEON and the software house SIGMA-C in the field of lithography simulation: This is an excellent example for cooperation between research, a software house as service provider and an end user, and has again led to results that are very well recognized far beyond Germany and Europe.

Main fields of scientific work in 2002 have been the development of physical models especially for dopant diffusion, lithography and layer deposition, of efficient problem-specific algorithms for the three-dimensional process and lithography simulation, the implementation of the models and algorithms developed into powerful simulation programs, and the application of these programs and others from cooperation partners for the development and optimization of semiconductor technologies and devices. The area of applications extends from the optimization of phase-shift masks to the better understanding and resulting improvements of most modern nanoelectronic devices, such as so-called FINFET transistors with gate lengths of 50 nm and below.

In order to also keep pace with the rapid development of microelectronics in future, it is, besides the continuation and further extension of the close cooperation with semiconductor industry, especially important to carry out dedicated advance research to further develop the scientific competence of the department and to prepare for future research topics. This assessment is also supported by the strategy plan of the institute and the department which was finished and externally audited in

2002. These assessments provide an additional motivation for the department to further extend its corresponding activities. Important new areas are among others the so-called „Next Generation Lithography“, atomistic simulations and coupled hierarchical simulations which should enable e.g. the investigation of the influence on chip level of non-ideal processes and process fluctuations. The close cooperation with other departments at IISB, especially that of semiconductor technology and of semiconductor fabrication equipment, and the use of the possibilities of university research at the Chair of Electron Devices will still further increase in importance in future.

Also for the Department of Technology Simulation, the acquisition of skilled young scientists is of high importance. Beyond the involvement of diploma and PhD students in the work of the department, it has also supported teaching at the University of Erlangen-Nuremberg by newly established lectures since the summer term 2002 on „Prozeß- und Bauelementesimulation“ (process and device simulation) and since the winter term 2002/03 on „Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen“ (Reliability and Failure Analysis of Integrated Circuits), the latter one together with the department of Semiconductor Technology.

## Contact

Dr. Jürgen Lorenz  
Phone: +49 (0) 9131 761-210  
Email: juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

# Untersuchung elektrischer Eigenschaften von CMOS-Bauelementen in Abhängigkeit von der Prozeßführung mittels Simulation

Die Simulation der bei der Herstellung der Bauelemente verwendeten Prozesse sowie der Bauelementeeigenschaften ist ein wertvolles Hilfsmittel zur Verkürzung der Entwicklungszeiten und Reduktion der Entwicklungskosten. Immer kleiner werdende Abmessungen der CMOS-Bauelemente führen dazu, daß flachere pn-Übergänge und höhere Dotierstoffkonzentrationen nötig sind. Solche Dotierstoffverteilungen werden durch höhere Implantationsdosen und kürzere Ausheilzeiten erreicht. Diese Tendenz der Technologieentwicklung führt dazu, daß neue physikalische Effekte, die in konventionellen Simulationsmodellen nicht hinreichend berücksichtigt wurden, ins Spiel kommen. Ein solcher Effekt ist die transiente Diffusion nach der Ionenimplantation, welche sich üblicherweise in einer vorübergehenden Beschleunigung der Diffusion äußert. Diese Beschleunigung der Diffusion bei einer thermischen Behandlung nach der Ionenimplantation wird durch das Vorhandensein von im kristallinen Silicium nach der Ionenimplantation verbleibenden Strahlenschäden erklärt. Um die transiente Diffusion im Silicium simulieren zu können, braucht man neue fortschrittliche Diffusionsmodelle, welche außer der Punktdefekte auch die räumlich erweiterten Defekte berücksichtigen, die bei der Ionenimplantation und einer anschließenden thermischen Behandlung

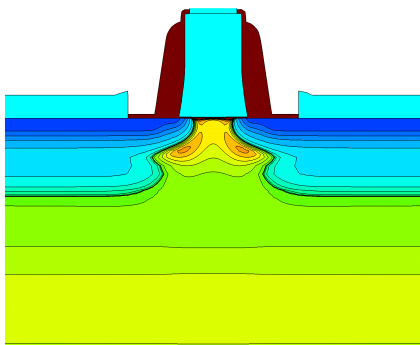


Fig. 1: Dotierstoffverteilung in einem 0,18  $\mu\text{m}$  PMOS-Transistor; Doping distribution in an 0.18  $\mu\text{m}$  PMOS transistor.

erzeugt und teilweise wieder ausgeheilt werden. Während in anderen Aktivitäten der Abteilung u. a. auch solche physikalischen Modelle entwickelt werden, ist für die Anwendung zur Technologie- und Bauelementesimulation ihre Implementierung in den verwendeten Simulatoren bzw. die geeignete Kalibrierung der verwendeten Modelle erforderlich. Die wechselseitige Beeinflussung von Ionenimplantation und Diffusion aufgrund der Erzeugung und der Kinetik von Kristalldefekten erfordert eine gemeinsame Kalibrierung der Modelle für Ionenimplantation und für die Diffusion. Mit den so kalibrierten fortschrittlichen Simulationsmodellen für die transiente Diffusion lassen sich dann die Verteilungen der Dotierstoffe in den aktiven Gebieten der CMOS-Bauelemente adäquat ausrechnen und darauf aufbauend die Kennlinien der CMOS-Transistoren gut wiedergeben.

Fig. 1 und 2 zeigen ein Beispiel der gekoppelten Prozeß- und Bauelementesimulation für die 0,18  $\mu\text{m}$  CMOS-Generation, in welchem die oben genannten Effekte der transienten Diffusion mittels fortschrittlicher Simulationsmodelle berücksichtigt wurden. Die gute Übereinstimmung von simulierten und gemessenen Transistorkennlinien für verschiedene Gate- und Drainspannungen spricht für eine adäquate Kalibrierung der Modelle.

Nachdem die Simulationsmodelle für eine bekannte Prozeßführung kalibriert wurden, kann eine Simulation verschiedener Prozeßvarianten und der entsprechenden Bauelemente mit dem Ziel durchgeführt werden, die elektrischen Eigenschaften der Bauelemente zu optimieren. Entsprechende Arbeiten des IISB erfolgen in der Regel in Kooperation mit Halbleiterfirmen oder anderen Forschungseinrichtungen, die derartige Bauelemente herstellen und an ihrer Optimierung interessiert sind. Im hier gezeigten Beispiel werden die Ergeb-

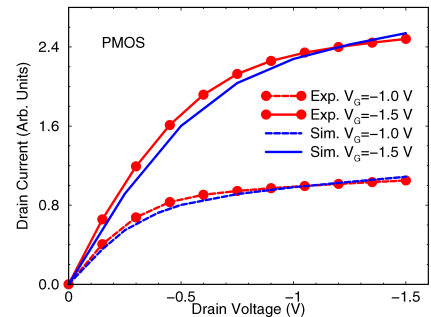


Fig. 2: Gemessene (Exp.) und simulierte (Sim.) Ausgangskennlinien eines 0,18  $\mu\text{m}$  PMOS-Transistors; Measured (Exp.) and simulated (Sim.) output characteristics of an 0.18  $\mu\text{m}$  PMOS transistor.

nisse der gekoppelten Prozeß- und Bauelementesimulationen als kompakte polynomiale Modelle dargestellt, welche die Abhängigkeiten der elektrischen Parameter der Bauelemente von der Wahl der Prozeßparameter beschreiben. Typische Prozeßparameter sind z. B. die Dosen der Ionenimplantationen, welche die Dotierung in aktiven Gebieten der Transistoren festlegen oder die Ausheilungs- und Oxidationszeiten. Fig. 3 und 4 zeigen zwei Beispiele der Simulation von Prozeßvariationen: Es wurde die Dosis der Kanalimplantation und die Gateoxidstärke variiert und die Schwellspannungen von 0,25  $\mu\text{m}$  NMOS- und PMOS-Transistoren in der Simulation berechnet. Da die in Fig. 3 und 4 dargestellten Isolinien der Schwellspannung und des Arbeitsstroms nicht parallel verlaufen, gibt es Reserven für die Optimierung der Prozeßführung: z. B. kann durch bestimmte Prozeßvariationen ein größerer Arbeitsstrom bei gleicher Schwellspannung erreicht werden.

## Ansprechpartner

Dr. Alexander Burenkov  
Telefon: +49 (0) 9131 761-255  
Email: alexander.burenkov@iisb.fraunhofer.de

# Simulation Studies of the Electrical Performance of CMOS Devices in Dependence of the Process Flow

The simulation of the processes used in device manufacturing and of their electrical properties has become a valuable tool for the reduction of development times and costs. Ever shrinking device dimensions require more and more shallow junctions and higher dopant concentrations. Such dopant distributions are produced using higher implantation doses and shorter annealing times. This trend in technology development results in new physical effects which are getting more important, but are not sufficiently considered in current simulation programs. An important effect of this kind is the transient diffusion after ion implantation, which usually results in a temporary increase of the dopant diffusion. This accelerated diffusion after ion implantation is caused by crystal defects remaining after the ion implantation. In order to be able to simulate this transient diffusion in silicon, new advanced diffusion models are needed which include not only point defects but also extended defects. These are created and partly annealed again during ion implantation and subsequent high-temperature processing. In other activities of the department, such models are being developed. For their application to support process and device optimization, however, either their implementation into

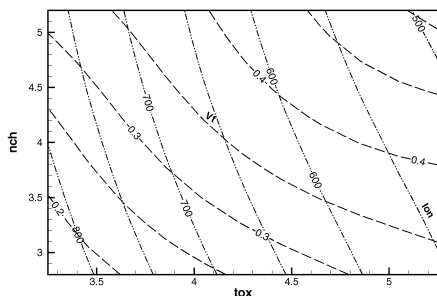


Fig. 3: Arbeitsstrom ( $I_{on}$ ) und Schwellspannung ( $V_t$ ) von  $0,25 \mu\text{m}$  NMOS-Transistoren in Abhängigkeit von der Dosis der Kanalimplantation ( $n_{ch}$ ) und der Gateoxiddicke ( $tox$ ); Drain drive current ( $I_{on}$ ) and threshold voltage ( $V_t$ ) of  $0,25 \mu\text{m}$  NMOS transistors as a function of the dose of the channel implantation ( $n_{ch}$ ) and of the gate-oxide thickness ( $tox$ ).

the applied simulation programs or the calibration of the models already available there is necessary. The interdependence of ion implantation and diffusion caused by the generation and kinetics of crystal defects requires a parallel calibration of implantation and diffusion models. This then allows the appropriate simulation of transient diffusion and the resulting dopant distributions in the active area of the CMOS devices, and in turn to well describe the characteristics of the CMOS transistors.

Figs. 1 and 2 show an example of coupled process and device simulation for the  $0,18 \mu\text{m}$  CMOS generation, in which the effects outlined above were considered using advanced process models. The good agreement between simulated and measured transistor characteristics for various drain and gate voltages indicates the adequate calibration of the models.

After the simulation models have been calibrated for a known process sequence, a simulation study of different process variants can be carried out in order to optimize the electrical behavior of the devices. IISB performs such activities usually in cooperation with semiconductor companies or other research institutes which fabricate such devices and are therefore interested in their optimization. In the example shown here, the results of coupled process and device simulation are displayed as compact polynomial models which describe the dependence of the electrical device data on the choice of the process parameters. Typical process parameters considered are e.g. the implantation dose which controls the doping in the active areas of the transistor or the durations of annealing and oxidation steps. Figs. 3 and 4 show two examples for the simulation of process variations: The channel implantation dose and the gate-oxide thickness were varied and the threshold voltage of the

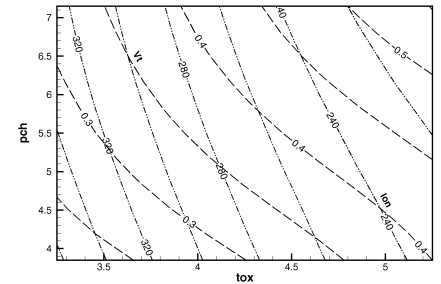


Fig. 4: Arbeitsstrom ( $I_{on}$ ) und Schwellspannung ( $V_t$ ) von  $0,25 \mu\text{m}$  PMOS-Transistoren in Abhängigkeit von der Dosis der Kanalimplantation ( $p_{ch}$ ) und der Gateoxiddicke ( $tox$ ); Drain drive current ( $I_{on}$ ) and threshold voltage ( $V_t$ ) of  $0,25 \mu\text{m}$  PMOS transistors as a function of the dose of the channel implantation ( $p_{ch}$ ) and of the gate-oxide thickness ( $tox$ ).

$0,25 \mu\text{m}$  NMOS and PMOS transistors was simulated. Because of the isolines of threshold voltage and drain current shown in figs. 3 and 4 not being parallel, the process can still be optimized towards a higher drain drive current while maintaining the threshold voltage.

## Contact

Dr. Alexander Burenkov  
 Phone: +49 (0) 9131 761-255  
 Email: alexander.burenkov@iisb.fraunhofer.de

# FRENDTECH - eine europäische Initiative zur Entwicklung von Prozessmodellen für die Front-End-Prozessierung von Silicium

## Einleitung

Im Zuge der kontinuierlichen Miniaturisierung von Silicium-Bauelementen werden zahlreiche Alternativen während der Entwicklung von Front-End-Prozessen getestet. Wegen der enormen Kosten, und um Zeit zu sparen, wird dabei in umfangreichem Maße rechnergestützter Entwurf (TCAD) eingesetzt. Der Erfolg von TCAD ist jedoch begrenzt, wenn Bauelementesimulationen auf unkorrekten Dotieratomverteilungen beruhen. Der rasante technologische Fortschritt erfordert aber oft Modelle für Prozesse außerhalb des experimentellen Wissens. Diese existieren oft nicht oder sind zu ungenau.

## FRENDTECH-Chronik

Eine Liste für die am dringendsten benötigten Modelle wurde von den in der ESPRIT-Benutzergruppe „UPPER“ organisierten führenden europäischen Halbleiterfirmen aufgestellt. Um deren Verfügbarkeit sicherzustellen, beauftragte das UPPER-Konsortium P. Pichler vom FhG-IISB mit der Beantragung eines entsprechenden neuen Antrages im 5. Rahmenprogramm der EC. P. Pichler war zuvor bereits Koordinator des ESPRIT-Projekts RAPID, in dem solche Modelle für eine frühere Technologiegeneration erfolgreich entwickelt wurden.

Der Antrag für FRENDTECH (Front-End Models for Silicon Future Technology) wurde im Januar 2001 bei der EC eingereicht. Nach positiver Evaluierung begannen die Arbeiten am 1. September 2001. Mit dem Aufruf vom 7. Juni 2001 ergab sich die Möglichkeit, auf die Fachkenntnisse von Forschern aus den „Newly Associated States“ Osteuropas zurückzugreifen. Nach positiver Evaluierung des Antrags konnte der neue Partner MTA-MFA die Arbeit am 1. März 2002 beginnen.

## Ziele

Aufgrund der Anforderungen von UPPER werden in FRENDTECH-Modelle für die Ionenimplantation, Diffusion und Oxidation von Silicium- und Silicium-Germanium-Bauelementen entwickelt.

Für die Ionenimplantation werden Parameter für ein- und zweidimensionale Fremdatomverteilungen und Defektprofile bestimmt. Ein wichtiger Teil der Arbeit betrifft ausgedehnte Defekte (von kleinen Zwischengitteratomclustern über {113}-Defekte bis Versetzungsschleifen und Dotieratom-Zwischengitteratomkomplexe). Diese sind für transiente Effekte bei Diffusion und Aktivierung verantwortlich, die zu tiefen Profilen und ungenügender elektrischer Aktivierung führen. Weiterhin werden Diffusionsmodelle für Indium und Stickstoff entwickelt. Oxidationsuntersuchungen werden zur Entwicklung eines kalibrierten Modells verwendet, das auch den Einfluß von Dotieratomen und Stickstoff berücksichtigt. Untersuchungen an Silicium-Germanium-Proben werden zur Entwicklung eines Modells für die Diffusion und Aktivierung von Dotieratomen unter Einbeziehung mechanischer Spannungen genutzt. Die entwickelten Modelle werden in ein kommerziell erhältliches Programm implementiert, so daß sie für die Halbleiterindustrie von unmittelbarem Nutzen sind.

Die Arbeit stützt sich auf die einzigartige Kombination von Anlagen der Partner zur Prozessierung und Charakterisierung von Bauelementen und deren Erfahrung in Modellierung und Simulation. Sie kann als ein eindrucksvolles Beispiel für die Vorteile europäischer Kooperationen im großen Rahmen gesehen werden. Natürlich ist das Management eines so großen und inhomogenen Konsortiums eine Herausforderung, die nur durch die langjährige Er-

fahrung und gut entwickelten Kooperationen des IISB ermöglicht wird.

## Beteiligte Partner

- ▶ Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (FhG-IISB), Erlangen, Deutschland
- ▶ Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales des Centre National de la Recherche Scientifique (CEMES/CNRS), Toulouse, Frankreich
- ▶ Istituto per la Microelettronica e microsistemi des Consiglio Nazionale delle Ricerche (IMM/CNR), Catania, Italien
- ▶ Institute of Microelectronics des National Center for Scientific Research "Demokritos" (IMEL/CNSR), Athen, Griechenland
- ▶ Integrated Systems Engineering AG (ISE-AG), Zürich, Switzerland
- ▶ Institut Supérieur d'Electronique du Nord (ISEN), Lille, Frankreich
- ▶ Philips Innovative Technology Solutions N.V. (PITS), Leuven, Belgien
- ▶ School of Electronics, Computing and Mathematics, University of Surrey, Guildford, Vereinigtes Königreich
- ▶ School of Engineering Sciences/Materials Research Group, University of Southampton, Southampton, Vereinigtes Königreich
- ▶ Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie des Centre National des Recherche Scientifique (CNRS-UMR 8520), Lille, Frankreich
- ▶ Research Institute for Technical Physics and Materials Science der Hungarian Academy of Sciences (MTA-MFA), Budapest, Ungarn

## Ansprechpartner

Dr. Peter Pichler  
Telefon: +49 (0) 9131 761-227  
Email: peter.pichler@iisb.fraunhofer.de

# FRENDTECH - a European Initiative for the Development of Process Models for Front-end Processing of Silicon

## Introduction

For the continuous miniaturization of silicon devices, various alternatives are being tested during front-end process development. Because of the enormous costs of experimental validation and to save time, technology-computer-aided design (TCAD) is used extensively in this field. But the success of TCAD is limited if device simulation is based on incorrect doping distributions. However, the rapid technological progress requires models for processes outside the limits of experimental knowledge. Such models often do not exist or are not accurate enough.

## FRENDTECH Chronicles

A list of top priorities for such models has been specified by the leading European semiconductor manufacturers organized in the ESPRIT User Group "UPPER". In order to make sure that the models are available when they are needed, the UPPER consortium assigned P. Pichler to initiate a new project proposal within the 5th framework of the EC. P. Pichler was already the coordinator of the ESPRIT project RAPID in which such models were developed successfully for the previous technology generation.

The proposal for FRENDTECH, standing for Front-End Models for Silicon Future Technology, was submitted on January 15, 2001 in response to the call of October 14, 2000. After positive evaluation, the project started on September 1, 2001. Within the call of July 7, 2001, the opportunity arose to involve also the expertise or research institutes from the Newly Associated States. The respective proposal was submitted in October and, after a positive evaluation, the new partner MTA-MFA could start its work on March 1, 2002.

## Objectives

Driven by the demands of UPPER, front-end process models are developed within FRENDTECH for ion implantation, diffusion, and oxidation of silicon and silicon-germanium devices.

Within ion implantation, parameters for one- and two-dimensional impurity profiles and defect profiles are determined. An important part of the work on diffusion concerns extended defects (from small interstitial clusters via {113} defects to dislocation loops and dopant-self-interstitial complexes). They are known to be responsible for transient effects in diffusion and activation of dopants which causes too deep profiles and too low dopant activation. The investigations on impurity diffusion will also lead to models for nitrogen and indium. Work on oxidation will lead to a calibrated model able to predict the kinetics of oxidation down to extremely thin oxides, including the influence of dopants and nitrogen. Investigations of silicon-germanium materials will allow to model dopant diffusion and activation in such materials. Stress effects on diffusion and activation of dopants will be addressed as well. The models developed and parameters extracted will be implemented in a commercial software tool to be of immediate use for the European semiconductor industry.

The work benefits from the unique combination of facilities for structure fabrication, processing, and characterization of the partners, together with their expertise in process modeling and simulation. It can be considered a striking example of the benefits of large-scale European cooperations. Of course, efficient management of a relatively large and inhomogeneous consortium is a challenge made possible only by the long-term experience and well-developed cooperations of IISB.

## Partners Involved

- ▶ Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (FhG-IISB), Erlangen, Germany
- ▶ Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales of the Centre National de la Recherche Scientifique (CEMES/CNRS), Toulouse, France
- ▶ Istituto per la Microelettronica e microsistemi of the Consiglio Nazionale delle Ricerche (IMM/CNR), Catania, Italy
- ▶ Institute of Microelectronics of the National Center for Scientific Research "Demokritos" (IMEL/CNSR), Athens, Greece
- ▶ Integrated Systems Engineering AG (ISE-AG), Zurich, Switzerland
- ▶ Institut Supérieur d'Electronique du Nord (ISEN), Lille, France
- ▶ Philips Innovative Technology Solutions N.V. (PITS), Leuven, Belgium
- ▶ School of Electronics, Computing and Mathematics, University of Surrey, Guildford, United Kingdom
- ▶ School of Engineering Sciences/ Materials Research Group, University of Southampton, Southampton, United Kingdom
- ▶ Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie of the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS-UMR 8520), Lille, France
- ▶ Research Institute for Technical Physics and Materials Science of the Hungarian Academy of Sciences (MTA-MFA), Budapest, Hungary

## Contact

Dr. Peter Pichler  
Phone: +49 (0) 9131 761-227  
Email: peter.pichler@iisb.fraunhofer.de

# Modelle für die nächste Lithographiegeneration

Ein Schwerpunkt der Gruppe Topographie ist die Modellierung und Simulation lithographischer Prozesse. Unser Know-how ist dabei Grundlage der Lithographie-Simulationssoftware SOLID-C, die wir zusammen mit dem Münchener Softwarehaus SIGMA-C entwickelt haben und kontinuierlich erweitern. Das Programm ist mittlerweile zu einem Standardtool in der industriellen Forschung und Entwicklung herangereift.

Lithographiesimulation ist ein unverzichtbares Werkzeug zur exakten Untersuchung existierender sowie zur Entwicklung zukünftiger Prozesstechnologien. Hierdurch wird es möglich, das komplexe Zusammenspiel der beteiligten Komponenten Maske, Projektionsystem und Photoresist besser zu verstehen. Dies führt beispielsweise zu optimierten Prozessfenstern oder zu einem verbesserten Maskendesign.

Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit der Erweiterung der Simulationssoftware für die Extrem-Ultra-Violett-Lithographie (EUV-Lithographie). Hierbei handelt es sich um eine Prozesstechnologie, welche mit Beleuchtungswellenlängen um 13,4 nm arbeitet. Aufgrund dieser sehr kurzen Wellenlängen sind neue Ansätze in der Modellierung und Simulation notwendig. Speziell im Be-

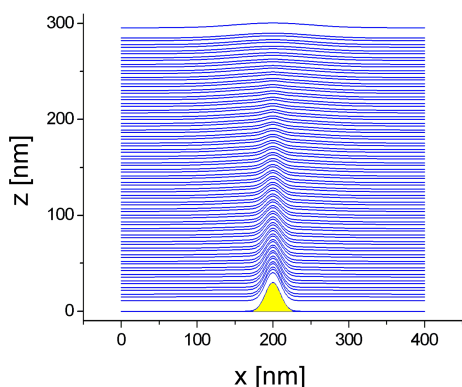


Fig. 1: Querschnitt einer EUV-Maske mit Doppelschichten (MoSi, blau) und Defekt (Chrom, gelb); Cross-section of an EUV-mask with doublelayers (MoSi, blue) and defect (chromium, yellow).

reich der Maske ergeben sich grundsätzliche Änderungen. Diese darf nicht als "dünn", also als zweidimensionales Objekt betrachtet werden. Vielmehr muss ihre Topographie exakt in die Berechnungen mit einfließen. Auch ist die Maske nicht mehr transmittierend, sondern reflektierend. Dies wird durch einen Aufbau aus circa 40 Molybdän-Silicium (MoSi)-Doppelschichten mit Dicken von jeweils etwa 7 nm unter Ausnutzung des Bragg-Effektes erreicht. Zur Simulation solch eines komplexen Systems wurde das Modul TASPAL, eine Kombination aus rigoroser Beugungsberechnung und analytischer Dünnschichtrechnung, weiterentwickelt. Es dient als Erweiterung der vorhandenen Simulationssoftware und ist an diese angebunden. Das Projekt wird durch die Bayerische Forschungsförderung sowie durch Infineon gefördert.

Fig. 1 zeigt den Querschnitt einer EUV-Maske mit Defekt. Zu erkennen sind die Doppelschichten (MoSi, blau) sowie der Defekt (Chrom, gelb).

Fig. 2 zeigt die berechnete Reflektivität (weiß = maximale Reflektivität, schwarz = minimale Reflektivität) der EUV-Maske in der Aufsicht bei Beleuchtung mit 13,4 nm unter einem Winkel von 6°. Die Auswirkung des Defektes ist deutlich zu erkennen.

Fig. 3 zeigt die berechnete Lichtintensität (rot = maximale Intensität, blau = minimale Intensität) des optischen Feldes unmittelbar oberhalb einer defektfreien EUV-Maske mit einer dreidimensionalen Struktur (160 nm x 160 nm x 80 nm Chrom-Punkt). Die Beleuchtung erfolgt im Winkel von 5° von links. Rechenzeit: 80 Stunden.

Fig. 4 zeigt die gleiche Simulation wie Fig. 3, jedoch mittels einer neu entwickelten Methode (Quasi-3D) berechnet. Rechenzeit: 10 Minuten. Das Ergebnis zeigt in den wichtigen Parametern nur

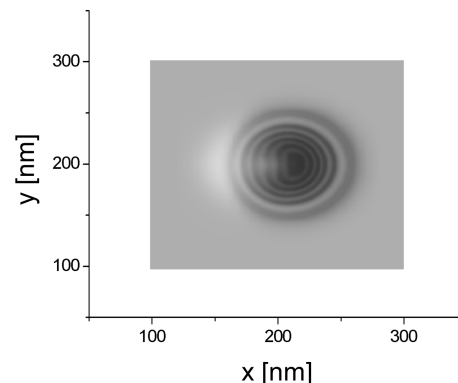


Fig. 2: Reflektivität (weiß = maximale Reflektivität, schwarz = minimale Reflektivität) der EUV-Maske (Aufsicht) bei Beleuchtung mit 13,4 nm unter einem Winkel von 6°; Reflectivity (white = maximum reflectivity, black = minimum reflectivity) of the EUV mask (top view) with an illumination of 13.4 nm and at an angle of 6°.

geringfügige Abweichungen zu Fig. 3.

## Ansprechpartner

Dr. Peter Evanschitzky  
 Telefon: +49 (0) 9131 761-259  
 Email: peter.evanschitzky@iisb.fraunhofer.de

Dr. Andreas Erdmann  
 Telefon: +49 (0) 9131 761-258  
 Email: andreas.erdmann@iisb.fraunhofer.de



# Modeling of Next Generation Lithography

One key area of the topography group is the modeling and simulation of lithographic processes. Our know-how is the basis of the lithography simulation software SOLID-C which we developed in cooperation with the Munich-based software company SIGMA-C. The program has become a standard tool in industrial research and development.

Nowadays, lithography simulation software is an essential tool for the evaluation of existing and for the development of future process technology. It helps to understand the complex interaction of involved components such as the mask, the projection system and the photoresist. This, for example, results in optimized process windows or better mask designs.

Current work concentrates on the extension of the simulation software for Extreme-Ultra-Violet Lithography (EUV Lithography). This is a process technology which operates with illumination wavelengths of about 13.4 nm. As a result of this very short wavelengths, new modeling and simulation ap-

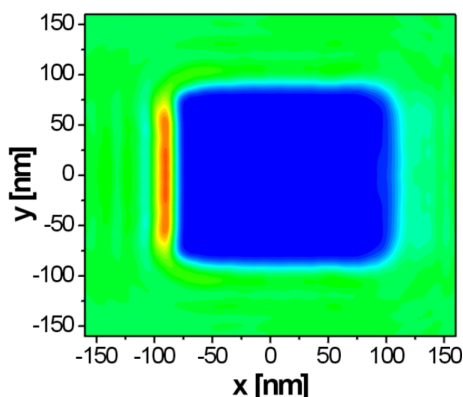


Fig. 3: Lichtintensität (rot = maximale Intensität, blau = minimale Intensität) des optischen Feldes unmittelbar oberhalb einer defektfreien EUV-Maske mit einer dreidimensionalen Struktur (160 nm x 160 nm x 80 nm Chrom-Punkt), Rechenzeit: 80 Stunden; Intensity (red = maximum intensity, blue = minimum intensity) of the optical field directly above a defect-free EUV mask with a three-dimensional structure (160 nm x 160 nm x 80 nm chromium dot), computing time: 80 hours.

proaches are required. Substantial changes, in particular for the mask, have to be performed. It is not possible to consider the mask as a two-dimensional object. In fact, the correct topography of the mask has to be taken into account during the computations. Furthermore, the mask is no longer transmittend, but reflective. The reflectivity of the mask is achieved by combination of 40 molybdenum-silicon (MoSi) doublelayers of approximate 7 nm thickness using the Bragg effect. For the simulation of such a complex system, the module TASPAL was adapted. TASPAL is a combination of a finite-difference time-domain electromagnetic field solver and an analytical thin-film computation. The project is supported by the „Bayerische Forschungsstiftung“ and Infineon.

Fig. 1 shows the cross-section of an EUV mask with a defect. One can see the doublelayers (MoSi, blue) and a defect (chromium, yellow).

Fig. 2 shows the top view of the computed reflectivity (white = maximum reflectivity, black = minimum reflectivity) of the EUV mask for a wavelength of 13.4 nm and an angle of incidence of 6°. One can clearly see the impact of the defect.

Fig. 3 shows the computed intensity (red = maximum intensity, blue = minimum intensity) of the optical field directly above a defect-free EUV mask with a three-dimensional structure (160 nm x 160 nm x 80 nm chromium dot). Illumination is done at 5° incident angle from the left. Computing time: 80 hours.

Fig. 4 shows the same simulation as fig. 3, but computed by means of a newly developed method (Quasi-3D). Computing time: 10 minutes. Compared to fig. 3, the result shows only minor deviations concerning the impor-

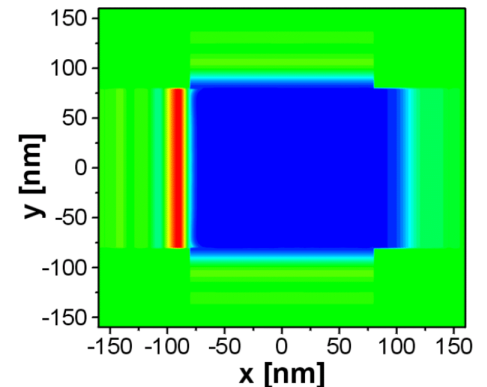


Fig. 4: Gleiche Simulation wie Fig. 3, jedoch mittels einer neu entwickelten Methode (Quasi-3D) berechnet, Rechenzeit: 10 Minuten; Same simulation as fig. 3, but computed by means of a newly developed method (Quasi-3D), computing time: 10 minutes.

tant parameters.

## Contact

Dr. Peter Evanschitzky  
Phone: +49 (0) 9131 761-259  
Email: peter.evanschitzky@iisb.fraunhofer.de

Dr. Andreas Erdmann  
Phone: +49 (0) 9131 761-258  
Email: andreas.erdmann@iisb.fraunhofer.de

# Simulation der Konformität von mittels Sputtern abgeschiedenen Barriere-Schichten

## Einleitung

Die Zuverlässigkeit von Barriere-Schichten ist entscheidend für die Zuverlässigkeit von Verbindungsstrukturen bei höchstintegrierten Schaltungen. Ausreichende Kantenbedeckung (Verhältnis von minimaler zu maximaler Schichtdicke) ist hier von besonderer Bedeutung. Vor der experimentellen Qualifizierung des Prozesses kann man durch Simulationen Aussagen über mögliche Prozeßfenster erhalten. Mit Hilfe von Simulationen haben wir untersucht, wie sich schräge Seitenwände von Kontaktlöchern auf die Kantenbedeckung auswirken, und wie die optimale Reaktorgeometrie von der Form des Kontaktloches abhängt.

## Simulationsansatz

Das Ätzen des Kontaktloches wurde geometrisch modelliert, wobei der Seitenwand-Neigungswinkel und die Maskenöffnung (in unserem Falle einen Kreis angenähert) vorgegeben werden. Die dreidimensionale Geometrie wird durch eine triangulierte Oberfläche repräsentiert. Ein Beispiel für eine derartige Diskretisierung ist in Fig. 1 gezeigt.

Wir betrachten Long-Throw-Sputter (LTS)-Abscheidung und Abscheidung bei höherem Druck. Im Falle der LTS-Abscheidung wird angenommen, dass die vom Target abgesputterten Metallatome keine Stöße mit den Gasatomen haben, bevor sie das Substrat erreichen. Im Falle der Abscheidung bei höherem Druck wird von einer isotropen Winkelverteilung der Metallatome am Substrat ausgegangen, die von einer ausreichenden Zahl von Stößen zwischen Metallatomen und Gasatomen herrührt. Zur Bestimmung der Aufwachsrate an allen Stellen der simulierten Struktur wird eine numerische Fluß-Integration

durchgeführt, bei der die Abschattung durch die Struktur und, im Falle der LTS-Abscheidung, der Einfluß der Reaktorgeometrie berücksichtigt werden.

## Simulationsergebnisse

Es wurden Simulationen für verschiedene Aspektverhältnisse (Höhe des Kontaktloches geteilt durch den Durchmesser) und Seitenwand-Neigungswinkel durchgeführt. Als ein Beispiel ist in Fig. 2 der Querschnitt durch eine 3D-Simulation der LTS-Abscheidung in ein Kontaktloch mit einem Aspektverhältnis von 2 und einem Seitenwand-Neigungswinkel von  $95^\circ$  dargestellt. Durch Vergrößerung des Neigungswinkels von  $90^\circ$  auf  $95^\circ$  kann eine Verbesserung der Kantenbedeckung von etwa 70 % erreicht werden. Außerdem hängt die Reaktorgeometrie, die für optimale Kantenbedeckung zu wählen ist, von dem Seitenwand-Neigungswinkel ab. Hier können Simulationen wirkungsvoll eingesetzt werden, um mögliche Prozeßfenster vor der endgültigen Qualifizierung durch das Experiment abzuschätzen. Da die Simulationen jeweils nur etwa fünf Minuten dauern, ist es möglich, innerhalb akzeptabler Zeiten eine Vielzahl von Reaktor- und Struktur-Geometrien zu untersuchen.

## Zusammenfassung

Wir haben die Anwendung der Topographie-Simulation auf die Sputterabscheidung von Barrieren in Kontaktlöchern mit schrägen Seitenwänden demonstriert. Die Wechselwirkung zwischen Neigungswinkel, Kantenbedeckung und optimaler Reaktorgeometrie wurde untersucht. Die Arbeiten wurden im Rahmen des IST-Projekts MULSIC durchgeführt (Partner IISB, TU Wien und ISE AG Zürich), in dem es um die Entwicklung von Simulationsmodulen für Verbindungsstrukturen bei inte-

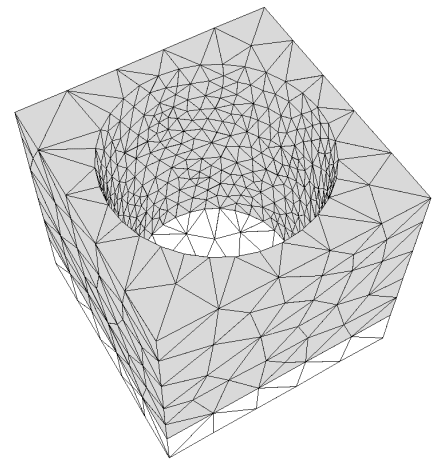


Fig. 1: Beispiel für die 3D-Diskretisierung eines Kontaktloches vor der Sputterabscheidung der Barriere-Schicht; Example for the 3D discretization of a via before sputter deposition of the barrier layer.

grierten Schaltungen geht. Das IISB ist in diesem Projekt für die Entwicklung und Verbesserung von Simulationsprogrammen für verschiedene Prozeß-Schritte, wie sie bei der Herstellung der Verbindungsstrukturen auftreten, zuständig. Darüber hinaus fungiert es als Projektkoordinator.

## Ansprechpartner

Dr. Eberhard Bär  
Telefon: +49 (0) 9131 761-217  
Email: eberhard.baer@iisb.fraunhofer.de

# Simulation of the Conformality of Sputter-deposited Barrier Layers

## Introduction

Reliable barrier layers are essential for the proper operation of vias in interconnects of ultra-large-scale integrated (ULSI) circuits. Sufficient step coverage is an important issue. Before fine-tuning a process in the experimental phase, it is recommended to perform simulation studies to identify possible parameter ranges. By means of simulation we have investigated how different taper angles and aspect ratios of etched vias influence step coverage (ratio of minimum to maximum thickness) of a sputter-deposited barrier layer and how the optimum reactor geometry depends on the shape of the via.

## Simulation Approach

The etching of the via has been simulated by a geometrical model which receives as input the taper angle of the via sidewall and the polygonal description of the mask opening which in our simulations approximates a circle. The three-dimensional (3D) representation of the structure is implemented by a triangulation of the surface. An example of a discretized via before barrier deposition is shown in fig. 1.

We consider long-throw sputter (LTS) deposition as well as high-pressure sputter deposition. For LTS deposition, the pressure is low enough to provide zero-scattering conditions, this means the metal atoms sputtered from the target do not collide with gas atoms on their way to the substrate. For high pressure operating conditions, we assume that a sputtered metal atom undergoes a number of collisions high enough to yield an isotropic angular distribution on the substrate. For determining the growth rate at all positions on the feature surface, we perform a numerical integration of the metal

atom flux, taking into account shadowing by the feature, and, in case of LTS deposition, the dependence of the flux on the geometry of the sputter reactor.

## Simulation Results

We performed simulations for different aspect ratios (height of the via divided by its width) and taper angles. As an example, fig. 2 shows the cross-sectional view of the 3D simulation of LTS deposition into a contact hole with an aspect ratio of 2 and a sidewall taper angle of  $95^\circ$ . It turned out that increasing the taper angle from  $90^\circ$  to  $95^\circ$  allows improvement of the step coverage by about 70%. Furthermore, the reactor geometry for an optimum step coverage depends on the taper angle. Simulation here provides an efficient means to identify possible process windows before fine-tuning the process using experimental investigations. As each sputter simulation takes about five minutes only, it is possible to investigate a large variety of reactor and feature geometries within acceptable times.

## Conclusions

We demonstrated the application of topography simulation to the deposition of barrier layers in tapered vias. The interaction between sidewall taper angle, step coverage and optimum reactor geometry has been investigated. This work has been carried out within the IST project MULSIC (partners IISB, TU Vienna and ISE AG Zürich) which aims at developing simulation tools for application to interconnects. Within this project, IISB is responsible for developing and improving simulation modules for different process steps used for interconnect manufacturing. Furthermore, it acts as project coordinator.

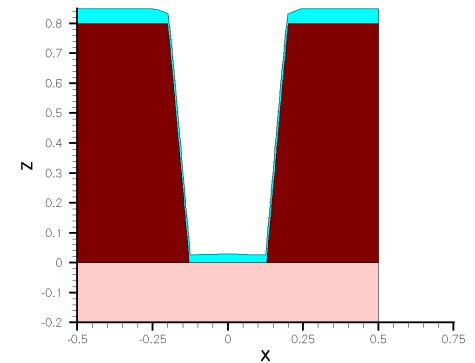


Fig. 2: Querschnitt durch eine 3D-Simulation der LTS-Abscheidung in ein Kontaktloch mit geneigten Seitenwänden für die Parameter der optimierten Kantenbedeckung, Längenskala in  $\mu\text{m}$ ; Cross-sectional view of a 3D simulation of LTS deposition into a via with tapered sidewalls for parameters leading to optimized step coverage, length scale in  $\mu\text{m}$ .

## Contact

Dr. Eberhard Bär  
Phone: +49 (0) 9131 761-217  
Email: eberhard.baer@iisb.fraunhofer.de

# Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Die Abteilung Halbleiterfertigung befaßt sich schwerpunktmäßig mit der Unterstützung von Herstellern von Produktionsanlagen und Materialien für mikro- und nanoelektronische Bauelemente, Mikrosysteme und Flat Panel Displays sowie mit Aspekten der Geräteintegration in eine Fertigungsumgebung. Ein weiterer Fokus der wissenschaftlichen Arbeiten betrifft die Geräte- und Prozeßgeneration der 300 mm-Technologie und die Implementierung solcher Entwicklungen in die industrielle Produktion.

Zahlreiche Projekte beziehen sich auf die Entwicklung von innovativen Prozeßkontrollsystemen, bevorzugt in Echtzeit, unter Berücksichtigung von neuen Sensoren, mit der *in situ*-online-Integration von Meßsystemen in Prozeßgeräte, mit der Realisierung von geschlossenen Regelschleifen und mit Aspekten der modellbasierten Prozeßkontrolle. Neben Einzelprozeßgeräten sind vor allem *Cluster Tools* für die Implementierungen ausgewählt worden.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der F&E zu ultrareinen Geräten und Materialien: Die Arbeiten zur Kontamination von Geräten und Materialien stützen sich auf die meßtechnische Erfassung von Spurenverunreinigungen auf Oberflächen und im Volumen von Siliciumscheiben, Konstruktionsmaterialien, Handlingkomponenten, aber auch in Prozeßchemikalien, deionisiertem Wasser und in Gasen. Als Meßmethoden werden vor allem TXRF, AAS, ICP-OES, ICP-MS und HR-ICP-MS, oft in Verbindung mit VPD-Aufkonzentration, eingesetzt. Aber auch AP-IMS, SIMS, ToF-SIMS und GC-MS sowie Partikelmeßgeräte werden verwendet, um Beiträge zur Reduzierung anorganischer,

organischer und partikulärer Kontamination bei Halbleiterfertigungsgeräten und Halbleitermaterialien zu leisten. Am IISB wurde die langjährig betriebene Analytik von Medien und Materialien in ein Kompetenzzentrum „*yield enhancement*“ eingebracht. Hier werden zu den bestehenden Arbeiten zu Kontaminations- und Defektdetektion und -charakterisierung, zu *yield*-Lernprozessen sowie zur Kontaminationskontrolle in der Waferumgebung zukünftig auch Arbeiten zur *yield*-Modellierung und zur Defektbudget-Betrachtungen angeboten.

Im Rahmen der Aktivitäten auf dem Gebiet der Geräteentwicklung werden innovative Gerätekomponenten bis hin zu fortschrittlichen Prozeßmodulen entwickelt. Auf Kundenwunsch entstehen Systeme oder Subsysteme, die auf dem Markt nicht erhältlich sind oder die vom potentiellen Gerätehersteller in Auftrag gegeben werden.

Zu den weiteren Aufgaben der Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und Materialien gehört die Implementierung von Prozessen auf neuen Fertigungsgeräten bis hin zur Geräteevaluierung. Solche Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit Gerätefirmen und mit den IC-Firmen als Anwender vorangetrieben. In Zusammenarbeit mit SEMATECH, Austin, Texas, USA, wurde ein erster Test zur Gerätezertifizierung aufgenommen als Beispiel zukünftiger standardisierter Gerätequalifizierung und -abnahme.

Die Finanzierung der Abteilung erfolgt zu einem hohen Anteil aus Industrieaufträgen sowie aus industrienahen EU-Projekten. Für die Zukunft ist vorgesehen, durch mehr Vorlaufforschung und öffentlich geförderte Projekte auch wieder hochinnovative und längerfristig wirksame Arbeitsgebiete aufzugreifen und dadurch einen Beitrag zu weiterem Wachstum und dem Erschließen neuer

industriell bedeutender Aufgabengebiete zu leisten. Eine Intensivierung der Zusammenarbeit mit SEMATECH, der führenden Mikroelektronik-Forschungseinrichtung in den USA, wurde erfolgreich aufgenommen und wird weiter ausgebaut.

Auch in der Zukunft ist mit einer guten Inanspruchnahme der oben beschriebenen Aktivitäten zu rechnen, zumal die Anzahl der technologisch bzw. fertigungsnah tätigen Forschungseinrichtungen eher sinkt. Hinzu kommt, daß durch die Aktivitäten zu größeren Scheibendurchmessern - nunmehr sind die ersten Fabs zu 300 mm-Scheibendurchmessern im Anlauf - neue Herausforderungen im F&E-Bereich bei Geräte- und Materialienherstellern zu bearbeiten sind. Hier eröffnet sich ein neues Feld der Inanspruchnahme zum einen durch die Bauelementehersteller, zum anderen durch die Siliciumhersteller und die dort benötigten Geräte, zum dritten durch die Hersteller von Halbleiterfertigungsgeräten selbst. Ein neues F&E-Kooperationsmodell mit einem industriellen Partner, der 300 mm-Siliciumscheiben zur Wiederverwendung in Form sogenannter Reclaim-Wafern bearbeitet, ist sehr erfolgreich angelaufen. Ein weiteres Kooperationsmodell befindet sich im Konkretisierungsstadium: in einer in Dresden gegründeten Projektgruppe des IISB soll zusammen mit weiteren Instituten des Verbundes Mikroelektronik F&E zu 300 mm-Siliciumtechnologien die Nähe zur Halbleiterindustrie intensiviert und in eine europäische Kooperation mit führenden Forschungsinstituten und 300 mm-Pilotlinien eingebracht werden.

Ansprechpartner

Dr. Lothar Pfitzner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-110  
Email: lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

# Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials

The focal area of research within the department "Semiconductor Manufacturing" is the support of equipment and materials suppliers for micro- and nanoelectronic technologies, microsystems and flat panel displays, as well as aspects of implementing equipment into a production environment. Special attention is given to 300 mm silicon wafer technology where cooperation with the industry towards novel equipment and process integration is a major focus.

Numerous projects include R&D and the construction of prototypes of innovative process control systems. Focal activities include real-time control systems using new sensors, *in situ* on-line integration of metrology systems into processing tools, and the realization of closed-loop control with aspects of model-based process control. Besides implementation into single processes, stand-alone equipment like vertical furnaces, especially the implementation into cluster tools has been chosen, where the integration into the process module, into the central handling module or in separate metrology modules was investigated and tested.

Another main focus addresses the research and development of ultra-clean equipment and materials: Activities towards the reduction of contamination of equipment and materials are based on particle monitoring and on comprehensive metal and organic trace analysis of wafers, wafer surfaces and wafer environment, but also of processing chemicals, DI water and gases. Amongst the available measuring and analytical tools are TXRF, AAS, ICP-OES,

ICP-MS, and HR-ICP-MS, often combined with vapor-phase decomposition (VPD). Additional methods include AP-IMS, TOF-SIMS and GC-MS, as well as particle, COP and haze measurement.

IISB transferred its experience in the analytics of media and materials into the competence center "yield enhancement". In the future, activities will be offered there concerning yield-modeling and defect-budget considerations, in addition to the already established activities contamination and defect detection, as well as defect characterization, yield-learning processes and contamination control in the wafer environment.

The range of innovative processing equipment covers the development of equipment components up to advanced process modules. Most of these systems or subsystems, which are not available on the market, are produced on demand for potential suppliers of equipment and materials. The customers' orders cover the full range from simple lab tests to a first prototype for series production.

In addition, implementing advanced and reproducible processes in new tools as well as evaluating tools under close-to-production conditions belong to the focal R&D fields of the department "Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials". Performing such tasks is carried out in close cooperation with tool suppliers as well as IC fabs as final users. Here, our independent research institute can give optimum support for the equipment manufacturer in an industrial environment. In cooperation with SEMATECH Austin, Texas (USA), a first test of "equipment certification" was started as an example of future standardized equipment qualification and equipment certification.

The tremendous budget necessary for the technological infrastructure for advanced and close-to-industry type of R&D results in a declining number of technologically oriented research institutes in Europe. Therefore, a more frequent utilization of the activities described above is expected for the future due to the excellent technical and personnel basis available and due to the excellent international reputation. In addition, a strong cooperation with mutual assignment of staff is under way with International SEMATECH, the renowned microelectronics institution in the USA.

The activities towards larger wafer diameters are raising new challenges for equipment and tool suppliers as well as for wafer and IC manufacturers. This will open up a new range of R&D demands for this department, firstly from the equipment suppliers, secondly from the silicon suppliers and, last but not least, from the semiconductor manufacturing companies themselves. A comprehensive R&D cooperation with an industrial wafer reclaim partner, specialized in the recycling of 300 mm silicon wafers, has been started successfully. Another model of cooperation is currently being established: in an IISB project group founded in Dresden, the R&D towards 300 mm silicon technology - close to the local semiconductor industry - is being intensified together with other institutes of the Microelectronics Alliance, with the intention of bringing it to a European cooperation with renowned research institutes and 300 mm pilot lines.

## Contact

Dr. Lothar Pfitzner  
Phone: +49 (0) 9131 761-110  
Email: lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

# E-Learning für die Halbleiterfertigung

## Einführung

Der Einsatz von multimedialen und vernetzten Systemen für die Aus- und Weiterbildung in den Firmen wird in Zukunft die klassischen Lernformen teilweise ersetzen oder zumindest erweitern. Dies gilt umso mehr für den innovativen Bereich Mikroelektronik. Dort werden in Zukunft die kontinuierliche Aus- und Weiterbildung sowie Qualifizierung und Weiterqualifizierung von Mitarbeitern einen steigenden Einfluß auf die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen haben. Deshalb hat das IISB in Zusammenarbeit mit fast allen großen europäischen Halbleiterherstellern ein Projekt initiiert, welches die Einführung und Anwendung von E-Learning in der Halbleiterfertigung unterstützen und beschleunigen soll.

## Projekt und Projektpartner

Das Projekt "E-Learning für die Halbleiterfertigung" (E-LIMM), Laufzeit von Juni 2002 bis Mai 2005, wird von der Europäischen Union im Rahmen des IST-Programms gefördert und vom IISB koordiniert. Die beteiligten Halbleiterhersteller sind AMD, Atmel, Hitachi, Infineon, Philips und ZMD. M+W Zander vertritt den Bereich Fabrikautomatisierung und -betrieb. Für Software, Systeme und Integration sind die E-Learning-Firmen s.team und digital spirit zuständig. Die wissenschaftliche Begleitung erfolgt durch NMRC (Irland), IMEC (Belgien) und IZM sowie durch das IISB.

## Projektziele

Die Ziele des europäischen Projektes E-LIMM sind die Verbesserung der Aus- und Weiterbildung von hochqualifizierten Mitarbeitern in der Mikroelektronikindustrie durch den Einsatz von E-Learning und die Stärkung der Wett-

bewerbsfähigkeit der Mikroelektronik im Rahmen des weltweiten Wettbewerbs. Hochqualifizierte Mitarbeiter mit ausgezeichnetem Wissen für Geschäfts- und Fertigungsprozesse sind entscheidend für den Erfolg eines Unternehmens. Zur Erreichung dieser Ziele ist eine ständige Qualifizierung und Weiterqualifizierung der Mitarbeiter in der Fertigung durch qualitativ hochwertige Trainingskurse unter Einsatz eines webbasierten Learning Management System (LMS) notwendig. Die im Rahmen des Projektes erstellten Lerninhalte sind besonders auf die Anforderungen in der Halbleiterfertigung und den verschiedenen Zielgruppen wie Gerätebediener, Techniker, Ingenieure und Manager zugeschnitten. Das Trainings- und Ausbildungsmaterial wird alle wichtigen Aspekte der Halbleiterfertigung abdecken.

## Arbeiten im Projekt

Das Projekt besteht aus sechs Arbeitspaketen:

- WP1: Integration
- WP2: Prozeßtechnologie
- WP3: Fabrikautomatisierung und -betrieb
- WP4: Halbleiterfertigungs- u. -meßgeräte
- WP5: Umwelt, Sicherheit und Gesundheit
- WP6: Projektmanagement

Im Rahmen des Arbeitspaketes Integration werden die Anforderungen an eine didaktische Aufbereitung, an die Formatierung und das Layout definiert. Das Material für die verschiedenen Bereiche, welches von unterschiedlichen Projektpartnern erstellt wird, soll modular aufgebaut sein und in einem einheitlichen "Look and Feel" für die Benutzer erscheinen. Weiterhin werden im Rahmen dieses Arbeitspaketes die Anforderung für die später eingesetzten E-Learning-Plattformen festgelegt und Werkzeuge für die Erstellung des Materials ausgewählt. Innerhalb des Projektes sollen bis zu drei verschiedene

Plattformen ausgewählt und eingesetzt werden. Durch den Einsatz von unterschiedlichen E-Learning-Plattformen muß das generierte Trainingsmaterial plattform-unabhängig erstellt und bei verschiedenen Partnern in unterschiedliche Plattformen integriert werden. Diese Integration erfolgt auf der Basis von vorher im Rahmen von WP1 festgelegten Definitionen, Regeln und technischen Voraussetzungen.

WP2 bis WP5 hat die Erstellung des Trainingsmaterials zum Inhalt. Diese Arbeitspakete bestehen dabei aus den Phasen Definition des Inhalts, Bewertung von existierendem Material, Erstellung des Materials, Test bei den Partnern und Überarbeiten des Materials. Das Trainingsmaterial wird in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit den zukünftigen Nutzern aus der Industrie erstellt. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf einer guten didaktischen Aufbereitung und der Anwendung von multimedialen Techniken. Die Themenschwerpunkte werden von folgenden Partnern betreut: Prozeßtechnologie: IMEC; Fabrikautomatisierung und -betrieb: M+W Zander; Halbleiterfertigungs- und -messgeräte: IISB; Umwelt, Sicherheit und Gesundheit: NMRC.

Durch den Einsatz dieses Materials in Verbindung mit einer geeigneten Lernplattform wird die Qualifizierung und Weiterbildung von Mitarbeitern umfassender und effizienter möglich sowie besser anpassbar an die Bedürfnisse der Halbleiterindustrie sein.

Weitere Informationen unter der Internet-Projektseite: [www.e-limm.org](http://www.e-limm.org)

## Ansprechpartner

Dr. Richard Öchsner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-116  
Email: richard.oechsner@iisb.fraunhofer.de



# E-Learning for Microelectronics Manufacturing

## Introduction

The application of information technology and especially multimedia and networked systems for training and further education in companies will partly replace or at least expand the classical training methods in the future. This is even more valid for the microelectronics industry. In the future, continuous training and further education will have a significant influence on the worldwide competitiveness of companies. Therefore, the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology initiated in cooperation with major semiconductor manufacturers a joint project aiming at the increased application of e-learning in microelectronics manufacturing.

## Project and Project Partners

The joint project "e-learning for microelectronics manufacturing" (E-LIMM), duration from June 2002 until May 2005, is funded by the European Community within the framework of the IST Program and coordinated by IISB. Participating semiconductor manufacturers are AMD, Atmel, Hitachi, Infineon, Philips, and ZMD. M+W Zander, a company for the planning and realization of turnkey chip factories, is responsible for the topic factory automation and operation. Software issues, systems and integration is within the competence of the e-learning companies s.team and digital spirit. R&D issues will be covered by the institutes NMRC (Ireland), IMEC (Belgium), IZM, and IISB (Fraunhofer).

## Objectives

The general objectives of the E-LIMM project are to address the shortage of highly skilled staff in the microelectronics manufacturing industry and to

strengthen the European industry for microelectronics as part of the Information and Communication Technology in a worldwide competition. Highly skilled employees with excellent knowledge of business processes and manufacturing procedures are vital to the success of any company. To achieve these objectives, the qualification and re-qualification of the industrial staffs' skills will be improved by the development of high-quality web-based training and learning courses especially adapted for the application on the production site for microelectronics manufacturing and also tailored for different target groups. The training and learning material will cover all important manufacturing topics like factory operation and automation, process and metrology equipment, process technology as well as environment, safety and health.

## Description of Work

The project consists of six workpackages:

- WP1: Integration
- WP2: Process Technology
- WP3: Factory Automation and Operation
- WP4: Process and Metrology Equipment
- WP5: Environment, Safety and Health
- WP6: Project Management

Within the framework of the workpackage, Integration requirements for didactics and educational needs, formats and layouts for training material are defined. The training material for the different areas, created by different partners, should be modular and show a uniform look and feel for the users. Further on, inside this workpackage the requirements for commercially available e-learning platforms will be defined as well as the software tools for the content creation. Within the framework of the project, up to three different e-learning platforms will be used. Due to the different e-learning platforms,

the created training material has to be platform-independent and integrated by different partners into different platforms.

Workpackage 2 – 5 concentrate on the creation of the training material. Each of the work packages will be structured in the phases defining the content, evaluating the existing material, creating new material, testing and reviewing of the training material and first user training. The training material will be prepared with the input and under the guidance of users from industry. Emphasis also has to be put on didactics and a suitable media mix worked out in the comprehensive workpackage integration. There will be four competence centers for the main topics: Process Technology: IMEC; Factory Automation and Operation: M+W Zander; Process Metrology and Equipment: IISB; Environment, Safety and Health: NMRC.

With the outcome of this project, the target groups freshmen, operators, technicians, engineers, and managers gain fundamental knowledge and skills in the field of semiconductor manufacturing. As a result, the qualification and re-qualification of industrial staff will be more comprehensive, more efficient, faster and better for the needs of the semiconductor manufacturing industry.

For further information, please visit the project website : [www.e-limm.org](http://www.e-limm.org)

## Contact

Dr. Richard Öchsner  
Phone: +49 (0) 9131 761-116  
Email: richard.oechsner@iisb.fraunhofer.de

# MOCVD-Modul zur Erzeugung ferroelektrischer Schichten

## Einleitung

Unter der Bezeichnung Ferroelektrika versteht man eine besondere Gruppe dielektrischer Materialien, welche neben einer relativ hohen Dielektrizitätskonstanten zwei stabile Zustände in ihrer Kristallstruktur besitzen. Damit ist es möglich, einen definierten Zustand einer Speicherzelle auch ohne äußeres elektrisches Feld aufrecht zu erhalten. Dies ermöglicht die Herstellung hoch integrierter nicht flüchtiger Speicherbauelemente für vielfältige Anwendungen.

## Projekt FECLAM

Das Projekt FECLAM (Ferroelectric CVD Layers for Memory Applications) ist ein von der Europäischen Union gefördertes Demonstrationsprojekt mit internationaler Beteiligung. Neben dem IISB als Forschungseinrichtung und Gerätehersteller AIXTRON AG (Aachen), die potentiellen Industrieanwender Motorola S.A. (Schweiz), austriamicrosystems AG (Österreich) und Infineon AG (München) sowie - als ein Teilnehmer aus einem zur EU assoziierten Staat - die ungarische Akademie der Wissenschaften (Budapest).

Projektziel ist die Demonstration der Industrietauglichkeit des von der Firma AIXTRON entwickelten clusterfähigen Abscheidensystems, bestehend aus einem Abscheidereaktor TriCent® und einem Verdampfungssystem TriJet®. Die Reaktorkammer der TriCent® ist in Fig. 1 gezeigt. Das verwendete Gerät ist auf die Nutzung von 300 mm-Scheiben ausgelegt, zur Projektdurchführung wurden 200 mm-Scheiben verwendet. Betrieben wird es in Verbindung mit einer ASM Clusteranlage. Die Untersuchungen wurden anhand des Materialsystems Strontium-Wismut-Tantalat

(Abk. SBT) durchgeführt. SBT gehört zur Gruppe der geschichteten Perowskite; die chemische Summenformel lautet  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_5\text{O}_9$ .

## Durchführung

Die Herstellung der ferroelektrischen Schichten erfolgt mittels Dampfphasenabscheidung (CVD) aus metallorganischen Ausgangssubstanzen (MO), die in organischen Lösungsmitteln gelöst sind. Aufgabe des TriJet®-Verdampfers ist die Dosierung der einzelnen Ausgangsstoffe und Überführung in die Dampfphase unter Vermeidung von unerwünschten Niederschlägen. Der erzeugte metallorganische Dampf wird in den TriCent®-Reaktor geleitet, wo unter Zugabe von Sauerstoff eine katalytische Reaktion stattfindet, welche zur Abscheidung der ferroelektrischen Schicht auf dem Substrat führt.

Die Schichten sollten eine möglichst hohe remanente Polarisation bei gleichzeitig hoher Zyklenfestigkeit besitzen (mind.  $10^{10}$  Schreib-Lese-Zyklen ohne merkliche Verringerung des Polarisationswertes). Fig. 2 zeigt eine gemessene Hysteresekurve der Polarisation mit einer remanenten Polarisation von  $2P_r = 15 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ . Um die Herstellung der Schichten zu optimieren, wird die Zusammensetzung der Schichten mit Hilfe von Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS, im Cluster integriert), Rutherford-Rückstreuungsspektroskopie (RBS) und Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) bestimmt. Die Kristallstruktur wird durch Röntgenbeugung (XRD) und die Schichtdicke mittels Ellipsometrie ermittelt. Aufgabe des ungarischen Partners ist die Entwicklung eines Modells zur optischen Beschreibung der abgeschiedenen Schichten. Die dazu notwendigen Daten werden mittels Spektralellipsometrie ermittelt. Die Tauglichkeit für den industriellen Einsatz beweist ein Dauerlauf mit 500



Fig. 1: Abscheidungskammer des TriCent®-Reaktors (mit freundlicher Genehmigung von AIXTRON AG); Deposition chamber of the TriCent®-reactor (courtesy of AIXTRON AG).

Scheiben. Abgeschlossen werden die Untersuchungen mit der Bestimmung der Partikelgeneration.

## Ergebnisse

Mit dem verwendeten System konnte gezeigt werden, daß die zu Projektbeginn erstellten Spezifikationen erfüllt und teilweise sogar übertroffen werden können. Das verwendete System aus einem TriCent®-Abscheidereaktor und einem TriJet®-Verdampfer bewährte sich unter den am IISB ermöglichten industrienahe Betriebsbedingungen.

## Ansprechpartner

Christian Schmidt  
Telefon: +49 (0) 9131 85 2-86 36  
Email: christian.schmidt@iisb.fraunhofer.de

Dr. Annemarie Schröder-Heber  
Telefon: +49 (0) 9131 761-119  
Email: annemarie.schroeder-Heber@iisb.fraunhofer.de



# Module for Ferroelectric Layers by MOCVD

## Introduction

Ferroelectrics are a special group of dielectrics not only with a relatively high dielectric constant but also with two stable crystallographic states in their structure. This offers the possibility of storing the content of a memory cell even without an external electric field and qualifies ferroelectrics to be used for highly integrated non-volatile memories in multiple applications.

## FECLAM project

The FECLAM project (Ferroelectric CVD Layers for Memory Applications) is a demonstration project funded by the European Union. Besides the IISB, as a research institute and equipment location, the international partners are the equipment manufacturer AIXTRON AG (Aachen), the potential industry users Motorola S.A. (Switzerland), austriamicrosystems AG (Austria) and Infineon AG (Munich) as well as the Hungarian Academy of Sciences (Budapest) as a partner from an EU-associated state.

The purpose of the project is to demonstrate the production capability of the AIXTRON equipment consisting of a TriCent® deposition chamber and a TriJet® evaporation system. The chamber is shown in fig. 1. The system is designed for 300 mm wafers, but within this project 200 mm wafers are used. The system is attached to an ASM cluster tool. The tests were carried out with the material system strontium-bismuth-tantalate (SBT), a layered perovskite with the chemical formula  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_3\text{O}_9$ .

## Experimental

The ferroelectric layers are made by chemical vapor deposition (CVD) from metalorganic precursors (MO) dissolved

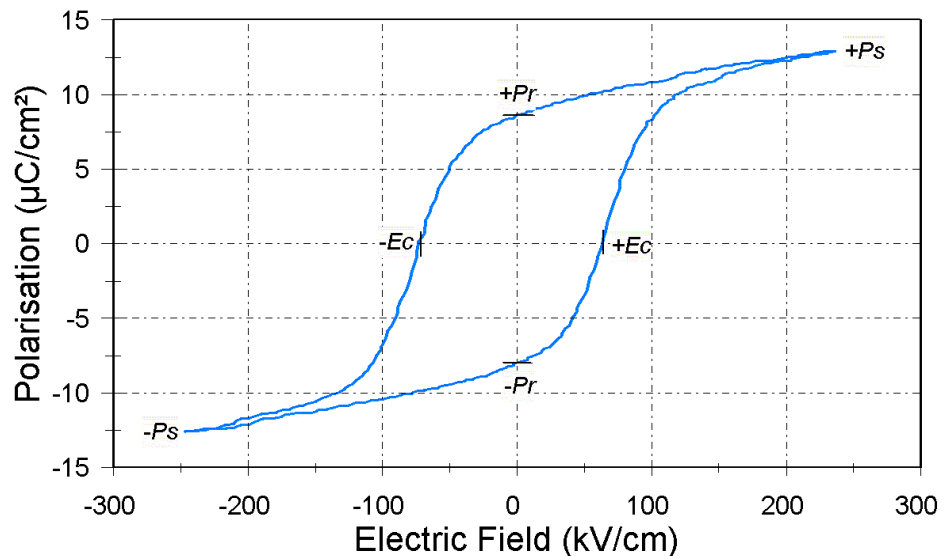


Fig. 2: Ferroelektrische Hysterese einer abgeschiedenen SBT-Schicht; Ferroelectric hysteresis of a deposited SBT layer.

in organic solvents. With the help of the TriJet® evaporator, the precursors are dosed and evaporated preventing undesired fall-out. The vapor is led into the TriCent® reactor where the ferroelectric layer grows in a catalytic reaction in oxygen-enriched atmosphere.

The remanent polarization of the layers should be as high as possible with no remarkable fatigue of the electric polarization (min.  $10^{10}$  read-write cycles) at the same time. A measured hysteresis curve of the electric polarization is shown in fig. 2 with a remanent polarization of  $2P_r = 15 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ . To optimize the layer processing, the composition of the layers is determined by X-ray-photoelectron spectroscopy (XPS, inside the cluster), Rutherford back-scattering (RBS) and X-ray-fluorescence analysis (XRF). The crystallographic structure is revealed by X-ray diffraction (XRD), while the thickness can be measured with an ellipsometer. The task of the Hungarian partner is to develop a model for the optical description of the deposited layers. This is performed by spectroscopic ellipsometry. The proof of the production capability of the tool is given by a continuous test run of 500 wafers. The investigations are com-

pleted by particle measurements.

## Results

With this equipment, it was possible to fulfill or even exceed the specifications set at the project's beginning. The system consisting of a TriCent® deposition reactor and a TriJet® evaporator, proved itself under field-experienced working conditions at the IISB.

## Contact

Christian Schmidt  
Phone: +49 (0) 9131 85 2-86 36  
Email: christian.schmidt@iisb.fraunhofer.de

Dr. Annemarie Schröder-Heber  
Phone: +49 (0) 9131 761-119  
Email: annemarie.schroeder-Heber@iisb.fraunhofer.de

# Defektinspektion auf blanken Siliciumscheiben für 90 nm Technologien

## Einleitung

Die "International Technology Roadmap for Semiconductors" (ITRS) identifiziert die technologischen Herausforderungen und Anforderungen, denen sich die Halbleiterindustrie in den kommenden 15 Jahren stellen muß. Für die sub-100 nm-Technologien der nächsten Jahre verlangt die ITRS die Erkennung von Defekten kleiner als 60 nm auf Oberflächen von blanken Siliciumscheiben. Unterstützt durch eine Förderung des Bundesministerium für Bildung und Forschung wird am Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) ein Streulichtmeßverfahren optimiert, mit dem diese Anforderungen der ITRS erfüllt werden können. Dieses Verfahren bildet darüber hinaus die Grundlage aktueller und zukünftiger industrienaheer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am IISB im Bereich der Endkontrolle von Siliciumscheiben nach Polier-, Ätz-, und Reinigungsprozessen.

## Streulicht-Meßverfahren für Defekte kleiner als 60 nm

Bei der Defektinspektion mit einem Streulichtverfahren rastert ein Laserstrahl die Oberfläche einer rotierenden Siliciumscheibe ab. Defekte wie Partikel, COPs (Crystal-originated Point defects) oder die Mikrorauigkeit (Haze) der Scheibenoberfläche werden anhand der Intensität des gestreuten Lichts nachgewiesen. Die unterschiedlichen Defekte sind in Fig. 1 oben dargestellt. Durch Verwendung eines schräg auf die Waferoberfläche ausgerichteten Strahls und der daraus resultierenden Verteilungen des Streulichtes kann das optimierte Verfahren feststellen, ob es sich bei einem Defekt um eine Erhebung oder um eine Vertiefung handelt. Dadurch ist eine eindeutige Unterscheidung zwischen Partikeln und COPs

möglich. Schwierig gestaltet sich generell bei Streulichtverfahren der Nachweis kleiner Defekte aufgrund der dann geringen Streulichtintensität und der Überlagerung des schwachen Signals mit dem Signal der Mikrorauigkeit der Scheibenoberfläche. Eine Messung mit dem optimierten Streulichtverfahren in Fig. 1 unten zeigt, daß sich das Signal einer gezielten Kontamination mit einem Kalibrierstandard aus 60 nm großen Latex-Kugeln deutlich vom Signal des Siliciumsubstrates abhebt. Selbst bis in den Bereich von 45 nm wird kein Einfluß der Elektronik des Systems oder des Substrates beobachtet. Dies verdeutlicht die Einsatzmöglichkeiten des optimierten Streulichtverfahrens auch für den Nachweis kleinster Defekte auf blanken Siliciumscheiben.

## Qualifizierung von Scheibenfertigungsprozessen

Eine konkrete Anwendung des optimierten Defektinspektions-Systems ist die Endkontrolle für Scheibenbearbeitungsprozesse, wie Polieren, Ätzen oder Reinigen, die im Auftrag der Industrie am IISB erarbeitet und optimiert werden. Die Oberflächen der Siliciumscheiben müssen im Anschluß an diese Prozesse eine möglichst geringe Partikelkontamination sowie eine möglichst geringe Mikrorauigkeit aufweisen. Die Zahl der COPs läßt sich hingegen nicht beeinflussen, da diese Vertiefungen ihren Ursprung im Siliciumkristall haben.

Eine entsprechende Endinspektion von Siliciumscheiben zur Beurteilung der Qualität der vorangegangenen Prozesse ist nur dann möglich, wenn zwischen Partikeln und Kristalldefekten unterschieden werden kann. Die Fähigkeiten des optimierten Streulicht-Meßverfahrens konnten am Beispiel einer Endinspektion von polierten Siliciumscheiben nach der Endreinigung eindrucksvoll

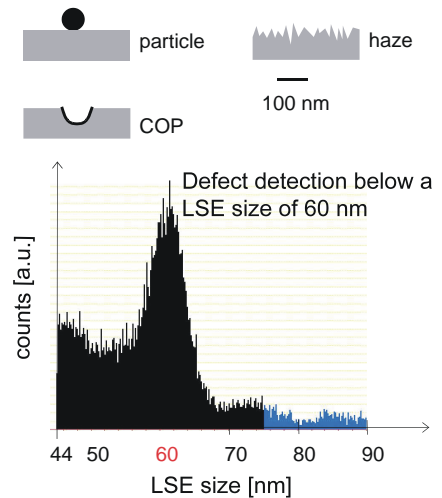


Fig. 1: oben: Typische Defekte auf einer blanken Siliciumscheibenoberfläche  
unten: Anzahl der Defekte als Funktion der Partikelgröße ausgedrückt in LSE. Der Wafer war mit 60 nm großen Latex-Kugeln kontaminiert;  
top: typical defects on a bare silicon wafer surface  
bottom: defect counts on a silicon wafer as a function of the particle size, expressed in latex sphere equivalents (LSE). This wafer was contaminated with 60 nm latex spheres.

demonstriert werden. Fig. 2 zeigt die Meßergebnisse dieser sehr sauberen Scheiben für Defekte größer als 60 nm. Eine Endinspektion mit Berücksichtigung einer Trennung von Partikeln und COPs wäre mit einem nicht-optimierten Streulichtverfahren nicht möglich gewesen, da lediglich die Summe beider Defekte zur Auswertung vorgelegen hätte. Die Hazewerte kleiner als 0,08 ppm erlaubten ferner zum einen eine Spezifikation für 60 nm kleine Defekte, zum anderen verdeutlichen sie die sehr gute Qualität der untersuchten Siliciumscheiben.

## Ansprechpartner

Dr. Andreas Nutsch  
Telefon: +49 (0) 9131 761-115  
Email: andreas.nutsch@iisb.fraunhofer.de

# Defect Inspection on Bare Silicon for 90 nm Technologies

## Introduction

The "International Technology Roadmap for Semiconductors" (ITRS) highlights the requirements and technological challenges for semiconductor industry of the next 15 years. According to ITRS, the sub-100 nm technologies of the next years require defect detection below 60 nm size on the surfaces of bare silicon wafers. Aided by the advancement of Federal Ministry of Education and Research, the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology optimized a scattered-light measurement technique to fulfill these requirements of ITRS. This method is the base for actual and future research and development close to the requirements of industry in the field of final inspection after polishing, etching, and cleaning processes.

## Scattered-light measurement technique for defects smaller than 60 nm

For defect inspection with the scattered-light method, a laser beam scans the surface of a spinning wafer. Defects like particles, COPs (Crystal Originated Point Defects) or microroughness (haze) on the wafer surface are detected by the intensity of the scattered light. Fig. 1 shows the different defects. Detecting the distribution of scattered light of an oblique beam scanning the wafer surface enables the optimized method to distinguish between bump and dent defects. Therefore, a clear separation between COP and particle is possible. In general, it is difficult for scattered-light methods to detect small defects because of the low intensity of the scattered light and the interaction of the weak signal with the signal of the haze. Fig. 1 shows at the bottom the defect distribution measurement of a 60 nm latex sphere contaminated wafer measured with the optimized

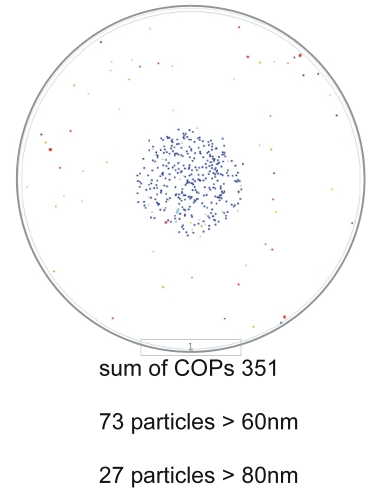
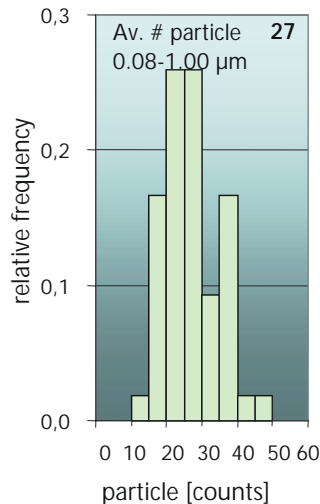


Fig. 2: Linke Seite: Verteilung der Partikel größer 80 nm nach Polier- und Reinigungsprozessen. Ein Mittelwert von 27 Partikeln auf einem Wafer zeigt eindrucksvoll die hervorragende Qualität der verwendeten Prozesse;

Rechte Seite: Bild der Oberflächenverteilung von Defekten nach dem Polieren und Reinigen. Jeder blaue Punkt repräsentiert eine Vertiefung in der Oberfläche, gleichbedeutend mit einem COP. Die Zahl der detektierten Partikel war bemerkenswert klein im Vergleich zur hohen Zahl der COPs; left: Distribution of particles > 80 nm on 300 mm wafers after polishing and cleaning. An average of 27 particles per wafer indicates the high quality of the used processes; right: Spatial distribution of defects on a 300 mm wafer after polishing and cleaning. Each blue dot represents a depression in the surface indicating a COP. The number of particles were remarkable low compared to the high number of COPs.

scattered-light method. The signal of this contamination differs clearly from that of the haze of the wafer. Even down to 45 nm defect size, no influence of the system electronics or the substrate is observed. This result emphasizes the applications of the optimized scattered-light method for detection of smallest defects on bare silicon.

## Qualification of wafer processes

An application for the optimized defect inspection system is the final inspection after processes like polishing, etching or cleaning. These processes are developed and optimized by IISB within contract research of industry. The surfaces of these silicon wafers require a particle contamination as low as possible as well as low haze. The number of COPs can not be influenced as the dents originate in the silicon crystal.

A corresponding final inspection for

evaluation of the quality of the previous processes is only possible by distinguishing between particles and crystal defects. The capabilities of the optimized measurement technique such as those for final inspection after final clean could be shown impressively. Fig. 2 shows the results of these very clean wafers for defects larger than 60 nm. A final inspection would not have been possible without separation of COPs and particles, as the result without separation showed merely the sum of both defects for evaluation. Furthermore, the haze values smaller than 0.08 ppm allowed a specification for 60 nm small defects and pointed up the high quality of the investigated silicon wafers.

## Contact

Dr. Andreas Nutsch  
Phone: +49 (0) 9131 761-115  
Email: andreas.nutsch@iisb.fraunhofer.de

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologie

Forschungsschwerpunkte und Kompetenzen im Bereich Halbleiter- und Nanotechnologie sind die Entwicklung neuartiger Einzelprozeßschritte und Verfahren für höchstintegrierte Schaltungen, Testprozeßsequenzen, die Bearbeitung mikroskopischer Strukturen mittels Ionenstrahltechnik und die Entwicklung von Bauelementestrukturen der Leistungselektronik und der Mikrosystemtechnik. Für die Durchführung der Arbeiten stehen in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der Universität Erlangen-Nürnberg mehr als 1000 m<sup>2</sup> Reinraum (Klasse 10) mit entsprechender Gerätetechnik zur Verfügung. Dadurch ist die Durchführung aller wichtigen Prozeßschritte auf Siliciumscheiben bis 150 mm, für Einzelprozeßschritte bis 200 mm bzw. bis 300 mm Durchmesser möglich. Ein von der Industrie transferierter CMOS-Prozeß ist in der Prozeßlinie des IISB implementiert und an die speziellen Anforderungen eines Forschungsinstitutes angepaßt. Dieser Gesamtprozeß bildet die Basis, die Einzelprozeßentwicklung für zukünftige Schaltkreise zu stärken und eine Erprobung von neuen Prozessen im Umfeld eines bekannten Prozesses zu ermöglichen.

Im Bereich Front-end-Prozeßentwicklung und elektronische Halbleiter-Bauelemente-Charakterisierung steht dem IISB mit hochmodernen Gasphasen-Abscheidenanlagen auf der Basis von MOCVD geeignetes Equipment zur Abscheidung von hoch-epsilon und metallischen Schichten zur Verfügung. Die Kompetenzen des IISB liegen dabei in der Anpassung dieser Anlagen an die jeweilige Precursorenchemie, in der Abscheidung aus allen Arten von Precursoren und in der Charakterisierung der abgeschiedenen Schichten sowie in

Zusammenarbeit mit mehreren chemischen Instituten in der Herstellung und Modifizierung neuartiger Precursoren. Dazu und für die weitergehende HL-Bauelemente-Charakterisierung ist das IISB sehr umfassend mit Parametermeßplätzen, Waferprobern und Hochspannungsmessplätzen ausgerüstet.

Traditionelles Arbeitsgebiet am IISB ist die Ionenstrahltechnik. Implantationsanlagen von einigen eV bis hin zu mehreren MeV stehen zur Verfügung. Die Durchführung von Sonderimplantationen für Industriekunden, sowohl in der CMOS- als auch in der Leistungsbau-elementetechnologie, stellt einen Schwerpunkt der Aktivitäten dar.

Bereits seit mehr als 15 Jahren arbeitet das IISB im Bereich Leistungsbau-elemente und SiC. Seit kurzem stehen dem Institut spezielle Anlagen zur Herstellung von Trenchstrukturen und zu deren Befüllung zur Verfügung. Daraus ergeben sich vielfache Möglichkeiten der Entwicklung neuartiger Bauelementestrukturen in der Leistungselektronik. Das Substratmaterial SiC bietet ungeahnte Möglichkeiten vor allem für die Leistungselektronik. Mittlerweile können am IISB nahezu alle in der CMOS-Technologie bekannten Fertigungsschritte auch an SiC-Scheiben durchgeführt werden. Die Entwicklung notwendiger neuartiger Prozeßschritte, wie Hochtemperaturausheilung und Epitaxie ist seit kurzem möglich.

Zur Herstellung von Halbleiterbauelementen gehört unabdingbar die Charakterisierung der einzelnen Prozeßschritte und der jeweiligen Strukturen. Wichtige Schritte sind dabei die Bestimmung der Schichtzusammensetzung, der Topographie, der Dotierprofile und weiterer physikalischer und chemischer Parameter. Besondere Kompetenz der Abteilung Technologie liegt in der Kombination verschiedener Methoden zur Analyse von Fehlern in der Prozes-

sierung von Halbleitern und dem Aufspüren von Fehlerursachen.

Die Kompetenzen in der Bearbeitung von Strukturen in der Größenordnung weniger Nanometer mit Hilfe fokussierter Ionen- (Focused Ion Beam, FIB) und Elektronenstrahlen werden am IISB seit mehreren Jahren entwickelt und für die Reparatur und Analyse von Prototypen elektronischer Bauteile eingesetzt. Darüber hinaus werden mit der Technik neue Nanosonden für die Rastermikroskopie entwickelt und gefertigt, die es erlauben, physikalische oder elektrische Parameter, wie Dotierung oder Schichteigenschaften, mit hoher Ortsauflösung zu bestimmen. Weitere Anwendungsgebiete sind kleinste Feldemitterstrukturen für die Vakuum-Nanoelektronik.

Ansprechpartner

Dr. Lothar Frey  
Telefon: +49 (0) 9131 761-320  
Email: lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

Dr. Anton Bauer  
Telefon: +49 (0) 9131 761-308  
Email: anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

## Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology

Development of novel process steps and methods for ULSI devices, short test processes, modification of microscopic structures via ion beam techniques, and development of device structures for power electronics or micro-electrochemical systems are the main activities of the Semiconductor- and Nanotechnology department. For this purpose, IISB and the Chair of Electron Devices operate joint clean-room facilities of 1000 m<sup>2</sup> (class 10) equipped with CMOS-compatible equipment. This allows the implementation of the most important process steps on silicon wafers with diameters of up to 150 mm, for certain process steps even on 200 and 300 mm wafers. An industrial CMOS process was transferred to IISB and adapted for research and development purposes. This process is used as reference and basis for the development of advanced process technology.

For the development of novel process steps in the field of gate-stack engineering, IISB operates advanced chemical vapour deposition tools on the basis of MOCVD for deposition of high-k and metallic layers. Adaptation of the equipment to the particular chemistry of the precursors, deposition of all types of precursors, characterization of the deposited layers, and, in cooperation with several chemical institutes, creation and modification of novel precursors are the main tasks of the department. For advanced characterization of devices, IISB operates a wide variety of parameter analyzers, wafer probes, and high-voltage measuring equipment.

Special activities focus on ion implantation technologies. At IISB, implantation tools with acceleration voltages from

some eV up to several MeV are available. Special implantations for CMOS as well as for power semiconductors are established, e.g. commercial tools have been modified to be suitable to implant several wafer diameters and manifold elements at elevated temperatures.

Further activities take place in the fields of power semiconductors and silicon-carbide electronics. IISB is increasing its commitment in these fields by implementing new equipment and processes to serve special needs necessary for power devices and SiC electronics, like etching and filling of deep trenches or high-temperature processing capabilities for SiC. In the meantime, nearly all necessary manufacturing steps for SiC devices can be performed at IISB. Further equipment for high-temperature annealing or epitaxy has been installed recently.

Characterization of process steps and device structures is of utmost importance for the manufacturing of semiconductor devices. Important steps for this are the determination of the composition, topography, doping profile, and further physical and chemical parameters, as well as SEM & TEM investigations, energy-dispersive X-ray analysis, and AFM surface characterization. The specific competence of the technology department is the combination of varying methods for the analysis of failures in the processing of devices or the tracing of failure causes.

Another focal area of the department is the processing of structures in the range of a few nanometers and the repair and analysis of prototypes of electronic devices with focused ion beam (FIB) techniques and electron beams. Beyond it, by using FIB nano-probes for atomic-force microscopy are developed which make it possible to determine physical and chemi-

cal parameters like doping profiles or layer properties with a much higher resolution. Additional fields of application for FIB are smallest structures of field emitters for vacuum nano-electronics.

## Contact

Dr. Lothar Frey  
Phone: +49 (0) 9131 761-320  
Email: lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

Dr. Anton Bauer  
Phone: +49 (0) 9131 761-308  
Email: anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

# Neuartige metallorganische Precursoren zur Abscheidung von Hoch-epsilon Dielektrika

Mit entscheidend für die heute markt-führende Position der Silicium-basierten Mikroelektronik ist die Möglichkeit, ein qualitativ sehr hochwertiges Dielektrikum herzustellen - Siliciumdioxid (SiO<sub>2</sub>). In der gegenwärtigen Technologiegeneration ist die Dicke des Gateoxids im "metal-oxide-semiconductor" (MOS)-Transistor, dem fundamentalen Bauelement integrierter Schaltungen, etwa 1,5 nm oder dünner. In diesem Dickenbereich entstehen nun zunehmend Probleme, vor allem im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Gateoxide, weshalb es unumgänglich sein wird, in zukünftigen Technologiegenerationen SiO<sub>2</sub> als Gatedielektrikum durch andere Materialien zu ersetzen.

Ein vielversprechender Weg zur Lösung dieses Problems sind Zirkon- und Hafniumsilikatschichten. Der Hauptvorteil dieser Schichten ist ihre chemische wie auch thermische Stabilität in direktem Kontakt mit Silicium. Aus technologischer Sicht wird meist die metallorganische chemische Gasphasenabscheidung (MOCVD) bevorzugt, da die Prozesse gut kontrollierbar sind. Dies hängt jedoch entscheidend von den verwendeten Precursoren ab, die nach Möglichkeit alle zur Schichtherstellung benötigten (Metall-) Atome in einem Molekül bereitstellen sollten: sogenannte "single-source" Precursoren. Da für die Herstellung von Zirkon- bzw. Hafniumsilikatschichten mittels MOCVD keine "single-source" Precursoren und damit auch keine industrietauglichen Prozesse zur Verfügung stehen, kommt der Entwicklung geeigneter Precursoren eine entscheidende Rolle zu.

Meist muss dabei ein Kompromiss zwischen Flüchtigkeit und Luft- bzw. Feuchteempfindlichkeit der Precursoren gefunden werden. Ein Ansatz hierfür sind Komplexe der Form  $M^{IV}(acac)_n(OSiRR'R'')_{4-n}$ , wobei M für Zirkon oder Hafnium, acac für Acetylacetonato und R, R', R'' für organische

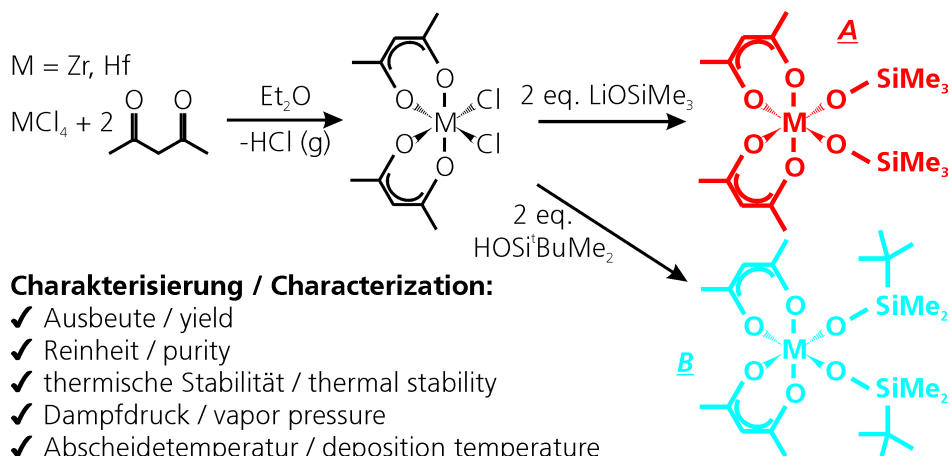


Fig. 1: Synthese zweier iso-struktureller 1:2 (Zr, Hf):Si-Precursoren; Synthesis of two iso-structural 1:2 (Zr, Hf):Si-precursors.

Gruppen stehen. In Fig. 1 ist schematisch der Syntheseweg zweier iso-struktureller Precursoren mit einem M:Si-Verhältnis von 1:2 dargestellt, die für MOCVD-Prozesse am geeignetsten erscheinen. Die Synthese findet dabei ausgehend von kommerziell erhältlichen Produkten in zwei Schritten statt. Für die Schichtherstellung selbst steht am IISB ein MOCVD-Reaktor zur Verfügung, in dem Scheiben mit bis zu 200 mm Durchmesser beschichtet werden können (Fig. 2, links). Fig. 2, rechts, zeigt die optisch gemessene Dicke einer Zirkonsilikatschicht, abgeschieden auf einer 150 mm-Scheibe unter Verwendung des Precursors A. Hierbei ist gut der Einfluß einer Scheibenrotation während des Abscheideprozesses zu sehen, wodurch die Schichthomogenität erhöht wird. Da an alternative Gatedielektrika hohe Anforderungen gestellt werden, ist sowohl die physikalische wie auch die elektrische Schichtcharakterisierung von großem Interesse. So zeigen etwa Untersuchungen zur Zusammensetzung, dass der Siliciumgehalt unter der erwarteten Stöchiometrie liegt. Auch zeigt sich, daß abhängig von Chemie und Abscheidungsbedingungen Kohlenstoff in die Schichten eingebaut wird. Dies ist nicht erwünscht, da Kohlenstoff elektrisch leitfähig ist und die Schichten als Dielektrika dienen sol-

len. Entscheidend sind jedoch die elektrischen Eigenschaften, die ersten Messungen zufolge vielversprechend sind. So ist etwa eine bedeutende Größe, die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$ , ungefähr viermal größer als die von SiO<sub>2</sub>. Ein wichtiger Aspekt bei allen hoch- $\epsilon$  Dielektrika sind Ladungen in der Schicht bzw. an der Grenzfläche zu Silicium. Diese sind bei unseren Proben erfreulich gering. Jedoch findet während einer elektrischen Streßbelastung ein signifikanter Aufbau von Ladungen statt, was Einfluss auf elektrische Parameter und die Zuverlässigkeit von Bauelementen hat.

Für eine Bewertung, ob diese Silikatschichten geeignet sind, SiO<sub>2</sub> in Zukunft zu ersetzen, sind noch viele weitere Experimente und Untersuchungen nötig. Jedoch zeigt sich bereits jetzt das Potenzial dieser Dielektrika.

Ansprechpartner

Martin Lemberger  
 Telefon: +49 (0) 9131 85 28651  
 Email: martin.lemberger@iisb.fraunhofer.de



# Novel Metal-organic Precursors for the Deposition of High-k Dielectrics

Silicon-based microelectronics possess a leading position in today's complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) processing. This is mainly based on the superior quality of the used dielectric: silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ). The thickness of gate oxides in MOS transistors, which are the fundamental devices of integrated circuits, for actual technology generations is 1.5 nm or thinner. In this thickness range, a number of limitations arise, whereas reliability problems can be mentioned in particular. Therefore,  $\text{SiO}_2$  as gate dielectric has to be replaced by alternative high-k materials in future technology generations.

Zirconium and hafnium silicates are two promising candidates to solve this problem. The main advantage of these materials is their chemical as well as thermal stability in direct contact with silicon. From the technological point of view, metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) is mostly preferred because of its reproducible and controllable processing. But the processes strongly depend on the used precursors. Precursors, which contain all (metal-) atoms needed for layer formation in one molecule, are most suitable and are so-called single-source precursors. For the MOCVD of zirconium and hafnium silicate films, however, no single-source precursors and thus no processes for industrial requirements exist. For this reason, the development of suitable precursors is an important issue.

In most cases, a compromise between volatility and hydrolysis stability of the precursors must be found. A promising approach are complexes of the general form  $\text{M}^{\text{IV}}(\text{acac})_n(\text{OSiRR}'\text{R}'')_{4-n}$ . In this formula, M represents zirconium and hafnium, respectively, acac represents acetylacetonato, and R, R', R'' are organic groups. In fig. 1, the synthesis of two iso-structural precursors with a

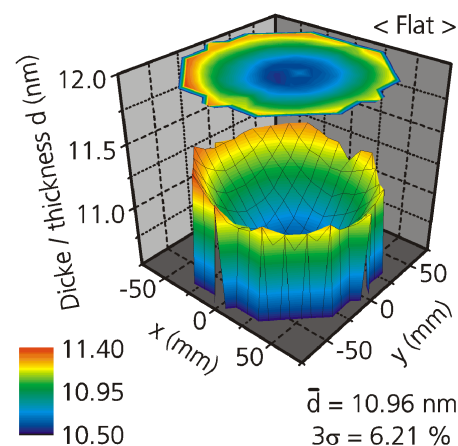


Fig. 2: MOCVD-Reaktor am IISB (links) und Dicke einer Zirkonsilikatschicht auf einer 150 mm Scheibe (rechts); MOCVD reactor at IISB (left) and thickness mapping of a zirconium silicate layer deposited on a 150 mm wafer (right).

M:Si ratio of 1:2 is given. Thereby, the synthesis proceeds in two steps starting from commercially available products. These precursors prove to be most suitable for MOCVD. For the deposition of zirconium and hafnium silicate layers, respectively, a large-scale MOCVD reactor is available at IISB (fig. 2, left), where wafers up to 200 mm can be coated. On the right side of fig. 2, an optically measured thickness mapping of a zirconium silicate layer is given. The film was deposited on a 150 mm wafer using precursor A. To enhance thickness homogeneity, the wafers rotate during the deposition processes, which leads to the observed circular symmetry. In general, high demands are made on alternative gate dielectrics and, therefore, the structural as well as electrical characterization of deposited layers are of utmost importance. For example, investigations on film composition show that the silicon content in the films is below the expected stoichiometry. It also can be shown that depending on precursor chemistry and deposition parameters different amounts of carbon are incorporated in the films. This is undesirable because carbon is conductive and the films are used as dielectrics. However, more crucial are the real electric film properties, which are promising according to first

measurements. For example, a relevant value of dielectrics, the permittivity  $k$ , is about four times higher compared to that of  $\text{SiO}_2$ . An important issue regarding all high-k dielectrics are trapped charges in the layers and at their interface to silicon, respectively. In our case, these charges are very low for fresh devices. However, a significant charge build-up occurs in case of electrical stress. This charge build-up influences electric parameters on one side and effects the device reliability on the other side.

To evaluate whether these silicates made by MOCVD are suitable dielectrics to replace  $\text{SiO}_2$  in future semiconductor, further investigations have to be carried out. The promising potential of these dielectrics is already pointed out.

## Contact

Martin Lemberger  
Phone: +49 (0) 9131 85 28651  
Email: martin.lemberger@iisb.fraunhofer.de

# Hochtemperaturprozesse für Siliciumkarbid

Heutzutage werden in praktisch allen Bereichen der Leistungselektronik Bauelemente aus Silicium (Si) eingesetzt. Aufgrund der vielversprechenden und in wichtigen Bereichen besseren Materialeigenschaften von Siliciumkarbid (SiC) zu Silicium wird das Augenmerk immer mehr auf SiC gerichtet. Die wesentlichen Vorteile liegen in der hohen Durchbruchfeldstärke (etwa  $2,4 \cdot 10^6$  V/cm für 4H-SiC) und der hohen Wärmeleitfähigkeit von etwa  $4,9$  W/(cmK). Außerdem kann fast die gesamte Si-Technologie übernommen werden. Änderungen sind aber z.B. bei den Dotierverfahren nötig. In SiC können strukturierte Dotierungen nur mittels Ionenimplantation erfolgen. Der anschließend notwendige Ausheilschritt, um die implantierten Atome auf Gitterplätze im SiC einzubauen und zu aktivieren muß bei sehr hohen Temperaturen von etwa  $1700^\circ\text{C}$  erfolgen. Durch das bei herkömmlichen Ofenprozessen verwendete hohe thermische Budget degradiert die Oberfläche in starkem Maße. Dies stellt für nachfolgende Prozesse, z.B. bei der Herstellung des Gateoxids, große Probleme dar.

Um das Problem der Oberflächendegradation zu minimieren, wurde ein Rapid Thermal Processing Tool (RTP) entwickelt. Dieser Kaltwand Reaktor ermöglicht Temperaturgradienten größer  $60$  K/s. Dadurch können hohe Temperaturen in äußerst kurzer Zeit erreicht werden. Verbunden mit einer kurzen Ausheildauer, typischerweise  $2 - 5$  min, läßt sich das thermische Budget somit erheblich senken. Um die Auswirkungen auf die Oberfläche zu untersuchen, wurden n-dotierte 4H-SiC-Wafer mit verschiedenen Aluminium-Dosen implantiert und anschließend im RTP bei verschiedenen Zeiten und Temperaturen ausgeheilt. Die mit einem Atomic Force Microscope (AFM) gemessenen Oberflächenrauigkeiten sind in Fig. 1 dargestellt. Vergleicht man die Ober-

flächenrauigkeiten einer nicht getemperten Referenzprobe (schwarz) mit den ausgeheilten Proben, so steigt die Oberflächenrauigkeit für Al-Dosen kleiner  $5 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-2}$  nicht wesentlich an und bleibt unter einem Wert von  $1 \text{nm}$ . In diesem Dosisbereich zeigen sich deutlich die Vorteile des RTP-Systems. Für höhere Al-Dosen als  $5 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-2}$  ist allerdings ein deutlicher Anstieg der Oberflächenrauigkeit zu sehen. Dies ist auf eine Amorphisierung der Proben während der Implantation zurückzuführen und kann durch den Ausheilschritt nicht wesentlich verbessert werden.

Außer der Oberfläche spielen für die implantierten Bereiche die elektrischen Eigenschaften bei der späteren Anwendungen eine wichtige Rolle. Zur Charakterisierung wurden Schichtwiderstandsmessungen durchgeführt. Als Proben dienten ebenfalls Al-implantierte (Al-Dosis =  $5 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-2}$ ) n-typ 4H-SiC-Wafer, die anschließend für unterschiedliche Zeiten und Temperaturen im RTP-System ausgeheilt wurden. Die gemessenen Schichtwiderstände sind in Fig. 2 für verschiedene Ausheilatmosphären dargestellt. Als Vergleichswert ist ein herkömmlicher Ofenprozeß eingezeichnet. Deutlich zu sehen ist für eine Temperatur von  $1700^\circ\text{C}$  und einer Zeit von  $4-30$  s, daß die Ausheilatmosphäre kaum eine Rolle spielt. Ebenfalls zu erkennen ist eine Verbesserung des Schichtwiderstandes für höhere Temperaturen, z.B.  $1700^\circ\text{C}$  verglichen mit  $1740^\circ\text{C}$ , und eine Abnahme des Schichtwiderstandes für längere Ausheildauern, z.B.  $4-30$  s verglichen mit  $10-30$  s. Der Wert des Ofenprozesses kann allerdings nicht völlig erreicht werden. Der beste Schichtwiderstandswert von  $70 \text{k}\Omega/\square$  für das RTP-System wird bei  $1700^\circ\text{C}$  für  $10-30$  s erreicht und ist ungefähr doppelt so groß wie der Schichtwiderstandswert des Ofensystems.

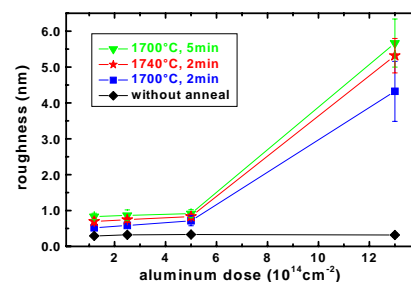


Fig. 1: Oberflächenrauigkeiten für Al-implantierte und RTP-ausgeheilte Proben (blau:  $\text{N}_2$  ohne Streuoxid, rot: Ar mit Streuoxid, grün: Ar ohne Streuoxid); Surface roughness for Al-implanted and RTP-annealed samples (blue:  $\text{N}_2$  without sacrificial oxide, red: Ar with sacrificial oxide, green: Ar without sacrificial oxide).

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, daß das RTP-System eine sehr geringe Oberflächenrauigkeit und gleichzeitig konkurrenzfähige Werte des Schichtwiderstandes erzeugt.

## Ansprechpartner

Martin Rambach  
Telefon: +49 (0) 9131 761-318  
Email: martin.rambach@iisb.fraunhofer.de



# High-temperature Processes in Silicon Carbide

Almost all of today's power electronic devices are manufactured by means of silicon technology. But the outstanding and in many domains superior properties of silicon carbide (SiC), compared to silicon (Si), attract more and more interest in SiC. The essential benefits of SiC are the high breakdown field (about  $2.4 \cdot 10^6$  V/cm for 4H-SiC) and the excellent thermal conductivity of about 4.9 W/(cmK). Additionally, many process steps and the equipment of Si technology can be used for the manufacturing of SiC devices. But, e.g. the doping process has to be modified. Structured doping in SiC can only be obtained by ion implantation. The necessary subsequent annealing step, bringing the implanted atoms on lattice sites in order to activate them, requires very high temperatures of about 1700°C. Such high temperatures in common furnace processes degrade the SiC surface in a strong way. This is a big problem for following process steps like the growing of thin gate oxides.

To avoid the degradation problem of the SiC surface, a rapid thermal processing tool (RTP) was developed. This is a cold-wall reactor obtaining temperature gradients larger than 60 K/s, thus allowing to achieve the maximum temperature of 1740°C in a very short time. In combination with short annealing times, typically 2 - 5min, the thermal budget can be reduced dramatically. To study degradation effects of short-time annealing on the SiC surfaces, different doses were implanted in n-doped 4H-SiC wafers. These wafers then were annealed in a RTP system at different temperatures and times. The surface roughness of the samples measured with an atomic force microscope (AFM) are shown in fig. 1. The surface roughness of the annealed samples compared to the not annealed reference sample (black) shows no sig-

nificant increase for aluminum doses lower than  $5 \cdot 10^{14}$  cm<sup>-2</sup> and remains below a value of 1 nm. In this doping range, the benefits of the RTP system can be seen very clearly. But, higher aluminum doses show a clear increase in surface roughness. This is attributed to amorphisation during the implantation of the sample. The annealing step alone is not able to reduce amorphisation effects significantly.

But not only the surface properties are important for applications of SiC in devices. The electrical properties of implanted regions play a significant role, too. To characterize them, sheet resistance measurements have been carried out. The n-type 4H-SiC samples have been implanted with an aluminum dose of  $5 \cdot 10^{14}$  cm<sup>-2</sup> and RTP-annealed at different temperatures and times. The measured sheet resistances are shown in fig. 2 for different annealing ambients. A standard furnace process is also shown to be compared to our results. There is no significant influence of the annealing ambient on sheet resistance seen for a temperature of 1700°C and an annealing time of 4-30 s. The value is about 90 kΩ/□ for Ar ambient as well as for N<sub>2</sub> ambient. A decrease of the sheet resistance with an increase of the annealing temperature is seen, e.g. at 1700°C compared to 1740°C. A decreasing sheet resistance for an increasing annealing time is also found, e.g. for 4-30 s compared to 10-30 s. But the low value of the furnace process can not be obtained. The best RTP annealing step leads to a sheet resistance of about 70 kΩ/□, which is about twice the value of the furnace process.

In summary, we have shown that the RTP system creates smooth surfaces and a competitive low value of the sheet resistance at the same time.

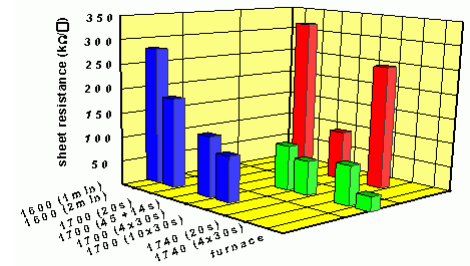


Fig. 2: Schichtwiderstand für Al-implantierte und RTP-ausgeheilte Proben; Sheet resistance for Al-implanted and RTP-annealed samples.

## Contact

Martin Rambach  
Phone: +49 (0) 9131 761-318  
Email: martin.rambach@iisb.fraunhofer.de

# ENCOTION - ein Werkzeug zur Kontaminationsanalyse in der Ionenimplantation

Erfahrungsgemäß können in der Ionenimplantation auch unerwünschte Ionen die Massenseparation einer Implantationsanlage passieren und die Scheibe energetisch kontaminieren. Dies läßt sich damit erklären, daß für die Separation nicht nur die Masse des Ions maßgeblich ist, sondern auch dessen Ladung und Geschwindigkeit. Aus diesen Variablen läßt sich die sogenannte "scheinbare Masse" ableiten, welche mit der am Magneten eingestellten Masse verglichen werden kann: liegen beide Werte hinreichend nah beieinander, was wiederum von der Massenauflösung des Magneten abhängt, kann das Ion nicht mehr ausgefiltert werden.

Der einfachste Fall ist der eines Ions, welches auf dem Weg von der Ionenquelle zum Magneten keine Änderung bezüglich Masse oder Ladung erfährt: die scheinbare Masse ergibt sich allein aus dem Verhältnis aus Masse und Ladung des Ions. Kommt es vor der Massenseparation zu Umladungen oder Massenänderungen, dann wird die Berechnung der scheinbaren Masse komplizierter und es läßt sich nicht mehr unmittelbar entscheiden, welches Ion unter welchen Voraussetzungen den Analysator passieren kann. In Fig. 1 ist schematisch dargestellt, wie Molybdän durch Umladung und Aluminium durch einen Dissoziationsprozeß neben dem gewünschten, elementaren Bor implantiert werden können.

Zur Evaluierung des Kontaminationspotentials von umgeladenen oder dissoziierten Ionen wurde die Simulationssoftware ENCOTION (ENergetic COntamination simulaTION) entwickelt. Mit Hilfe dieses für Windows geschriebenen Programms lassen sich potentielle Transportmechanismen für sämtliche Elemente des Periodensystems bei beliebig vorgegebener scheinbarer Masse simulieren. Durch eine Reihe von Para-

metern, wie z.B. dem maximalen Ladungszustand der Ionen, der Massenauflösung des Magneten oder der Möglichkeit, einzelne Isotope auszuablenden, kann der Lösungsraum erweitert oder eingeschränkt werden (vgl. Fig. 2). Molekülionen können aus bis zu drei verschiedenen Elementen bestehen, wobei jedes Element mehrfach innerhalb des Moleküls auftreten darf.

Das Ergebnis ist eine sortierbare Tabelle, in welcher die genauen Transfermechanismen mit allen beteiligten Ionen und deren Ladungszuständen aufgelistet sind. Weiterhin wird für jeden Mechanismus die scheinbare Masse und die Abweichung zur am Magneten eingestellten Masse angegeben. Die Ausgabe der effektiven Energien der kontaminierenden Elemente nach Extraktion, bzw. nach Extraktion und Nachbeschleunigung, ist sehr nützlich für die Planung und Auswertung von Experimenten.

Neben der Analyse energetisch kontaminierter Scheiben ist ENCOTION auch zur Abschätzung des Kontaminationsrisikos für den Einsatz neuer Materialien im Quellenbereich oder zur Identifizierung ungewöhnlicher Signale im Massenspektrum geeignet. Die Software ist zu einem mächtigen Werkzeug herangereift und wird fortlaufend in seinem Funktionsumfang ergänzt. Als zukünftige Erweiterung ist z.B. die Einbindung einer Funktion zur graphischen Darstellung von Massenspektren geplant.

Ein Beispiel zur Anwendung von ENCOTION ist die Molybdänkontamination während der Implantation von elementarem Bor. ENCOTION gibt neben dem in Fig.1 angedeuteten Mechanismus  $Mo^+/Mo^{+++}$  eine Reihe weiterer Möglichkeiten an, die sich in der Energie, mit der das Molybdän in die Scheibe gelangen würde und in der Reihenfolge der bevorzugt implantierten Isotope

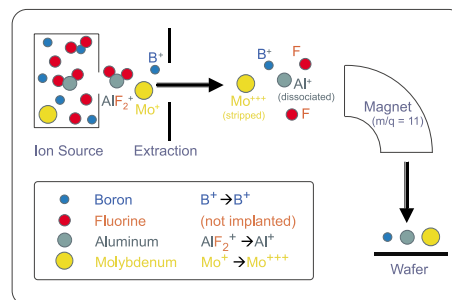


Fig. 1: Mo- und Al-Kontamination bei der B-Implantation aufgrund von Änderungen der Ladung bzw. Masse; Mo and Al contamination for B implantation due to changes in charge or mass state, respectively.

unterscheiden. Durch die Implantation von  $^{11}B^+$  mit unterschiedlichen Energien konnte nicht nur implantiertes Molybdän nachgewiesen werden, sondern auch ein weitaus größerer Einfluß der Nachbeschleunigungsspannung gegenüber der Extraktionsspannung auf die Eindringtiefe des Molybdäns. Ferner konnte gezeigt werden, daß die Molybdänisotope mit zunehmender Masse bevorzugt implantiert wurden. Nach dem Vergleich der experimentellen Daten mit den potentiellen Lösungen von ENCOTION deutet alles auf den besagten Umladungsmechanismus  $Mo^+/Mo^{+++}$  hin.

Ansprechpartner

Volker Häublein  
 Telefon: +49 (0) 9131 761-220  
 Email: volker.haeublein@iisb.fraunhofer.de

# ENCOTION - a Tool for Contamination Analysis in Ion Implantation

According to experience, undesired ions can pass the magnetic analyzer of an ion implanter and contaminate the wafer energetically. This can be explained by the fact that the mass separation does not only depend on the exact mass of the ion but also on its charge state and velocity. From these variables, the so-called "apparent mass" can be deduced. If the apparent mass of an ion is sufficiently close to the mass that was set at the implanter, the ion will not be separated by the analyzer.

In the simplest case, if neither the charge state nor the mass of the ion are changed on its way from the ion source to the analyzer, the apparent mass is the mass of the ion species divided by its charge state. In case of charge exchange events and dissociation of molecular ions prior to mass analysis, the calculation of the apparent mass is more complex and it is hard to predict directly which ion can pass the analyzer under which circumstances. Fig. 1 schematically shows that during the implantation of elementary boron also molybdenum (charge exchange) and aluminum (dissociation of  $\text{AlF}_2$ ) can be implanted into the wafer.

The simulation tool ENCOTION (ENERgetic CONTamination simuLATION) was developed to evaluate the contamination potential of ions undergoing changes in charge or mass state. This Windows based software simulates potential transport mechanisms for any element of the Periodic Table for arbitrary apparent masses. There are many parameters to increase or decrease the amount of possible solutions, such as the maximum charge state, the maximum mass, the mass resolution of the magnet, or the selection of single isotopes (cp. Fig. 2). Molecular ions may consist of up to three different elements, while any of these elements

may occur repeatedly.

The result is a table that lists all ions and the respective charge states of the simulated transport mechanisms. Furthermore, the apparent mass of each mechanism is provided together with its deviation to the mass that is set at the analyzer. The output of the effective energies of the contaminants after extraction or after extraction and post acceleration, respectively, is very useful for the design and analysis of experiments. The table can be sorted for all output parameters in ascending or descending order.

In addition to the analysis of energetically contaminated wafers, ENCOTION can also be used to identify unusual peaks in a mass spectrum or to predict the contamination risk if e.g. source parts are replaced by components of a new material. The software has become a powerful tool and will be upgraded regularly. A module is planned for the future which allows the graphical display of mass spectra.

An example for the application of ENCOTION is molybdenum contamination during the implantation of elementary boron. As already indicated in fig. 1, this contamination is possible in case  $\text{Mo}^+$  gets rid of two electrons after extraction and prior to mass analysis. In addition to this mechanism, ENCOTION simulates a high number of other mechanisms for the transport of molybdenum through the magnet. The solutions differ in the implanted effective energy of the molybdenum and in the order of the favored molybdenum isotopes. In case of the implantation of  $^{11}\text{B}^+$  with different energies, it could be shown that molybdenum in fact not only was implanted energetically but that the post-acceleration voltage had a much higher effect on the projected range than the extraction voltage. Furthermore, the higher the isotope mass,

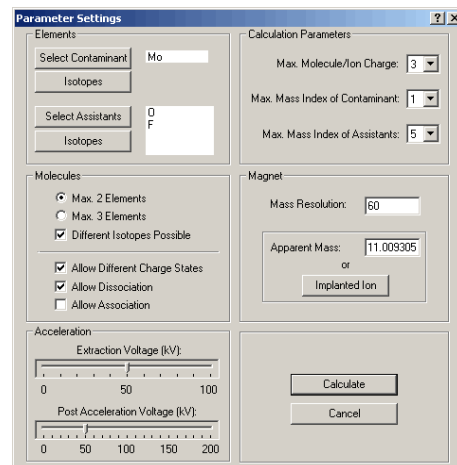


Fig. 2: Dialogfenster zur Einstellung der Simulationsparameter;

Dialog window for the setting of the simulation parameters.

the higher the implanted molybdenum concentration. The comparison of the experimental data with the simulated transport mechanisms by ENCOTION shows that the molybdenum contamination is very likely attributable to the charge exchange mechanism  $\text{Mo}^+/\text{Mo}^{++}$ .

## Contact

Volker Häublein  
Phone: +49 (0) 9131 761-220  
Email: volker.haeublein@iisb.fraunhofer.de

# Neue Anwendungsschwerpunkte für das ELYMAT-Meßverfahren

## Einleitung

Das ELYMAT-Meßverfahren (Electrolytical Metal Analysis Tool) ist ein etabliertes Verfahren zur Bestimmung der Rekombinationslebensdauer von Ladungsträgern. Das Verfahren ist seit seiner Entwicklung Forschungsgebiet des IISB. Neueste Schwerpunkte liegen dabei auf der quantitativen Bestimmung sehr hoher Lebensdauern und Modifikationen des Verfahrens zur Charakterisierung von Isolator/Silicium-Grenzflächen.

## Meßprinzip

Beim ELYMAT-Verfahren wird ein Wafer mit einem Laser von der Vorderseite Punkt für Punkt beleuchtet (siehe Fig. 1). Die dadurch erzeugten Minoritätsladungsträger diffundieren auf die Rückseite der Scheibe, wo sie als Strom  $I_{BPC}$  (Backside Photo Current) detektiert werden. Die Höhe des Stromes hängt jeweils davon ab, wie viele Ladungsträger auf dem Weg von der Vorder- zur Rückseite des Wafers rekombinieren, also von der lokalen Lebensdauer bzw. Diffusionslänge der Ladungsträger. Über eine geeignete Farbskalenzuordnung erhält man schließlich ein "Bild" der Lebensdauervariation des Wafers (siehe Fig. 2). Während der Messung befindet sich der Wafer in einer mit 1%iger HF-gefüllten Doppel-

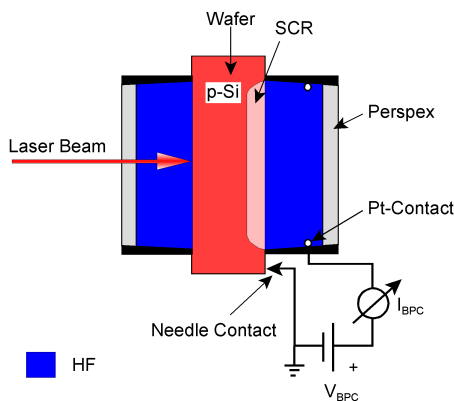


Fig. 1: Skizze des ELYMAT-Systems; Sketch of the ELYMAT system.

kammer. Der Elektrolyt dient auf der Vorderseite zur Verringerung der Oberflächenrekombination und auf der Rückseite als ganzflächiger Kontakt.

## Messung sehr hoher Lebensdauern

Durch die Weiterentwicklung und Optimierung der Prozessschritte bei der Kristallzucht (u.a. durch moderne Simulationsverfahren, die am IISB entwickelt werden) können heute Kristalle hergestellt werden, die eine so geringe Konzentration an Verunreinigungen und Kristallfehlern aufweisen, daß diese Wafer Diffusionslängen aufweisen, die ein Mehrfaches der Waferdicke betragen. Eine genaue quantitative Bestimmung solcher hoher Diffusionslängen bzw. Lebensdauern stellt für alle etablierten Meßverfahren eine große Herausforderung dar. Daß das ELYMAT-Verfahren zumindest in der Lage ist, selbst bei sehr hohen Lebensdauern noch deutliche Unterschiede messen zu können, zeigt eine Messung eines 300 mm-Wafers, die in Fig. 2 dargestellt ist (bei einem Mittelwert von ca. 1900  $\mu$ s liegen in der Mitte der Scheibe Lebensdauern von ca. 3500  $\mu$ s vor). Die Ermittlung der Genauigkeit der Absolutwerte ist dagegen Inhalt eines aktuellen Forschungsvorhabens.

## Charakterisierung von Isolator/Silicium-Grenzflächen

Ein wichtiges Gütekriterium für Isolatorschichten in der Halbleiterindustrie ist die Konzentration von Rekombinationszentren an der Grenzfläche zwischen Isolator und Halbleiter. Sie wird üblicherweise über die sogenannte Grenzflächenzustandsdichte  $D_{it}$  angegeben. Bei MOS-Transistoren ist z.B. die Einsatzspannung von der Grenzflächenzustandsdichte abhängig.

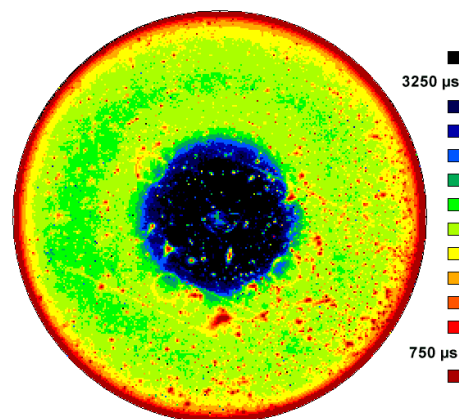


Fig. 2: Lebensdauermap eines Wafers mit sehr hohen Lebensdauern; Lifetime map of a wafer with very high lifetimes.

Mißt man nun mit dem ELYMAT-Verfahren z.B. eine an der Vorderseite oxidierte Scheibe (nun mit Essigsäure anstatt HF), rekombinieren die durch den Laser erzeugten Ladungsträger nicht nur an Verunreinigungen oder Kristallfehlern im Volumen, sondern auch an den Grenzflächenzuständen. In welchem Maß Ladungsträger an der Grenzfläche rekombinieren, hängt dabei neben der Konzentration der Zustände auch vom Oberflächenpotential des Halbleiters ab, das bei einer MOS-Struktur über die Gatespannung beeinflusst werden kann. Modifiziert man den ELYMAT-Meßaufbau, läßt sich mit Hilfe einer Spannung  $V_{EIS}$  über der Elektrolyt/Isolator/Silicium-Struktur das Oberflächenpotential des Halbleiters beeinflussen (siehe Fig. 3). Aus der Abhängigkeit des lichtinduzierten Stromes  $I_{BPC}$  von dieser Spannung  $V_{EIS}$  (siehe Fig. 4) können wichtige Parameter wie z.B. die effektive Grenzflächenzustandsdichte  $D_{it}$  ermittelt werden. Am IISB wird derzeit an der Entwicklung eines derartigen Meßsystems gearbeitet.

## Ansprechpartner

Mathias Rommel  
 Telefon: +49 (0) 9131 761-108  
 Email: mathias.rommel@iisb.fraunhofer.de

# New Applications for the ELYMAT Method

## Introduction

The ELYMAT technique (Electrolytical Metal Analysis Tool) is an established method for charge carrier lifetime measurement. Since its development the IISB is involved in enhancing this approach. Recent key activities cover quantitative determination of very high lifetimes as well as the characterization of silicon/insulator interfaces with a slightly modified ELYMAT system.

## Measuring Principle

In the ELYMAT method, a wafer is scanned by a laser beam from the front (see fig. 1). Generated minority carriers diffuse towards the back of the wafer, where they are detected as a so-called backside photo current  $I_{BPC}$ . This current depends on the recombination of charge carriers during their diffusion from the front to the back, thus on the local carrier lifetime or diffusion length, respectively. Using an appropriate color scale, a lifetime "image" of the wafer (see fig. 2). During the measurement the wafer is located in an electrolytic chamber filled with 1% HF. The electrolyte has two purposes: while reducing the surface recombination at the front surface, it serves as a large electric

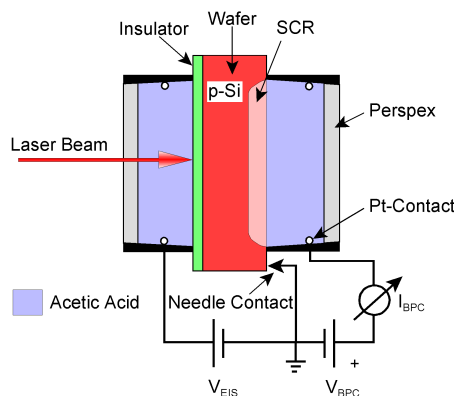


Fig. 3: Skizze des modifizierten ELYMAT-Systems zur Charakterisierung von Silicium/Isolator-Grenzflächen;  
Sketch of the modified ELYMAT system for characterization of silicon/insulator interfaces.

contact area at the wafer back.

## Measuring Very High Lifetimes

With the advancement and optimization of crystal growth technology (e.g. by modern simulation methods developed at the IISB), today's silicon crystals can be grown with extremely low amounts of contaminants and little crystal damage. Thus, the resulting carrier diffusion lengths can be many times that of the wafer thickness. An accurate quantitative determination of such high diffusion lengths or lifetimes, however, is a challenge for all established measurement techniques. That the ELYMAT system is at least able to clearly differentiate lifetimes even at very high levels is demonstrated in fig. 2, which shows a lifetime map of a 300 mm wafer (average lifetime of 1900  $\mu$ s and lifetimes of 3500  $\mu$ s near the wafer center). The determination of the accuracy of the absolute lifetime values, however, is the topic of a current research project.

## Characterization of Insulator/Silicon Interfaces

In the semiconductor industry, the concentration of recombination centers at the silicon/insulator interface is one of the major quality factors of insulator layers. The concentration is usually described by the so-called interface trap density  $D_{it}$ . The interface trap density, for example, affects the threshold voltage of MOSFETs. Performing an ELYMAT measurement with a wafer oxidized at the front, generated charge carriers now do not only recombine because of contaminants and crystal damage in the volume but also due to interface traps (acetic acid is used instead of HF). Besides the concentration of interface traps, the recombination rate of charge carriers at the interface strongly de-

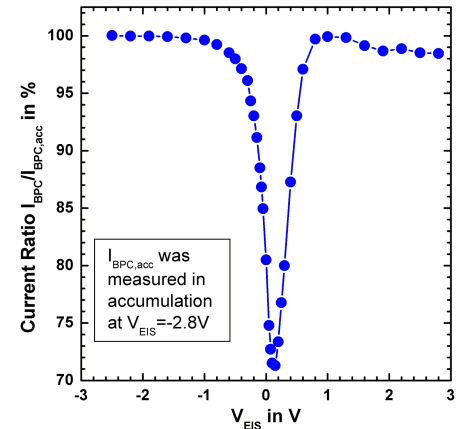


Fig. 4: Relative Abhängigkeit des Stromes  $I_{BPC}$  von der Spannung  $V_{EIS}$  für einen p-Typ Wafer mit einer 21 nm dicken  $SiO_2$ -Schicht;  
Relative dependence of  $I_{BPC}$  on  $V_{EIS}$  for a p-type wafer with a 21 nm  $SiO_2$  layer.

pends on the surface potential of the semiconductor, which can be influenced by the gate voltage at MOS structures. Modifying the ELYMAT setup, the surface potential of the silicon wafer can be biased with a voltage  $V_{EIS}$  across the electrolyte/insulator/silicon structure (see fig. 3). Now the dependence of the light induced current  $I_{BPC}$  on  $V_{EIS}$  (see fig. 4) allows to determine key parameters like the effective interface trap density  $D_{it}$ . Currently, the IISB is involved in the development of such a measurement system.

## Contact

Mathias Rommel.  
Phone: +49 (0) 9131 761-108  
Email: mathias.rommel@iisb.fraunhofer.de



## Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung

Kristallzüchtungsprozesse liefern das Grundmaterial für viele Anwendungen. Die F&E-Arbeiten im Gebiet der Kristallzüchtung werden daher durch die Forderungen nach speziellen Anwendungen vorangetrieben. Im allgemeinen werden dabei aus wirtschaftlichen Gründen immer größere Kristalldimensionen benötigt. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Kristallqualität im mikroskopischen und makroskopischen Maßstab sowie der Bedarf nach Materialien mit neuen Eigenschaften.

Der Forschungsschwerpunkt der Abteilung Kristallzüchtung, die ein weltweit anerkanntes Kompetenzzentrum ist, liegt darin, gemeinsam mit den Industriepartnern Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Massivkristallen und dünnen Schichten zu entwickeln und zu optimieren, um den steigenden Anforderungen bezüglich Kristallqualität und Kostenreduktion gerecht zu werden.

Dabei ist die Strategie des IISB, Kristallzüchtungsprozesse durch eine Kombination aus experimenteller Prozeßanalyse und numerischer Modellierung zu optimieren. Das IISB ist dazu mit einer geeigneten Infrastruktur und mit den leistungsfähigen, benutzerfreundlichen Simulationsprogrammen CrysVUn, STHAMAS und STHAMAS3D ausgerüstet. Diese Programme, die kontinuierlich weiterentwickelt werden, werden von und für die industriellen Partner zur Entwicklung von Kristallzüchtungsanlagen und Prozessen eingesetzt.

Die F&E-Aktivitäten des IISB im Jahr 2002 lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen:

In den traditionellen Arbeitsgebieten

der Abteilung wurden alle Kooperationen mit den Industriepartnern trotz der angespannten Konjunkturlage auf nahezu dem gleichen Niveau wie in den Vorjahren fortgesetzt.

Das Vertrauen der Industriepartner in das IISB und die wissenschaftlich herausragende Stellung des IISB auf dem Gebiet der Kristallzüchtung ist daraus ersichtlich, daß mehr als 130 Kristallzüchter aus der ganzen Welt sich zu Beginn des Jahres 2002 in Erlangen versammelten. Anlaß war ein Festkolloquium zu Ehren des 60. Geburtstages des Abteilungsleiters Prof. Dr. Georg Müller, in dem die mehr als zwei Jahrzehnte dauernden Erlanger FuE Aktivitäten in der Kristallzüchtung beleuchtet wurden.

Darüber hinaus hat die Abteilung Kristallzüchtung im Jahre 2002 neue Forschungsgebiete erschlossen. Das IISB hat im Rahmen eines bmb+f-Vorhabens als bislang einzige Institution in Deutschland begonnen, Verfahren zur Züchtung von massiven Galliumnitrid-Substratkristallen zu entwickeln. Galliumnitrid ist ein strategisch bedeutsames Material für die Optoelektronik und für die HF-Leistungselektronik. Die blaue Laserdiode, super helle Leuchtdioden sowie elektronische Bauelemente für den UMTS Standard seien hier als typische Anwendungen von Nitridbauelementen genannt. Jedoch sind bislang keine Substratkristalle verfügbar, um damit industriell Bauelemente homoepitaktisch herzustellen und damit das Potential des Galliumnitrids voll auszuschöpfen. Deshalb besteht großer Forschungsbedarf, um den Bauelementherstellern Galliumnitrid-Substratkristalle zur Verfügung zu stellen. Dies wurde auch aus den Erlanger Nitrid-Tagen deutlich, die im Rahmen der IISB-Jahrestagung im Oktober 2002 stattfanden und zu denen sich mehr als 130 Experten aus der ganzen Welt im IISB eingefunden hatten.

Darüber hinaus wurde in 2002 begonnen, die F&E-Aktivitäten im Bereich optischer Kristalle weiter auszubauen. Als Beispiel sei hier ein F&E-Vorhaben genannt, in dem es um die Entwicklung und Optimierung der Züchtung von Oxidkristallen geht, die in der Medizintechnik als Szintillatoren, z.B. in sogenannten Positron-Emissions-Tomographen eingesetzt werden.

Ferner konnte das IISB seine Stellung als Forschungseinrichtung im Gebiet der Materialforschung unter Schwerelosigkeit ausbauen. Dazu wurde ein Auftrag der Europäischen Raumfahrtagentur ESA zur Softwareentwicklung akquiriert. Damit sollen am IISB die Grundlagen dafür geschaffen werden, daß künftig materialwissenschaftliche Experimente, die im sogenannten Material Science Laboratory in der Internationalen Raumstation durchgeführt werden, mit den am IISB entwickelten Softwarewerkzeugen geplant und optimiert werden.

Die Abteilung Kristallzüchtung pflegt Kooperationen mit der Industrie in Deutschland aber auch im Ausland. Die Industriepartner waren im vergangenen Jahr in alphabetischer Reihenfolge: Astrium Space (D), Crystal Growing Systems (D), ESTEC (NI), Freiburger Compound Materials (D), Hiqtech (Ko), Komatsu (Jp), LG Siltron (Ko), MA/COM (USA), MEMC (I), Photonicmaterials (Sc), Schott Lithotec (D), Shell Siemens Solar (D), Shinetsu (Jp), Sumco (Jp), Umicore (Be), Wacker Siltronic (D), Wafertech (UK).

## Ansprechpartner

Dr. Jochen Friedrich  
Telefon: +49 (0) 9131/761-344  
Email: jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

## Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Crystal Growth

Crystal growth processes provide basic materials for many applications. The research and development of crystal growth processes is driven by the demands which come from specific applications; but in general there is a need for an increase of crystal dimensions, improved uniformity of the relevant crystal properties in the micro- and macroscale and materials with new properties.

Therefore, the focal area of research of the department of crystal growth, which is a world-wide acknowledged center of competence, is to develop – in close collaboration with industry - equipment and processes for the production of bulk crystals in order to meet the increasing requirements on crystal quality and cost reduction.

Here, the strategy of the IISB is to optimize the crystal growth processing by a combined use of experimental process analysis and computer modeling. Therefore, IISB is provided with a suitable experimental infrastructure and with highly efficient user-friendly simulation programs called CrysVUn, STHAMAS and STHAMAS3D. These computer codes, which are continuously further developed, are used for and by the industrial partners to develop crystal growth equipment and processes.

The R&D activities of the IISB in 2002 can be briefly summarized as follows:

In the traditional fields of the department, all industrial cooperations have been continued nearly on the same level despite of the economic contractions of the global market.

The confidence of the industrial partners in the IISB and its excellent scientific position in the field of crystal growth is evident from the fact that more than 130 crystal growers from all over the world came together in Erlangen at the beginning of 2002. The reason was a scientific symposium on the occasion of the 60. birthday of the head of the department, Prof. Dr. Georg Müller. By this occasion, the R&D activities carried out in Erlangen by the Department of Crystal Growth for more than two decades were illustrated.

Furthermore, the department crystal growth has spread its activities to new research areas in 2002. The IISB started in the frame of a "bmb+f" project as the only R&D institution in Germany to develop methods for the growth of gallium-nitride bulk crystals. Gallium-nitride is a strategically important material for opto-electronics as well as for RF power electronics. The blue laser diode, ultra-high brightness LEDs as well as electronic devices for the UMTS standard may serve as typical applications of nitride-based devices. However, so far no substrate crystals are available to produce devices by homoepitaxial growth in industry. Therefore, the potential of gallium-nitride is not fully tapped. Thus, there is an enormous research demand to make gallium-nitride substrates available for the device manufacturers. This was evident also from Erlangen's Nitride Days which took place in October 2002 within the framework of the annual conference of the IISB and to which more than 130 experts from all over the world came together at the IISB.

Furthermore, the IISB started in 2002 to extend its activities in the field of optical crystals. For example, a project was initiated on the development and optimization of the growth of oxide crystals which are used as scintillators in so-

called positron-emission-tomographs in medical technology.

In addition, the IISB has extended its position as research institution in the field of material science under micro-gravity conditions. An order from the European Space Agency ESA was acquired, for which the IISB will develop software programs. This will create the basis for future experiments related to material science on the International Space Station which will be planned and optimized by using the software tools developed at the IISB.

The department maintains national but also international cooperations with industry. The industrial partners currently are (in alphabetical order): Astrium Space (D), Crystal Growing Systems (D), ESTEC (NL), Freiburger Compound Materials (D), Hiqtech (Ko), Komatsu (Jp), LG Siltron (Ko), MA/COM (USA), MEMC (I), Photonicmaterials (Sc), Schott Lithotec (D), Shell Siemens Solar (D), Shinetsu (Jp), Sumco (Jp), Umicore (Be), Wacker Siltronic (D), Wafertechnology (UK).

## Contact

Dr. Jochen Friedrich  
Phone: +49 (0) 9131/761-344  
Email: jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Seit der Realisierung der blauen Leuchtdiode und des blauen Halbleiterlasers auf GaN-Basis ist die Gruppe der III/V-Nitride verstärkt ins Interesse gerückt. Treibende Kraft dafür sind die Möglichkeiten, die sich durch die Verfügbarkeit von blauem Licht ergeben. Durch hohe Sättigungsgeschwindigkeiten und Durchbruchfeldstärken sind die III/V-Nitride aber auch für Hochleistungs- und Hochfrequenzbauelemente von großem Interesse.

Die bisherigen Aktivitäten auf dem Gebiet der III/V-Nitride erstrecken sich in Deutschland vor allem auf die Herstellung von Bauelementen mittels epitaktischer Verfahren. Da im Gegensatz zu anderen Halbleitergruppen jedoch noch keine materialgleichen Substratwafer erhältlich sind, erfolgt die Epitaxie auf Fremdsubstraten, in der Regel Saphir oder SiC. Aufgrund von typischen Problemen wie schlechter Benetzung des Substrats, großer Gitterfehlpassung und unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten, sind die Epitaxieschichten stark fehlerbehaftet (hohe Versetzungsdichten, Mosaikstruktur, Rißbildung). Um diese Probleme in den Griff zu bekommen, muß technologisch ein großer Aufwand betrieben werden. So wird bei niedrigen Temperaturen eine Nukleationsschicht abgeschieden, welche die Benetzung des Substrats verbessert und dadurch das Inselwachstum unterdrückt. Für Laseranwendungen erfolgt zusätzlich eine Verminderung der Versetzungsdichte durch sogenanntes "Epitaxial Lateral Overgrowth" (ELO).

## Kristallzüchtung von GaN

Der technologische Aufwand wird sich bei einer Homoepitaxie auf GaN-Substraten erheblich reduzieren und dies bei gleichzeitig deutlich verbesserter Schichtqualität und damit verbesserter

Leistung der Bauelemente. Daher werden weltweit Anstrengungen unternommen, um Verfahren zur Bereitstellung von GaN-Substraten zu entwickeln.

Den großen Anstrengungen zum Trotz gelang es bisher nicht, ein Verfahren zu entwickeln, das die Züchtung von GaN-Massivkristallen erlaubt. Von den untersuchten Methoden ist die sogenannte "Hydride Vapor Phase Epitaxy" (HVPE), die immerhin die Herstellung einzelner Substrate erlaubt am weitesten entwickelt. Auch die Züchtung unter Höchstdrücken und gleichzeitig hohen Temperaturen (15 kbar, 1500°C) ist relativ bekannt, führte bisher jedoch nur zu plättchenförmigen Kristallen bis zu Abmessungen von ca. 1 cm.

## GaN am IISB

Seit gut einem Jahr wird am IISB in einem BMBF-Projekt (FKz. 01BM158) an der Lösungszüchtung von GaN-Massivkristallen geforscht. Ziel des Projektes ist es, einen Lösungszüchtungsprozeß zu entwickeln, der bei moderaten Drücken und Temperaturen die Herstellung von industriell relevanten Kristalldurchmessern erlaubt. Aufgrund der sehr geringen Löslichkeit von GaN in Ga-Schmelzen ist es notwendig, ein Lösungsmittel zu finden, in welchem die Löslichkeit gegenüber elementarem Ga deutlich erhöht ist. Dazu sind Untersuchungen mittels Thermogravimetrie (TG) und Differentieller Thermoanalyse (DTA) geplant. Schließlich wird eine zur Lösungszüchtung von GaN geeignete Kristallzüchtungsanlage aufgebaut werden.

Im vergangenen Jahr erfolgte der Aufbau der experimentellen Infrastruktur, besonders die Ver- und Entsorgung der notwendigen Prozeßgase. Zwei Experimentieranlagen wurden in Betrieb genommen, in denen Untersuchungen zu

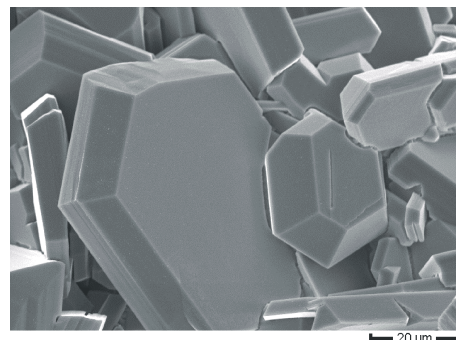


Fig. 1: GaN-Kristallite, die am IISB synthetisiert wurden;

GaN crystallites, synthesized at the IISB.

geeigneten Lösungsmitteln durchgeführt werden. Das TG/DTA-Gerät wurde mittlerweile ebenfalls beschafft und der Prototyp der GaN-Züchtungsanlage befindet sich im Aufbau.

Aus den durchgeführten Untersuchungen haben sich erste vielversprechende Kandidaten für die Lösungsmittel ergeben, die im kommenden Jahr intensiv weiterverfolgt werden. Ergebnisse der bisherigen Arbeiten waren Kristallite (Fig. 1) von bis zu 200 µm Größe. Diese wurden mittels Röntgendiffraktometrie eindeutig als GaN identifiziert (Fig. 2). Gleichzeitig gelang es auch, GaN auf SiC-Substraten orientiert aufzuwachsen. Damit sind die prinzipiellen Grundlagen für die weitere Kristallzüchtung geschaffen, die nun auf die im Aufbau befindliche Kristallzüchtungsanlage übertragen werden müssen.

## Ansprechpartner

Bernhard Birkmann  
Telefon: +49 (0) 9131 761-136  
Email: [bernhard.birkmann@iisb.fraunhofer.de](mailto:bernhard.birkmann@iisb.fraunhofer.de)



Since the realization of the blue light emitting diode and the blue semiconductor laser on the basis of GaN, there is growing interest in the group of III/V-nitrides. The reason for this are the applications, which will become possible if blue light is available. Due to the high saturation velocities and the high breakdown fields, the III/V-nitrides are also of great interest for high-power and high-frequency devices.

So far, the activities in the field of III/V-nitrides in Germany are restricted to the fabrication of devices by epitaxial methods. In contrast to other semiconductors, no substrates of the same material are available, thus epitaxy is done on heterosubstrates, usually sapphire or SiC. Because of typical problems like poor wetting of the substrate, a large lattice mismatch and different thermal expansion coefficients, the epitaxial layers are very defective (high dislocation densities, mosaic structure, cracks). In order to cope with these problems, big technological efforts are necessary: at low temperatures, a nucleation layer is deposited which enhances the wetting of the substrate and thereby suppresses the occurrence of island growth. For laser devices, the dislocation density is additionally reduced by so-called "Epitaxial Lateral Overgrowth" (ELO).

## Crystal Growth of GaN

The necessary technological efforts will be significantly reduced by performing homoepitaxy on GaN-substrates. Simultaneously, the quality of epitaxial layers and therefore the performance of the devices will improve noticeably. Hence, there are worldwide attempts to develop a method which allows the fabrication of GaN substrates.

Despite of the big efforts, no method for the growth of real bulk GaN crystals has been developed up to now. Among the examined growth techniques the so called "Hydride Vapor Phase Epitaxy" (HVPE) is the best developed method so far. The HVPE allows for example the growth of single substrates. The growth under very high pressures and high temperatures (15 kbar, 1500°C) is well established and studied, but has only led to platelet like crystals with lateral dimensions of approximately 1 cm up to now.

## GaN at the IISB

One year ago, research at IISB on the solution growth of GaN bulk crystals was started, which is funded by the German Ministry for Research (FKz. 01BM158). The aim of the project is to develop a solution growth process, which allows the growth of crystals with industrially relevant diameters under moderate pressures and temperatures. Due to the very low solubility of GaN in Ga melts, it is necessary to find a solvent in which the solubility is enhanced compared to pure Ga. Therefore, examinations using thermogravimetry (TG) and differential thermoanalysis (DTA) are planned. Finally, a suitable growth facility for the solution growth of GaN will be built. During the last year, the experimental infrastructure was installed, especially the supply and the disposal of the necessary process gases. Two smaller experimental growth furnaces were set up, in which basic examinations on suitable solvents are done. The TG/DTA device has meanwhile been delivered and the prototype of the GaN growth facility is being built.

As a result of the examinations, there are promising candidates for solvents which will be further examined in the next year. The results of the work done

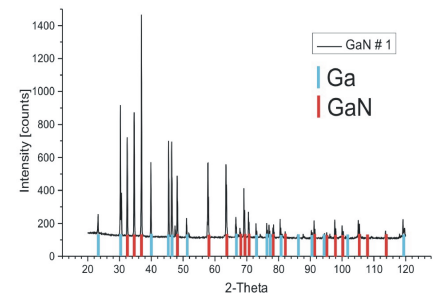


Fig. 2: Identifikation der Kristallite als GaN mittels Röntgendiffraktometrie; identification of the crystallites as GaN by X-ray diffraction.

so far are crystallites (fig.1) exhibiting an average size of up to 200  $\mu\text{m}$ . They were confirmed to be GaN by means of X-ray diffraction (fig.2). At the same time, it was possible to deposit GaN on SiC substrates in orientation.

With these results, the basis for continuing the crystal growth has been laid. The knowledge gained so far has now to be transferred to the growth set-up which is under construction.

## Contact

Bernhard Birkmann  
Phone: +49 (0) 9131 761-136  
Email: [bernhard.birkmann@iisb.fraunhofer.de](mailto:bernhard.birkmann@iisb.fraunhofer.de)

# Materialforschung unter Schwerelosigkeit am IISB

Die Materialforschung unter Schwerelosigkeit hat in Erlangen bereits eine über zwanzigjährige Tradition. Die besonderen Umstände der Schwerelosigkeit erlauben es, daß bestimmte physikalische Effekte bei der Erstarrung von Halbleitern und Metallen systematisch untersucht werden können, wie es auf der Erde so nicht möglich wäre. Die Züchtung des bisher größten GaAs-Kristalls nach dem sog. Floating-Zone-Verfahren unter Mikrogravitationsbedingungen im Rahmen der Deutschen D2-Mission durch Herrn Prof. Dr. G. Müller sei an dieser Stelle als ein eindrucksvolles Beispiel genannt.

Die Forschungsaktivitäten unter Schwerelosigkeit haben sich im Laufe der Jahre zu einem fest etablierten Zweig innerhalb der Materialwissenschaften entwickelt. Der Aufbau der Internationalen Raumstation ISS bietet dabei bisher nicht vorhandene Möglichkeiten für systematische experimentelle Untersuchungen. Das IISB selbst ist derzeit sowohl auf dem Gebiet der Grundlagenforschung als auch als Servicezentrum für andere Forschungsgruppen tätig, wobei der Schwerpunkt aller Aktivitäten bei der Entwicklung und Anwendung numerischer Werkzeuge liegt.

In dem seit nun mehr als zwei Jahren bestehenden europäischen Verbundvorhaben MICAST werden grundlegende Aspekte der Erstarrung metallischer Legierungen untersucht. Der Schwerpunkt liegt dabei bei der systematischen Untersuchung der Einwirkung des konvektiven Wärme- und Stofftransports auf die Mikrostrukturausbildung (Fig. 1). Gegenstand der sowohl experimentellen als auch numerischen Untersuchungen bilden dabei technisch relevante Aluminium-Legierungen.

Die Aufgabe des IISB liegt im wesentlichen in der Entwicklung und Anwen-

dung geeigneter Simulationswerkzeuge. Zu diesem Zweck wurde die am IISB entwickelte Software CrysVUn um geeignete Modelle zur Beschreibung der komplexen, auf mehreren Größenskalen auftretenden Phänomene erweitert. Die Anwendung dieser Simulationssoftware erlaubt die Unterstützung experimenteller Arbeiten bei der Auswahl geeigneter Parameter wie beispielsweise der Magnetfeldstärke. Weiterhin ermöglicht die numerische Simulation ein tiefgehendes Verständnis der auftretenden Phänomene während der Erstarrung.

Da die ISS in absehbarer Zeit noch nicht für materialwissenschaftliche Experimente zu Verfügung steht, sollen erste Experimente mit Hilfe von Raketenmissionen (TEXUS-Missionen) durchgeführt werden. Das erste Flugexperiment ist für das Frühjahr 2004 vorgesehen. Das Computermodell der Ofenanlage ARTEX der DLR wird derzeit am IISB entwickelt (Fig. 2).

Neben den grundlagenorientierten Aktivitäten innerhalb des MICAST-Projekts hat sich das IISB erfolgreich bei einer internationalen Ausschreibung der Europäischen Raumfahrtagentur ESA beworben. Dabei sollen geeignete Simulationsmodelle der auf der ISS geplanten Ofenanlagen erstellt werden. Die Computermodelle der Ofenanlagen sollen dabei helfen, die Entwicklungszeiten und Kosten verschiedener Ofeneinsätze deutlich zu reduzieren, sowie die Experimente auf der ISS dann besser vorzubereiten und durchzuführen. Das IISB könnte sich hier mittelfristig als User Support-Zentrum etablieren, bei dem alle europäischen experimentellen Gruppen bei der Definition und Durchführung der jeweiligen Experimente auf der ISS durch die numerische Simulation unterstützt werden.

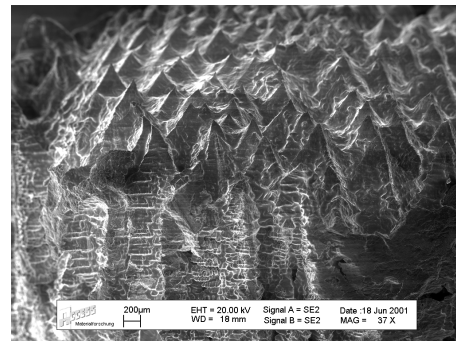


Fig. 1: Durch ein Dekantierungsverfahren erhaltene Morphologie einer dendritisch erstarrenden Aluminium-Legierung (Quelle: ACCESS e.V.); Dendritic morphology of a solidified Al alloy obtained by a decanting technique (source: ACCESS e.V.).

## Ansprechpartner

Marc Hainke

Telefon: +49 (0) 9131 761-264

Email: marc.hainke

@iisb.fraunhofer.de

# Materials Research under Microgravity Conditions

Materials research under microgravity conditions has already a more than twenty years old tradition in Erlangen. The specific conditions of microgravity allow a systematic investigation of certain physical effects during solidification of semiconductors and metals, which is not possible in this way under terrestrial conditions. An impressive example is the growth of the largest GaAs crystal by the so-called Floating-Zone method during the German D2 mission by Prof. Dr. G. Müller.

Research activities under microgravity conditions developed to a well-established branch within the field of material science during the last years. Thereby, the build-up of the International Space Station ISS offers possibilities for systematic experimental investigations which were not possible before. The IISB is actually involved in the field of basic research and acts as a service center which is supporting other research groups. In any case, the main part of the activities is the development and application of suitable numerical tools for optimizing the experiments to be carried out on board the space station.

Within the European project MICAST, fundamental aspects of the solidification of alloys are investigated. The research activities focus on a systematic analysis of the influence of convective heat and species transport on the microstructure development (fig. 1). The basis for the experimental as well as the numerical investigations are technical Al alloys.

The task of the IISB is the development and application of suitable simulation tools. For this purpose, the software package CrysVUn was extended with appropriate models for the treatment of the complex coupled phenomena during solidification appearing on dif-

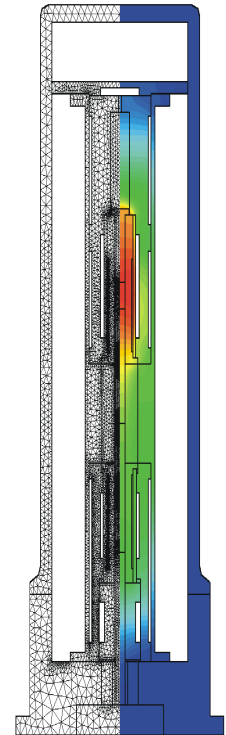
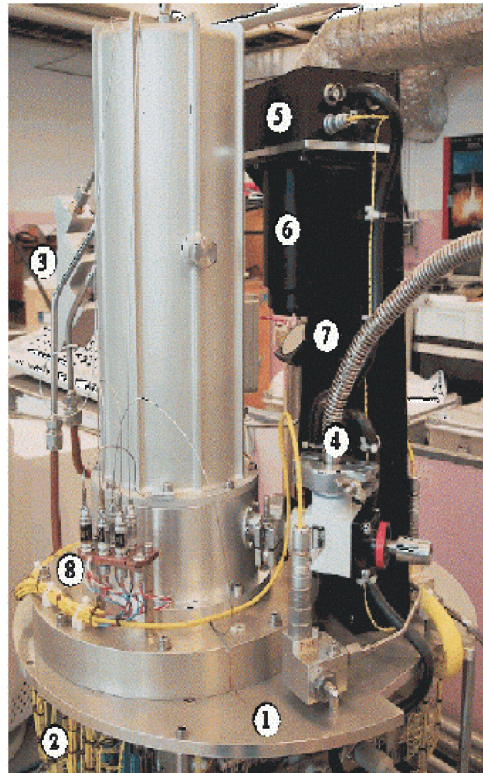


Fig. 2: ARTEX-Ofenanlage der DLR (links) und das mit CrysVUn erstellte Ofenmodell (rechts); The ARTEX facility of the DLR (left) and the furnace model developed with CrysVUn (right).

ferent length scales. By means of the simulation tool, the experimental investigations within the MICAST project are supported to define the process conditions, e.g. the magnetic field strength. Furthermore, numerical modeling gives a deeper understanding of the complex phenomena appearing during solidification.

As the ISS is not available for material-science-related experiments in the near future, the first experiments under microgravity conditions within the MICAST project are carried out with so-called sound rocket missions. The first experiment is scheduled for spring 2004. The furnace model of the ARTEX facility of the DLR which will then be launched on board the rocket is actually developed at the IISB (fig. 2).

Besides the basic research activities within the MICAST project, the IISB has successfully participated in an international call for tenders of the European

space agency ESA. The goal of this project is to develop appropriate furnace models of the planned facilities on the ISS. These models should help to decrease both costs and development time of different furnace cartridge inserts. Furthermore, experimental runs can be better prepared by the consequent application of numerical modeling. Hereby, the IISB could establish itself as a User Support Center within the next years.

## Contact

Marc Hainke  
Phone: +49 (0) 9131 761-264  
Email: marc.hainke@iisb.fraunhofer.de

# Auf dem Weg zu 500 kg schweren Silicium-Kristallen

Mit jeder neuen Generation von integrierten Schaltungen nimmt die Chipfläche zu, da die fortschreitende Miniaturisierung der Bauelemente nicht ausreicht, um die ständig steigende Zahl von Transistoren pro Chip zu kompensieren. Dies veranlaßt die Halbleiterindustrie einschließlich des Kooperationspartners Wacker Siltronic AG, Wafer mit einem Durchmesser von 300 mm für die aktuelle Chip-Produktion und bereits bis zu 450 mm im Forschungsmaßstab für künftige Generationen integrierter Schaltungen zur Verfügung zu stellen.

Während die Motivation zur Einführung von Wafern mit größerem Durchmesser hauptsächlich auf technischen Gründen basiert, wird die Vergrößerung des Gewichts der Kristalle und der damit verbundenen Größe der Schmelzvolumina im wesentlichen durch einen steigenden Kostendruck vorangetrieben. In modernen industriellen Zuchtungsanlagen können nach dem Czochralski-Verfahren Si-Einkristalle mit einem Gewicht von bis zu 450 kg aus Tiegeln mit einem Durchmesser von bis zu einem Meter hergestellt werden. Hohe Einwaagen verbessern die Ausbeute an verwertbarer Einkristallmasse deutlich. In der Vergangenheit wurden bereits große Anstrengungen unternommen, reproduzierbare Zuchtungsprozesse für Einkristalle mit großem Gewicht zu entwickeln. Dies schloß die Entwicklung von Halterungssystemen, die Verbesserung des "hot zone"-Designs sowie die Herstellung von Quarztiegeln mit großem Durchmesser in höchster Qualität ein.

Die Vergrößerung der Einwaagen bzw. Tiegeldurchmesser hat jedoch zur Folge, daß in der Schmelze durch Auftriebskräfte angetriebene, dreidimensionale, zeitabhängige und turbulente Strömungen auftreten, welche sich, verbunden mit größeren Temperatur-

fluktuationen, ungünstig auf die Stabilität der Zuchtungsbedingungen auswirken. In vielen Fällen hat diese turbulente Strömung einen ungünstigen Einfluß auf den Wärme- und Stofftransport innerhalb der Schmelze und damit auch auf die Kristallqualität. So verändert sich beispielsweise bei zeitabhängigen Strömungen im Laufe einer Züchtung die Kontaktfläche zwischen flüssigem Silicium und der Tiegelwand. Dadurch wird es schwierig, eine vorgegebene homogene Sauerstoffkonzentration über die gesamte Kristalllänge einzustellen. Weiterhin wird durch die langen Zuchtungszeiten die Tiegelkorrosion stark erhöht, was sich negativ auf die Ausbeute auswirkt.

Aus diesem Grund wurde es für die Kristallzüchtungsindustrie notwendig, neue zusätzliche Zuchtungsparameter zur Beeinflussung der Schmelzkonvektion einzuführen. So ergibt sich z.B. durch das Anlegen statischer oder alternierender Magnetfelder und durch die damit verbundene aktive Kontrolle der Schmelzströmung die Möglichkeit, die Sauerstoffkonzentration im Kristall innerhalb weiter Bereiche zu variieren. Da eine realistische numerische Simulation der Schmelzströmung in so großen Schmelzvolumina zur Zeit erst bedingt möglich ist, muß der Wärme- und Stofftransport in solchen Schmelzen weiterhin mit Hilfe geeigneter Meßtechnik experimentell untersucht werden.

Um eine weiterführende Optimierung des Si-Czochralski-Prozesses zu erreichen, hat das IISB eine geeignete Meßtechnik entwickelt, mit deren Hilfe eine exakte Analyse des Temperaturfeldes in den industriellen Zuchtungsanlagen ermöglicht wird. So kann beispielsweise die Temperaturverteilung in der gesamten Schmelze einschließlich von Meßpunkten an der Tiegelwand während eines Kristallzüchtungsprozesses ebenso experimentell bestimmt werden, wie

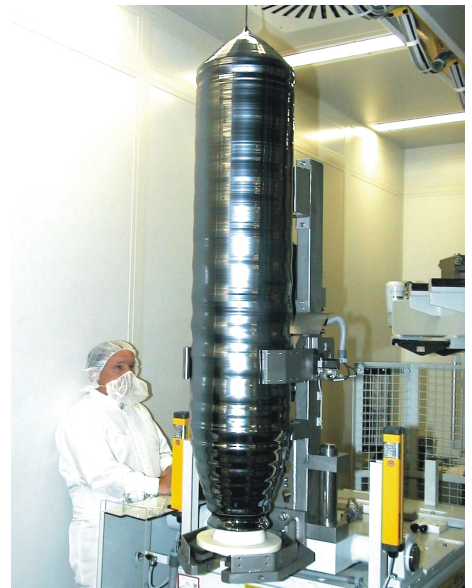


Fig. 1: 300 mm Silicium Cz-Kristall mit einer Masse von 250 kg, hergestellt von der Firma Wacker Siltronic AG aus einem Tiegel mit 82 cm Durchmesser (Quelle Wacker Siltronic); 300 mm Silicon Cz crystal with a mass of 250 kg, grown from a 32" crucible (source Wacker Siltronic AG).

die Amplitude und Frequenz von Temperaturfluktuationen nahe der Phasengrenze. Dabei kommen sowohl spezielle Thermoelement-Anordnungen als auch optische Temperatursensoren auf Basis hochtemperaturbeständiger Lichtleiter aus Saphir oder Quarzglas zur Anwendung. Die für unterschiedlichste Zuchtungsparameter erfaßten Meßwerte finden hauptsächlich für eine direkte Optimierung der Zuchtungsparameter beim industriellen Si-Czochralski-Prozess Verwendung. Weiterhin können die experimentellen Daten auch für die Verifikation, bzw. die Weiterentwicklung von numerischen Simulationsmodellen herangezogen werden, was ebenfalls einen Schwerpunkt der F&E-Arbeiten des IISB darstellt.

## Ansprechpartner

Oliver Gräbner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-226  
Email: oliver.graebner@iisb.fraunhofer.de



# On the Way to Silicon Crystals with a Weight of 500 kg

With every new generation of integrated circuits, the chip size has been increasing, because the progressive miniaturization of devices is not sufficient to compensate the steadily increasing number of devices per chip. This pushes the semiconductor industry, including the crystal supplier Wacker Siltronic AG, to provide wafers with a diameter up to 300 mm in production and currently 400 mm or 450mm for research, which are required for today's as well as for future generations of advanced large-scale integrated circuits.

Whereas the motivation for the changeover from small to large wafer diameters has been originally driven by technical reasons, the increasing size of silicon crystals and the corresponding size of the melt volumes is mainly caused by the aim of cost reduction. Semiconductor industry is expecting essential economical advantages due to the changeover from growth processes from crucibles with a small diameter to larger melt volumes. In modern industrial growth facilities, silicon crystals with a weight up to 450 kg can be grown by the Czochralski method in crucibles with a diameter up to one meter. Large charge weights are essential to improve the ratio of poly-crystal-line charge weight and useable single-crystal weight. In the past, big efforts have been made to realize reproducible growth processes of heavy crystals from large melt volumes as for instance the development of supporting systems, low-power hot zones and the manufacturing of large diameter and high-quality silica crucibles.

However, large ingots cause the melt flow, which is driven by buoyancy forces, to be three-dimensional, time-dependent and turbulent what means higher temperature fluctuations inside the melt resulting in more unstable

growth conditions. In most cases, this has a detrimental effect on heat and mass transfer and thereby on the crystal quality. Additionally, an unstable melt flow varies the contact area between liquid silicon and silica crucible during a growth run, whereas it became difficult to adjust a homogenous oxygen concentration along the whole crystal length in the required level. Moreover, long runtimes and high power levels necessary for large melt volumes enlarge crucible corrosion and deformation what leads to a decreased yield.

Therefore, it has become necessary for the semiconductor industry to develop new types of process parameters like the application of static and alternating magnetic fields which give a suitable possibility to adjust the oxygen concentration in a required range by controlling the melt flow. However, a realistic numerical simulation of the melt flow in such large melt volumes is at a beginning stage and only partly possible at the moment. For that reason, the heat and mass transfer in such melts still has to be investigated experimentally using appropriate sensor equipment.

In order to achieve a further improvement of the Si-Czochralski process, the IISB has developed appropriate measuring equipment to carry out a precise analysis of the temperature field in large-scale crystal growth facilities. Temperature distributions within all parts of the silicon melt including the crucible wall as well as temperature fluctuations can be detected during a crystal-growth run using special thermocouple arrangements and fiber-optical temperature sensors made from sapphire or silica. The experimental data obtained for different growth parameters are primarily used for an optimization of the crystal-growth process. Furthermore, the data can be useful for

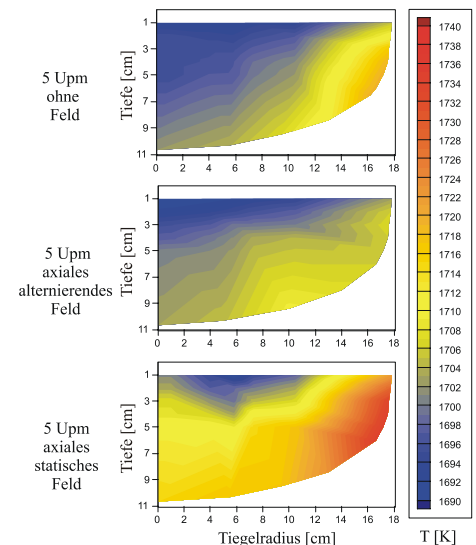


Fig. 2: Experimentell bestimmte Temperaturverteilung in einem Tiegel mit 36 cm Durchmesser für unterschiedliche Magnetfeldtypen; Measured temperature distribution in a 14" crucible during a crystal growth for different types of magnetic fields.

verification and development of numerical models, which is a part of the work of the IISB as well.

## Contact

Oliver Gräbner  
Phone: +49 (0) 9131 761-226  
Email: [oliver.graebner@iisb.fraunhofer.de](mailto:oliver.graebner@iisb.fraunhofer.de)

# Züchtung von $\text{CaF}_2$ -Kristallen für optische Anwendungen

## Einleitung

In der optischen Lithographie kommen immer kleinere Wellenlängen zum Einsatz, um die Packungsdichte von elektronischen Bauelementen auf dem Silicium-Chip zu erhöhen. In den Abbildungssystemen (Waferstepper) der nächsten Generationen wird ein  $\text{F}_2$ -Laser mit einer Wellenlänge von 157 nm eingesetzt. Hochreines einkristallines Kalziumfluorid ( $\text{CaF}_2$ ) hat hervorragende Transmissionseigenschaften in diesem Spektralbereich und ist deshalb als optisches Material für diese Lithographiegeneration vorgesehen. Die Anforderungen an das Material für diese optische Anwendung sind extrem hoch. Die Züchtung von großen  $\text{CaF}_2$ -Kristallen mit den geforderten Eigenschaften ist nur durch Optimierung des Züchtungsprozesses mit Hilfe der numerischen Simulation möglich. Besonders wichtig ist die Verifikation von numerischen Modellen anhand von gemessenen Temperaturverteilungen in  $\text{CaF}_2$  während des realen Züchtungsprozesses. Die Temperaturmessungen in  $\text{CaF}_2$  sind wegen der hohen Korrosivität und hohen Temperaturen aber äußerst schwierig.

## Experiment

Um die Temperaturmessungen in der Schmelze und im Kristall während der Züchtung zu realisieren, wurde eine neue Messtechnik entwickelt. Die Messungen wurden in der speziellen F&E-Anlage am IISB durchgeführt. Der prinzipielle Aufbau der Meßeinheit ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Ein einseitig geschlossenes Schutzrohr wird vor der Beschickung in den Tiegel eingeführt. Der Tiegel wird anschließend mit dem  $\text{CaF}_2$ -Pulver befüllt. Nach dem Aufschmelzen des Ausgangsmaterials wird der Züchtungsprozess gestartet. Das Schutzrohr bleibt während der ge-

samten Züchtung in  $\text{CaF}_2$  eingebettet. Durch Verschiebung eines Thermoelements innerhalb des Schutzrohres können *in-situ*-Temperaturmessungen sowohl in der Schmelze als auch im Kristall realisiert werden. Diese neu entwickelte Meßtechnik ermöglicht Messungen an vielen Punkten während der gesamten Züchtung mit einem einzigen Thermoelement.

## Ergebnisse

Temperaturmessungen wurden zu unterschiedlichen Züchtungsstadien durchgeführt, d.h. bei unterschiedlichen Positionen der Phasengrenze. Die in Fig. 2a dargestellten Temperaturprofile repräsentieren den gesamten Züchtungsprozess. Das erste Temperaturprofil wurde zu Beginn des Wachstums gemessen, bei dem sich im Tiegel überwiegend die Schmelze befand. Das zweite Profil wurde in der Mitte der Wachstumsphase gemessen und zeigt die Temperaturverteilung sowohl in der Schmelze als auch im Kristall. Die letzte Messung wurde nach der vollständigen Kristallisation durchgeführt und liefert die Temperaturverteilung ausschließlich im Kristall. Wie man in Fig. 2 gut erkennen kann, sind alle Temperaturprofile in der  $\text{CaF}_2$ -Region linear. Der axiale Temperaturgradient ist identisch für alle Profile und ist unabhängig von der Position der Phasengrenze. Das bedeutet, daß der axiale Temperaturgradient in der Schmelze und im Kristall identisch ist.

Eine genaue Berechnung des Wärmetransports und der Temperaturverteilung in der Schmelze und im Kristall ist nur unter Verwendung von einem geeigneten numerischen Modell möglich. Der Wärmetransport durch Strahlung in semitransparenten Medien wird in der Literatur oft mit der sog. Diffusionsnäherung beschrieben, bei der die Strahlung durch eine effektive Wärme-

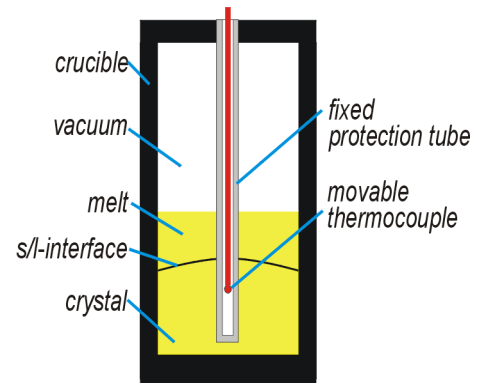


Fig. 1: Schematische Darstellung des Tiegels mit der Meßeinheit für die Temperaturmessung im  $\text{CaF}_2$ -Kristall und in der Schmelze; A principle sketch of the crucible with equipment for temperature measurements in the  $\text{CaF}_2$  crystal and melt.

leitfähigkeit berücksichtigt wird. Um die Genauigkeit der Simulation zu erhöhen, wurde im Kristalllabor ein verbessertes Modell entwickelt, in dem der Strahlungsanteil im Wärmetransport direkt berechnet wird. Die mit der Diffusionsnäherung und dem verbesserten Modell erzielten numerischen Ergebnisse sind in Fig. 2b dargestellt. Das verbesserte Modell liefert eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit dem Experiment hinsichtlich des Temperaturfeldes in  $\text{CaF}_2$  und der Position der Phasengrenze. Die Abweichungen auf der Temperaturskala liegen unter 1%.

## Ansprechpartner

Alexander Molchanov  
Telefon: +49 (0) 9131 761-225  
Email: alexander.molchanov@iisb.fraunhofer.de

# Growth of High-quality CaF<sub>2</sub> Crystals for Optical Applications

## Introduction

Optical photolithography uses shorter wavelengths to produce more densely packed electronic circuits on the silicon chips. To obtain this performance, F<sub>2</sub> lasers with a wavelength of 157 nm will be used in the so-called wafer steppers. At this wavelength, high-purity single-crystalline calcium fluoride (CaF<sub>2</sub>) has excellent transmission characteristics. It is therefore selected as the main optical material for the next generation of lithography equipment. For this optical application, the material requirements are extremely high. CaF<sub>2</sub> single crystals with the required properties and large dimensions can only be grown by an optimization of the crystal growth process by means of numerical simulation. It is very important to evaluate the numerical model by accurate measurements of the temperature distribution in CaF<sub>2</sub> during the crystal growth process. The measurements turn out to be quite difficult due to the highly corrosive properties of CaF<sub>2</sub> at higher temperatures.

## Experimental

In order to obtain experimental data inside the melt as well as inside the solid phase, we developed a new measurement technique. The measurements were carried out in a special Bridgman-type R&D growth facility at the IISB. The experimental set-up used for the novel temperature measurements is schematically shown in fig. 1. A protection tube with a closed bottom side was installed inside the crucible and thus arranged along the symmetry axis. This tube was embedded in the raw CaF<sub>2</sub> powder before starting the melting process. After melting of the raw material, the growth process was started. The protection tube remained fixed during the whole crystal growth

and enabled in-situ detection of temperatures in liquid as well as in solid regions by moving a thermocouple inside the tube. Furthermore, the thermocouple equipment was protected by the tube against the highly corrosive environment. This measurement technique yields temperature data many reading points throughout the whole growth process by using only one single temperature sensor.

## Results

Temperature measurements along the symmetry axis were performed at different growth stages, i.e. at different positions of the solid-liquid interface. The obtained temperature profiles, shown in fig. 2a, represent the entire growth process. The first temperature profile was measured at the beginning of the growth process. It mainly shows the temperature distribution in a large melt region. The second one, obtained in the middle of the growth run, gives the temperature distribution in the liquid as well as in the solid region. The third temperature profile, performed after entire crystallization, shows the temperature distribution in the crystal. As can be seen from fig. 2a, all measured temperature profiles inside CaF<sub>2</sub> show a linear dependence. The axial temperature gradient is equal for all temperature profiles, measured at different growth stages. This indicates that the axial temperature gradient in CaF<sub>2</sub> does not depend on the position of the solid-liquid interface. It is remarkable that the temperature gradient in the melt and in the crystal is identical.

The precise calculation of heat transport and temperature distribution in solid and liquid CaF<sub>2</sub> during crystal growth requires the application of a suitable quantitative numerical model. The radiative heat transfer in semi-

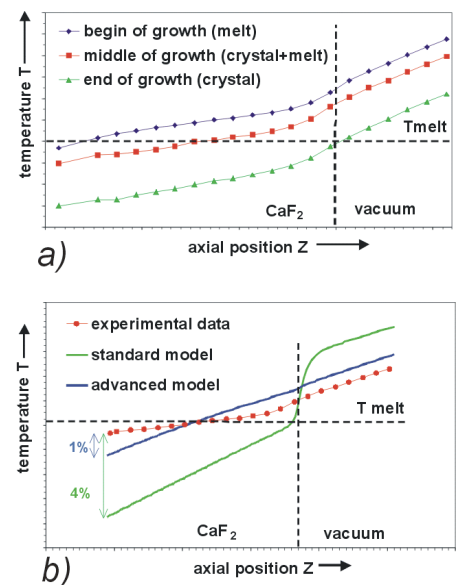


Fig. 2: Gemessene (a) und berechnete (b) Temperaturverteilungen in CaF<sub>2</sub> entlang der Symmetrieachse; Measured (a) and calculated (b) temperature profiles in CaF<sub>2</sub> along the symmetry axis.

transparent media is often described by the so-called "diffusion-approximation". This model takes into account internal radiation by adding one further term to the heat conductivity. In order to improve the accuracy of the numerical results, we developed an advanced model where the radiative part of the heat transport in CaF<sub>2</sub> is directly calculated instead of the approximation used in the standard diffusion model. Numerical results of the temperature distribution in the CaF<sub>2</sub> region are shown in fig. 2b. The advanced model gives a better agreement with experimental data concerning the temperature field in the CaF<sub>2</sub> region and the position of the solid-liquid interface. The deviations of the absolute temperatures are less than 1%.

## Contact

Alexander Molchanov  
Phone: +49 (0) 9131 761-225  
Email: alexander.molchanov@iisb.fraunhofer.de

# Trends bei der Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen

Die Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen erfordert aufgrund der Vielzahl von Materialien und Herstellungsprozessen die Berücksichtigung unterschiedlichster physikalischer Phänomene und numerischer Verfahren. Im Folgenden wird versucht, die mittelfristig wichtigsten weiteren Entwicklungsschritte im Bereich der Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen kurz darzustellen.

## Verwendung von Soft-Computing-Ansätzen

Unter dem Begriff "Soft-Computing" werden Algorithmen zusammengefasst, die nicht unbedingt exakte Lösungen liefern können, u.U. aber in einfacher und effizienter Weise Näherungen. Einsatzbereiche sind Probleme, die aufgrund ihrer Komplexität nicht analytisch beschreibbar sind. Beispiele für Soft-Computing-Ansätze sind "fuzzy systems", neuronale Netze und evolutionäre Algorithmen. Gegenwärtig wird gemeinsam in den Abteilungen Technologiesimulation und Kristallzüchtung am Einsatz genetischer Algorithmen zur Optimierung von Prozess- oder Anlagenparametern gearbeitet. Dabei ist es das Ziel, eine universell einsetzbare Optimierungs-Software mit Schnittstellen zu den am Institut eingesetzten Simulationsprogrammen zu entwickeln.

## Verbesserung der Modellierung der Wärmestrahlung

Aufgrund der hohen Temperaturen bei Kristallzüchtungsprozessen spielt die Wärmeübertragung durch Strahlung eine herausragende Rolle. Diese kann durch die Berechnung der Sichtfaktoren zwischen strahlenden Oberflächen modelliert werden, wenn nur Materialien vorliegen, welche entweder als voll-

ständig opak oder vollständig transparent angenommen werden können. Eine weitere Einschränkung stellt die Annahme diffuser Reflexion dar, welche z.B. an Metalloberflächen nicht gerechtfertigt ist. Die zunehmende Bedeutung optisch partizipierender Materialien (z.B. optische Kristalle für Laser, Szintillatoren,...) erfordert jedoch die Entwicklung leistungsfähigerer Modelle. Hier geht der Trend zur Adaption von bereits im Bereich der Computergraphik vorhandenen Methoden. Vielversprechend erscheint hier der Einsatz Raytracing-basierter Verfahren, welche die Berücksichtigung aller relevanten physikalischen Phänomene ermöglichen. Ein solcher Weg wird in der Abteilung Kristallzüchtung bei der Entwicklung eines neuen 3D-Programms verfolgt.

## Mehrskalen-Modellierung

Aufgrund der steigenden Rechenleistung rückt die Modellierung sogenannter Mehrskalen-Probleme zunehmend in den Bereich des Möglichen, d.h. Probleme, bei denen auf stark unterschiedlichen räumlichen oder zeitlichen Skalen ablaufende Prozesse zu berücksichtigen sind. Ein Beispiel für unterschiedliche Zeitskalen ist die Modellierung der Defektbildung im wachsenden Kristall, welche auf einer wesentlich kleineren Zeitskala als das Temperaturfeld modelliert werden muss. Stark unterschiedliche räumliche Skalen hingegen sind bei der Hinzunahme detaillierter Wachstumsmodelle (Dendritenbildung, Kornwachstum, Facettenbildung, ...) innerhalb einer globalen thermischen Simulation zu berücksichtigen. Hier ist die Abteilung Kristallzüchtung sowohl bei der Defektbildung in Silicium, bei der Versetzungsmodellierung sowie bei der Modellierung der Mikrostruktur von metallischen Legierungen aktiv.

## Kopplung 2D - 3D

Bei der Züchtung von Silicium nach dem Czochralski-Verfahren ist es z. B. ausreichend, die globale Temperaturberechnung der Züchtungsanlage mit einem axialsymmetrischen Modell vorzunehmen. Andererseits hat sich aber die Erkenntnis durchgesetzt, daß dies für die die Züchtung wesentlich beeinflussenden konvektiven Vorgänge in der Schmelze nicht zutrifft, so daß eine Kopplung der axialsymmetrischen Beschreibung der Ofenanlage mit lokalen 3D-Modellen der Schmelze erforderlich ist. Die Abteilung Kristallzüchtung hat diesbezüglich bereits die Entwicklung der im Hause entwickelten 2D- und 3D-Programme begonnen.

## Parallelisierung

Die aktuelle Liste der 500 schnellsten Computer der Welt ([www.top500.org](http://www.top500.org), Dez. 2002) enthält bereits 93 Cluster. Für die Softwareentwicklung ergibt sich daraus die Forderung, daß neue Programme von Anfang an strukturell so ausgelegt werden müssen, daß Berechnungen effektiv auf diesen vergleichsweise billigen Clustern, bzw. in heterogenen Netzwerken von PCs, wie in Firmen und Instituten vorhanden, laufen müssen. Software-seitig hat die Abteilung Kristallzüchtung die Voraussetzungen für das Parallel Computing geschaffen, in dem es sowohl den 3D-Strömungssimulator STHAMAS3D als auch die Viewfaktorberechnung im 2D-Programm CrysVUn parallelisiert hat.

## Ansprechpartner

Dr. Thomas Jung  
Telefon: +49 (0) 9131 761-272  
Email: [thomas.jung@iisb.fraunhofer.de](mailto:thomas.jung@iisb.fraunhofer.de)



# Trends in the Modeling of Crystal Growth Processes

Due to the diversity of materials and different processes, the modeling of crystal growth processes requires to regard very different physical phenomena and the application of as different numerical methods. An attempt will be made to depict currently ongoing and coming developments and fields of activity in the field of modeling of crystal growth processes.

## Application of "Soft-computing" Approaches

The term "soft-computing" embraces algorithms which do not necessarily result in exact solutions, but eventually yield approximations in a simple and efficient way. Applications are problems which due to their inherent complexity have no analytic description. Examples for soft-computing approaches are fuzzy logics, neural networks and evolutionary algorithms. The departments for technology simulation and crystal growth are cooperating on the use of genetic algorithms for the optimization of process parameters. This cooperation is aiming at the development of a universally applicable optimization software with interfaces to the software packages which are in use at the institute.

## Improvements of the Modeling of Thermal Radiation

Due to the high temperatures in crystal-growth processes, heat transfer by radiation plays an important role. It can be modeled using the view-factors method if there are only materials which can be considered either as completely opaque or as completely transparent. An additional necessary assumption is diffuse reflection, which e.g. at metallic surfaces is not justified. The increasing importance of optically

participating media (e.g. optical crystals for lasers, scintillators, ..) requires the development of more capable models. Here is a trend towards the adaptation and further development of methods which have already been developed in the field of computer graphics. Ray-tracing-based algorithms seem to be promising, as they allow inclusion of all relevant physical phenomena with relative ease. Such an approach is currently being realized in the department for crystal growth in the development of a new 3D simulation program.

## Multi-scale Modeling

With increasing computational power, the modeling of multi-scale problems is becoming possible. This means, that processes taking place on very different spatial or time scales have to be taken into account within one model. An example for diverse time scales is the modelling of defect formation in a growing crystal, which has to be modelled on a much smaller time scale than e.g. the variations of the thermal field. On the other hand, very diverse spatial scales have to be considered when taking into account detailed growth models (formation of dendrites, grains, facets, ...) within a global thermal simulation of a furnace. In this field, the department of crystal growth is active in the modeling of defect and dislocation formation in silicon and the modeling of the microstructure of metallic alloys.

## Coupling of 2D and 3D Codes

Especially considering the growth of silicon by the Czochralski process, it is completely sufficient to perform the global modelling of temperature within the furnace using an axisymmetric model. On the other hand, it has become obvious that this is not correct for the convective processes within the

melt, which have a significant influence on the growth of the crystal. This suggests the coupling of a global axisymmetric temperature model with a detailed three-dimensional model of the melt, which is currently worked on in the department of crystal growth.

## Parallelization

The current list of the top 500 computers in the world ([www.top500.org](http://www.top500.org), Dec. 2002) lists already 93 clusters, with increasing tendency, among them 14 which are titled as "self-made". Concerning software development, this leads to the requirement that new projects should be designed from the very beginning such that computations can be performed effectively and easily on such relatively cheap self-made clusters as well as on heterogeneous networks as they are generally available in institutes and companies. The department for crystal growth has provided prerequisites for parallel computing by parallelizing the 3D flow simulator STHAMAS3D and the computation of view factors in the 2D code CrysVUN.

## Contact

Dr. Thomas Jung  
Phone: +49 (0) 9131 761-272  
Email: [thomas.jung@iisb.fraunhofer.de](mailto:thomas.jung@iisb.fraunhofer.de)

# Leistungselektronische Systeme

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme

Ziel der Abteilung ist die Entwicklung innovativer leistungselektronischer Schaltungs- und Systemlösungen für die Stromversorgungs- und Antriebstechnik. Die positive Entwicklung der Abteilung und mit ihr des neuen Geschäftsfelds »Leistungselektronik & Mechatronik« konnte im Jahr 2002 fortgesetzt werden.

Nach eineinhalb Jahren des personellen und gerätetechnischen Aufbaus, mit Investitionen von rund 1 Mio. € aus Mitteln der HighTech-Offensive Zukunft Bayern und dem FhG-Strategiefond, steht nun am IISB ein hochmodernes Entwicklungslabor für Leistungselektronik zur Verfügung. Die Ausstattung reicht von der Chip-Montagetechnik über umfangreiche elektrische und thermische Meßtechnik, EMV- und Klimaprüftechnik bis hin zu Simulatoren für die elektrische, elektromagnetische und thermische Systemanalyse. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, um neue Konzepte nicht nur theoretisch zu entwickeln, sondern diese auch in Prototypen und Demonstratoren umsetzen und umfassend charakterisieren zu können.

Aufbauend auf einem engagierten Team unter der Leitung von langjährig industrieerfahrenen Mitarbeitern konnte die Abteilung ihre starke Position im Bereich leistungselektronischer Systeme für Kraftfahrzeuge weiter ausbauen. Dies spiegelt sich in der erfolgreichen Akquisition von einer Reihe sehr innovativer bilateraler Projekte mit Automobilherstellern und Zulieferern und in mehreren Erfindungs-/Patentanmeldungen wieder.

Die Messeauftritte mit jeweils eigenem Stand auf den Fachmessen PCIM und SPS/IPC/DRIVES, die Beteiligungen am

Gemeinschaftsstand des BKM auf der Hannovermesse und am HighTech Christkindlesmarkt der Region Nürnberg im Europäischen Parlament in Brüssel haben neben den Aktivitäten im Rahmen des Unternehmensnetzwerks Leistungselektronik (NICE) dazu beigetragen, das IISB als Kompetenzzentrum für Leistungselektronik sowohl in der Region als auch in Wirtschaft und Politik bekannt zu machen. Das vom IISB mitinitiierte Unternehmensnetzwerk Leistungselektronik (NICE), mit inzwischen mehr als 45 Unternehmen aus der Region, konnte in den Verein EnergieRegion Nürnberg e.V. eingegliedert und damit auf eine dauerhaft solide wirtschaftliche Basis gestellt werden. In Kooperation mit dem Verein wird das IISB mit Beginn des Jahres 2003 eine regelmäßige Reihe von Fachseminaren zu ausgewählten Themen aus der Leistungselektronik anbieten. Ein wichtiges Thema im Zusammenhang mit Leistungselektronik ist die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen als wichtigste globale Umweltaufgabe. Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Verkehrstechnik und hier speziell der Entwicklung extrem emissionsarmer Kraftfahrzeuge zu. Unabhängig davon, ob derartige Fahrzeuge künftig über Brennstoffzellen oder mittels weiter optimierter Verbrennungsmotoren und unter Einsatz erneuerbarer Brennstoffe angetrieben werden, Leistungselektronik wird bei allen zukünftigen Antriebskonzepten eine entscheidende Rolle spielen.

Von einer Arbeitsgruppe der SAE (Society for Automotive Engineers) wurden u.a. folgende Technologieschwerpunkte für die Automobiltechnik identifiziert, für die bis zum Jahr 2010 dringende Lösungen zu entwickeln sind: Hocheffiziente leistungselektronische Systeme mit extrem hoher Leistungsdichte, hochtemperaturfeste und zuverlässigere Elektroniksysteme, EMV-Management und neue Verbindungstechniken, extrem verlustarme Leis-

tungshalbleiter und Leistungs-ICs. Diese Aufgabenstellungen definieren zugleich auch die zukünftigen Schwerpunkte der Arbeiten im Geschäftsfeld Leistungselektronik am IISB.

Im Rahmen der Auditierung des Instituts wurde diese Ausrichtung des Geschäftsfelds Leistungselektronik bestätigt und der weitere Ausbau des Kompetenzzentrums empfohlen. Bedauerlicherweise findet sich die Leistungselektronik – trotz ihrer überragenden Bedeutung für Zukunftsthemen wie Energieeinsparung, Verkehrstechnik oder Maschinenbau/Robotik und trotz der großen zu bewältigenden technologischen Herausforderungen – nicht mehr unter den Förderschwerpunkten des BMBF oder im 6. Rahmenprogramm der EU. Umso mehr unterstützt das IISB aktiv eine Initiative der Industrie für ein »European Center for Power Electronics« (ECPE). Ziel dieser geplanten Vereinigung von Industrieunternehmen ist u. a. die Erarbeitung von technologischen Roadmaps und darauf aufbauend die Förderung von Forschungsarbeiten zu den als »Road blocks« identifizierten Themen. Nach umfangreichen Vorarbeiten fand Anfang Dezember 2002 das ECPE Kick-off Meeting statt, bei dem die anwesenden Vertreter von mehr als 20 großen europäischen Unternehmen ihre aktive Unterstützung für diese Initiative erklärten. Es wird eine der großen Herausforderungen im kommenden Jahr sein, das ECPE erfolgreich auf den Weg zu bringen, und das IISB als eines der europäischen »Centers of Competence« des ECPE zu etablieren.

Ansprechpartner

Dr. Martin März  
Telefon: +49 (0) 9131 761-310  
Email: martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

## Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Power Electronic Systems

Objective of the department is the development of innovative power electronic circuit and system solutions for power conversion and drives. The successful development of the department and with it of the new business field »power electronics & mechatronics« could be continued in the year 2002.

After one and a half year of build-up in personnel and equipment, with investments of about 1 mio. € from the »HighTech-Offensive« of the state of Bavaria and the FhG strategic investment fund, a modern power electronics laboratory is available now at the IISB. The equipment comprises chip assembly machines, extensive electrical and thermal measuring equipment, EMC and climate test equipment, as well as simulators for the electrical, electro-magnetic and thermal system analysis. All prerequisites are thus established with develop innovative solutions not only in theory, but also to realize prototypes and demonstrators and to characterize them extensively.

Based on a young and motivated team coached by colleagues with long-term industry experience, the department could further improve its strong position in power electronic systems for automotive applications. This is confirmed by the successful acquisition of a number of very innovative bilateral projects with automotive manufacturers and suppliers.

Presentations of the IISB at the PCIM and SPS/IPC/Drives trade fairs, participations on the BKM booth at the »Hannover Messe« and on the »HighTech-Christkindlesmarkt« of the Nuremberg region in the European parliament in Brussels gave the IISB an ex-

cellent reputation in business world and politics as a center of competence for power electronics.

The regional business network for power electronics (NICE), initiated by the IISB and with currently more than 45 member enterprises, could be incorporated into the EnergieRegion Nuremberg, a registered association, and thus was and set on a solid economic base. In cooperation with the EnergieRegion Nuremberg organization, the IISB will offer regular seminars about selected topics on power electronics under the label »peak seminars«, starting at the beginning of 2003.

An important topic with respect to power electronics is the reduction of the CO<sub>2</sub> emissions as the most important global environmental protection task. In this context, transportation engineering and here especially the development of ultra-low emission vehicles is of central importance. Independent of whether such vehicles are operated by fuel cells or by means of further optimized combustion motors using renewable fuels, power electronics will play a decisive role with any future vehicle concept. The fundamentals of modern traction solutions are mechatronically integrable multi-kilowatt frequency converter, intelligent actuators and ultra-highly efficient power converters. Although the basic principles of such power electronic systems are already well-known, the extreme requirements of automotive applications with respect to costs, operating temperature, reliability, weight and size still cause enormous research efforts necessary on the way to intelligent power electronic systems which are cost-competitive to today's low-performance mechanical solutions. A working group of the SAE (Society for Automotive Engineers) identified among others the following technologies for automotive applications, for which it is

absolutely necessary to develop solutions until the year 2010: Highly efficient power electronic systems with ultra-high power density, high-temperature electronics, more reliable systems, EMI management, new packaging and interconnecting techniques, ultra-low loss power semiconductor devices and power ICs. These topics also define the future focal research areas in the business field of power electronics at the IISB.

As a result of the external audit of the institute, the strategy of the power electronic systems department has been confirmed and a further expansion of the department was recommended.

Unfortunately, neither the BMBF nor the EU promote power electronics as a focal research area - despite its importance for future topics like energy saving, transportation systems, robotics and despite the enormous technological challenges. Furthermore, the IISB actively supports an initiative of the industry for an »European Center for Power Electronics« (ECPE). One of the aims of this association of industry companies is to develop technological roadmaps and to promote research on identified »road blocks«. After extensive preparations, the ECPE kick-off meeting took place in December 2002. Representatives of more than 20 large European companies declared their active support of this initiative. It will be one of our challenges in 2003 to bring the ECPE on the way successfully and to establish the IISB as one of the European "Centers of Competence" of this organization.

## Contact

Dr. Martin März  
Phone: +49 (0) 9131 761-310  
Email: martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

# Neue Ansteuerlösungen für Leistungshalbleiter

## Einführung

Effiziente leistungselektronische Systeme basieren heute auf dem Einsatz von Leistungshalbleitern, wie z. B. MOS-Transistoren oder IGBTs. Sie agieren dort als elektronisch zu steuernde Schalter für hohe Spannungen und Ströme. Die Steuerinformation wird hierbei von einer übergeordneten digitalen Steuereinheit, z. B. einem Microcontroller, zur Verfügung gestellt. Aufgrund der zur Ansteuerung erforderlichen Leistung und Spannungspegel ist eine direkte Ansteuerung mittels Microcontroller nicht möglich. Für einen Leistungs-IGBT mit 500 A Nennstrom und 1200 V Nennspannung sind zum Beispiel bei einer Schaltfrequenz von 10 kHz, aufgrund der umzuladenden Gateladungen, typischerweise ca. 0,7 W Ansteuerleistung erforderlich. Dies bedeutet, daß zwischen Microcontroller und Leistungsschalter eine zusätzliche Ansteuerschaltung (Treiber) benötigt wird. Neben der primären Aufgabe, ausreichend Ansteuerleistung mit geeigneten Spannungspegeln bereitzustellen, hat der Treiber eine Vielzahl weiterer Aufgaben. Beispielsweise sind umfassende Schutzfunktionen notwendig, damit der Leistungsschalter im Fehlerfall innerhalb weniger Mikrosekunden abgeschaltet werden kann. Zudem ist bei vielen Anwendungen mit hoher Spannung eine galvanische Trennung zwischen Steuereinheit und Leistungsschalter notwendig. Manchmal müssen erkannte Fehlerzustände auch an die Steuereinheit zurückgemeldet werden.

## Aufbau einer Treiberschaltung

Es gibt heute im wesentlichen zwei gebräuchliche Verfahren, um Leistungshalbleiter im Sperrspannungsbereich von 600 V - 1700 V anzusteuern - also sowohl Information als auch Energie

über eine hohe elektrische Isolationsbarriere zu transportieren. Zum einen, eine Kombination aus optischer Informationsübertragung und induktiver Energieübertragung. Zum anderen die induktive Übertragung von Information und Energie über getrennte Pfade. Dieser Ansatz erfordert zwei magnetische Kerne und ist somit sowohl teuer als auch großvolumig.

## Neuartiges Übertragungsverfahren

In Fig. 1 ist das Blockschaltbild der am IISB entwickelten Ansteuerschaltung dargestellt. Es beinhaltet eine primäre und eine sekundäre Seite, die mittels eines einzigen Transformators galvanisch voneinander isoliert sind. Auf der Primärseite geschieht die Codierung der Schaltinformation und Ansteuerung des Transformators. Die Sekundärseite beinhaltet eine Einheit zur Decodierung der Schaltinformation, eine Leistungsstufe zur Ansteuerung des Leistungsschalters, einen Schaltungsteil zur Bereitstellung der Betriebsspannungen sowie eine Diagnoseeinheit zur Kurzschlußerkennung. Mittels geeigneter Modulation eines hochfrequenten Schaltzyklusses ist dann sowohl eine Energie- als auch Informationsübertragung über einen einzigen Transformator möglich. Gegenüber herkömmlichen Ansteuerverfahren, die meist auf einer Impulsübertragung basieren - also der Übertragung der Änderung des Schaltzustandes - ergeben sich durch die kontinuierliche Modulation zwei wesentliche Vorteile: Erstens wird hierdurch nicht die Änderung des Schaltzustandes, sondern der Schaltzustand selbst - also die Information IGBT - "Ein" oder IGBT - "Aus" - übertragen. Somit kann die Wirkung eventueller kurzzeitiger Störungen stark vermindert und die Störungsimmunität vergrößert werden. Zweitens erlaubt die hohe Schaltfrequenz den Einsatz sehr kleiner Transformatoren zur Energieübertra-

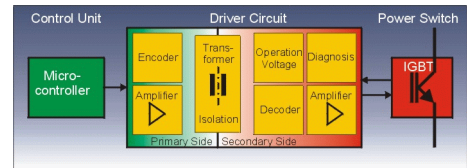


Fig. 1: Blockschaltbild einer Treiberschaltung; Block diagram of a driver circuit.

gung.

## Ergebnis und Ausblick

Das neue Treiberkonzept wurde bereits in verschiedenen Prototypenapplikationen erfolgreich eingesetzt. Hierbei stand es besonders beim Einsatz in intelligenten Leistungsmodulen für den Automobilbereich unter besonderen Anforderungen hinsichtlich hoher Umgebungstemperaturen (>125°C) und Störeinflüsse. Fig. 2 zeigt die aktuelle Entwicklung mit einem Leiterplattentransformator. In Zusammenarbeit mit einem Industriepartner wird derzeit an der weiteren Integration der Schaltung in einen ASIC-Chipsatz für Primär- und Sekundärseite gearbeitet. Ziel ist die Entwicklung eines kostengünstigen, universell einsetzbaren Treibermoduls. Dies soll ein möglichst geringes Bauvolumen haben, ohne bedrahtete Induktivitäten auskommen und somit für einen mechatronisch integrierten Systemaufbau in besonderer Weise geeignet sein.

## Ansprechpartner

Stefan Zeltner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-235  
Email: stefan.zeltner@iisb.fraunhofer.de

# New Driver Solutions for power Semiconductors

## Introduction

Modern power electronic systems use power semiconductors like MOSFETs or IGBTs. These act as controllable electronic switches for high voltages and currents and are controlled by a superimposed control unit, e.g. a microcontroller. Even with MOS-controlled power switches it is not possible to drive them directly by a microcontroller because of the necessary gate drive power and voltage levels.

A 500 A/1200 V IGBT for example requires about 0.7 W gate drive power at a switching frequency of 10 kHz, for loading and discharging the gate capacitance. An additional driver circuit with high peak current capability is therefore necessary. A further important task is to guarantee an extensive protection of the power switches. Modern semiconductors offer a very high ruggedness, but because of the small thermal capacitance and the extremely high power dissipation under failure conditions, the gate drive circuit must be able to protect within a few microseconds. In addition, most high-voltage applications require a galvanic isolation between the control unit and the power semiconductors and, in some cases, a diagnosis feedback across the isolating barrier.

## Driver techniques

Two common driver techniques exist for power semiconductors in the range of 600 V - 1700 V blocking voltage and to ensure a transfer of both information and energy across the isolation barrier. On the one hand a combination of an optical information transfer and an inductive energy transfer, on the other hand two independent inductively coupled paths for information and energy. The latter one requires two

magnetic cores and is therefore expensive and bulky.

## A new driver concept

Fig. 1 shows the block diagram of the new gate driver solution developed at the IISB. The driver comprises two sides. The primary side is for encoding the switching commands and driving the transformer. The secondary side comprises circuit blocks for decoding the switching information, a power amplifier to provide the peak currents for loading and discharging the IGBT gate, a supply voltage regulator with voltage monitoring and undervoltage shutdown, as well as a desaturation detection circuit for short-circuit protection. By using a sophisticated modulation technique with a high carrier frequency, it became possible to transmit energy and the switching information via one transformer. In contrast to conventional techniques that use a pulse transformer and therefore only transfer changes of the switching information, the proposed concept has important advantages. At first, a continuous modulation ensures a permanent transmission of the switching information, i.e. IGBT - "ON" or IGBT - "OFF", and thus results in a drastically increased noise immunity. Secondly, the high carrier frequency makes it possible to use a very small transformer for energy transfer.

## Conclusion and prospect

The new driver concept has been successfully tested in several applications. The operation in intelligent power moduls for automotive applications has been especially demanding, because of very high ambient temperatures (>125°C) and the extreme noise environment at a mounting position only a few millimeters above the IGBT

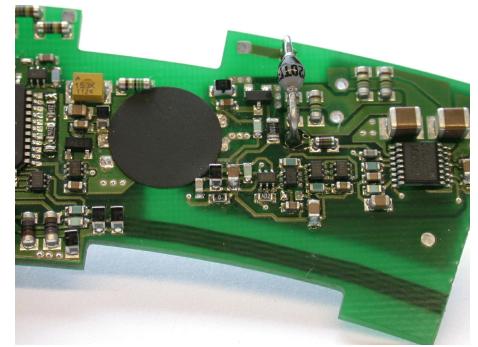


Fig. 2: Vollisolierender Gatetreiber mit umfassenden Schutzfunktionen; Fully isolating gate driver with extensive protective functions.

chips. Fig. 2 shows a current design with a printed-board transformer. In cooperation with a commercial partner, we currently work on a further integration of our proceeding in a primary and secondary ASIC chipset. The target solution is a very small-sized, universally usable driver unit without discrete inductive elements, ideally suitable for a mechatronic integration into power moduls under extreme temperature and noise conditions.

## Contact

Stefan Zeltner  
Phone: +49 (0) 9131 761-235  
Email: stefan.zeltner@iisb.fraunhofer.de

## Einleitung

Leistungshalbleiter bilden das Kernstück von leistungselektronischen Systemen. Je nach Zielapplikation kommen in der Regel MOSFET, IGBT oder Thyristorstrukturen zum Einsatz. Für kleine Leistungen genügt oft die Verwendung diskreter Bauelemente. Für Anwendungen von 10 kW bis hinauf zu einigen Megawatt kommen sogenannte Leistungsmodule zum Einsatz, in deren Inneren eine Vielzahl von Halbleiterchips parallelgeschaltet sind. Daneben sind als Bestandteil des Leistungsteils diverse Sensoren und Treiberschaltungen nötig, die einem aufgesetzten Regler Informationen zum Systemzustand liefern. Ein intelligentes Leistungsmodul vereinigt bei optimierter Kühlanbindung möglichst viel Sensorik und Schaltungstechnik zusammen mit den Leistungshalbleitern auf engstem Raum.

## Warum bringt man "Intelligenz" in das Leistungsmodul?

Die Anwender und Programmierer von Leistungsteilen müssen durch die immer rasantere Entwicklung bei Leistungshalbleiter-Technologien mit ständigen Veränderungen von Schaltverhalten und Stromtragfähigkeit zurechtkommen. Durch wachsende Anforderungen im Gesamtsystem bleibt immer weniger Zeit zum korrekten Auslegen von Treiberschaltungen, Kühlvorrichtungen, Schutzmechanismen und Sensorik, die jeweils optimal auf die eingesetzten Halbleiter abgestimmt sein müssen. Auch aus Zuverlässigkeitsgründen ist es wünschenswert, solche Leistungsmodule mit möglichst viel Eigen-sicherheit auszurüsten. Da selbst schnelle Mikrocontroller zu langsam für einen ausreichenden Schutz vor dynamischer Überlastung sind, müssen Schutzkonzepte wie Erfassung und Be-

herrschung von lastseitigem Kurzschluß, Querkurzschluß, Übertemperatur oder Überschreiten der zulässigen Zwischenkreisspannung mit schneller, festverdrahteter Hardware realisiert werden. Dies muß für jede Sorte Halbleiter und jede Paarung/Anzahl pro Leistungsschalter immer neu geschehen und führt bereits innerhalb einer Produktfamilie, z.B. von Umrichtern, zu einer Explosion von Varianten an Unterbaugruppen, die aber im Prinzip alle die gleiche Funktion erfüllen sollen.

## Moderne Lösungsansätze

Ein intelligentes Leistungsmodul läßt sich grob in drei Bereiche unterteilen. **Kühlanbindung:** Durch innovative Kühlkonzepte Anstreben eines möglichst niedrigen  $R_{th}$ , um heute mögliche Stromdichten der Halbleiter auszunutzen.

**Leistungsseite:** Mit geeigneter Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) Lebensdauer, Kosten und Lastwechselfestigkeit erhöhen. Dazu eine Konstruktion der Anschlüsse, die parasitäre Effekte wie Kommutierungsinduktivitäten minimiert.

**Signalteil:** Im Leistungsmodul herrschen direkt an den Ansteuer- und Sensorelektroniken Umgebungstemperaturen bis 125°C. Dort sitzt eine Treiberschaltung mit galvanischer Trennung des Controllers vom gefährlichen Potential. Plausibilitätsprüfung der Schaltbefehle mit Totzeit, Kurzimpulsunterdrückung, Kurzschlußüberwachung und definiertem Steuerverhalten zum MOS-Gate hin müssen enthalten sein. Potentialfreie Stromsensoren, Zwischenkreisspannungserfassung sowie Temperaturmessung in Halbleiternähe sind ebenfalls integriert.

Am IISB wurden/werden intelligente, mechatronisch integrierte Leistungsmodule entwickelt und deren Teilkomponenten optimiert. Für Projektpartner

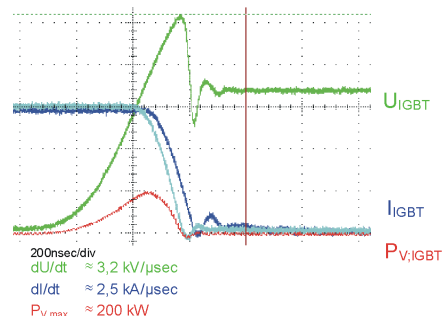


Fig. 1: Abschaltvorgang eines modernen IGBT [U: 200 V/div; I:100 A/div]; Turn-off plot of a modern IGBT.

aus dem KFZ-Bereich wurden vollständig im Haus konstruierte Halbbrückenmodule mit den genannten Funktionen aufgebaut und qualifiziert. Ein Modul kann z.B. 280 A<sub>RMS</sub> bei 450 V<sub>DC</sub> Eingangsspannung als Phasenstrom liefern. Drei solcher Module ergeben in einem Drehsystem einen Umrichter mit ca. 80 kVA Ausgangsleistung!

## Ausblick

Neben den immer anstehenden Forderungen nach höherer Packungsdichte und Kostenreduktion gibt es weitere große Herausforderungen. Ein Ersatz heute üblicher Bondverbindungen durch robustere AVT und eine weitere Reduzierung des  $R_{th}$  im elektromechanischen Bereich sind anzustreben. Verlagerung von Teilen des Zwischenkreises in das Modul erweitert die Betriebsgrenzen der Halbleiter und reduziert EMV. Im Signalteil sei eine Vorhersage der Modul-Restlebensdauer und eine Temperaturerfassung näher am Chipniveau beispielhaft genannt. Das IISB wird die Forschung im Bereich intelligenter Leistungsmodule als Schwerpunkt weiter betreiben.

## Ansprechpartner

Markus Billmann  
Telefon: +49 (0) 9131 761-234  
Email: markus.billmann@iisb.fraunhofer.de



## Introduction

Power semiconductors form the main part of a power-electronic system. Depending on the target application MOSFETs, IGBTs or thyristors are chosen. For low power applications, discrete semiconductors are most suitable. Designs from 10 kW up to several megawatts however require power modules with many silicon chips paralleled inside. For a complete power stack, various sensors and driver circuits must be added to provide sufficient information for a supersat microcontroller. An intelligent power module combines maximum compactness in terms of integrated sensors, cooling and gate driver circuits in one compact package.

## Why Putting "Intelligence" into a Power Module?

Users and programmers of power stacks have to deal with the fast progress in semiconductor technology. The steady change in switching behaviour and increase of current density requires repetitive redesign loops for driver circuit, cooling system and protection features. Those must be optimized for each chip generation. Due to rising demands on system software and its performance, only little time can be reserved for optimizing the power stack. Moreover, in terms of reliability it is reasonable to put maximum internal protection features into a power module. Even fast microcontrollers are too slow for a sufficient protection against dynamic overloads like detection and safe turn-off in case of load or bridge short circuit, over-temperature or exceeding the DC link voltage limit. Such features must be realized in the hardware and it has to be done again and again for every type of power silicon, for every combination and for every number of chips in parallel. Consider-

ing only one small family of inverters this leads to an explosion in versions of subsystems, although these all have to cover a similar function.

## Modern Solutions

An intelligent power module may be divided into three subsystems.

Cooling section: With innovative cooling concepts a minimum  $R_{th}$  can be obtained to make use of the higher current densities provided by modern power silicon.

Power section: A suitable mounting technique increases lifetime, power-cycling capability and reduces the costs. A highly sophisticated construction of the power terminals minimizes commutation parasitics and losses.

Signal section: High ambient temperatures up to 125°C are present inside the module close to the driver unit and sensor electronics. A driver circuit with isolation barrier is included to separate the controller from the dangerous voltages. Compliance tests have to be done on the incoming switching commands including dead-time generation, short-pulse suppression and pulse shaping. The final gate drivers must provide short-circuit protection and stable voltage levels. Isolated current sensors, DC link voltage and temperature monitoring are also included.

At the IISB intelligent and mechanically integrated power modules are (and will be) designed. Optimized subsystems are being evaluated. For automotive partners, halfbridge modules including the features mentioned above were designed and manufactured completely at the IISB. One module is capable of 280 A<sub>RMS</sub> phase current at 450 V<sub>DC</sub> DC link voltage. Three of such modules form an inverter with approx. 80 kVA output power! A field-orientated regulation uses the sensor information provided by the modules.

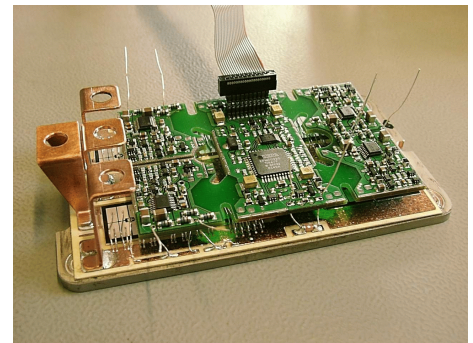


Fig. 2: Intelligentes Leistungsmodul, zerlegt, 1700 V/4x300 A; Intelligent power module, dismantled, 1700 V/4x300 A.

## Future

Besides the permanently existing demand for higher integration density and cost reduction, additional challenges exist: To find a replacement for today's usually chosen bond wires with a higher lifetime or again lowering the thermal resistance are two examples from the mechanical point of view. Bringing parts of the DC link capacitor into the module will extend the operating limits of the power silicon and reduce EMI. Concerning the signal section, a built-in predictor to estimate the remaining lifetime or a temperature monitor closer to the chip level is desirable. The IISB will continue its research on intelligent power modules as one major focus in the future.

## Contact

Markus Billmann  
Phone: +49 (0) 9131 761-234  
Email: markus.billmann@iisb.fraunhofer.de

## Einführung

Nahezu alle netzbetriebenen elektronischen Geräte – von der Energiesparlampe über den PC bis zum Fernseher – besitzen hinter dem Netzeingang einen Brückengleichrichter mit nachfolgendem Siebkondensator. Diese sehr einfache und kostengünstige Schaltung führt zu einer pulsformigen Stromaufnahme aus dem Netz, da nur während der Scheitelphasen der Netzspannung ein Strom fließen kann. Wenn auch der Einfluß des einzelnen Geräts auf das Versorgungsnetz vernachlässigbar ist, so führt doch die gewaltige Anzahl an elektronischen Verbrauchern in der Summe zu einer hohen Belastung des Netzes mit Oberwellenströmen. Dies bedeutet zusätzliche Blindleistung im Netz, reduziert die Übertragungskapazität und verursacht erhöhte Verluste in Leitungen und Transformatoren. Aus diesem Grund ist die von elektronischen Geräten ausgehende Oberwellenbelastung durch die seit dem 1. Januar 2001 gültige Norm EN 61000-3-2 limitiert. Da aktive oder passive Maßnahmen zur Leistungsfaktorkorrektur (engl. power factor correction - PFC) zusätzliche Kosten verursachen - und dies ohne einen direkten, verkaufbaren Kundennutzen gab es lange Zeit erhebliche Widerstände seitens der Geräteindustrie gegen diese Norm. Ziel aktueller Arbeiten am IISB ist es, Lösungen zu entwickeln, die die Zusatzkosten einer aktiven Leistungsfaktorkorrektur, die zusätzliche Verlustleistung und das benötigte Bauvolumen minimieren.

## Schlüsselhalbleiter SiC

Eine der einfachsten möglichen Schaltungen zur aktiven Leistungsfaktorkorrektur ist ein Hochsetzsteller zwischen Netzgleichrichter und Ladekondensator (Fig 2). Wird diese Schaltung in dem für Ausgangsleistungen ab etwa 100 W zu

bevorzugenden Modus betrieben, so verursacht die bei p/n-Dioden unvermeidliche Sperrverzugsladung erhebliche Stromspitzen und damit Einschaltverluste im Schalttransistor. Dadurch ist selbst mit den besten heute verfügbaren Silicium-Dioden die sinnvoll nutzbare Schaltfrequenz auf etwa 100 kHz begrenzt.

Im Gegensatz zu Silicium ermöglicht das Halbleitermaterial Siliciumkarbid die Realisierung speicherladungsfreier Dioden nach dem Schottky-Prinzip mit den für Netzanwendungen erforderlichen Sperrspannungen von 600 V und darüber. Durch den Einsatz dieser SiC-Dioden lassen sich die Schaltverluste drastisch reduzieren. Das führt dazu, daß der Kühlaufwand sinkt, sich ein kleinerer und damit kostengünstigerer Schalttransistor einsetzen läßt, und sich die Kosten und die Größe der das Bauvolumen der Schaltung dominierenden Drossel durch eine Erhöhung der Schaltfrequenz reduzieren lassen. Ein großer Vorteil bei der Systementwicklung ist in diesem Zusammenhang die hausinterne Kooperation mit der Abteilung Technologie, die über umfangreiche Erfahrung auf den Gebieten SiC und SiC-Bauelemente verfügt.

## Kostensenkung durch Systemansatz

Der wesentliche Hebel zur Reduzierung der Zusatzkosten einer aktiven PFC liegt im Systemansatz. Das bedeutet zum einen die Erschließung von Einsparpotentialen, die sich durch die PFC-Schaltung an anderen Stellen im System ergeben, es bedeutet aber auch die gemeinsame Nutzung von Schaltungsteilen.

Vor diesem Hintergrund wurde am IISB ein neuartiges digitales Regelverfahren für den PFC-Hochsetzsteller entwickelt. Aufgabe des Reglers ist, den Schalttransistor so anzusteuern, daß sich so

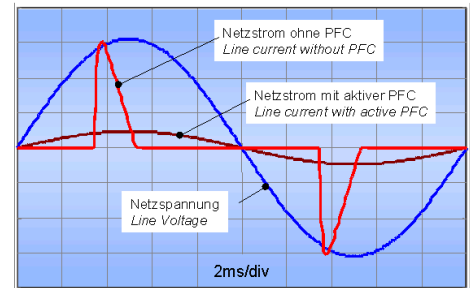


Fig. 1: Netzstromaufnahme mit und ohne aktive Leistungsfaktorkorrektur; Line current curve with and without active power factor correction.

wohl eine sinusförmige Netzstromaufnahme ergibt, als auch die Ausgangsspannung belastungsunabhängig auf ihren Sollwert geregelt wird. Das neue Verfahren ermöglicht es, einen in den meisten Anwendungen bereits vorhandenen Mikrocontroller zu nutzen und damit das heute noch übliche PFC-IC einzusparen. Die Anforderungen an den Mikrocontroller und an die benötigte Rechenleistung konnten so weit reduziert werden, daß selbst moderne low-cost 8-Bit Mikrocontroller diese Aufgabe quasi "nebenbei" erledigen können.

## Ansprechpartner

Alexander Hofmann  
Telefon: +49 (0) 9131 761-263  
Email: alexander.hofmann@iisb.fraunhofer.de



# Active Power Factor Correction

## Introduction

In almost any line-fed electronic equipment – such as energy saving lamps, PCs, television sets, etc. – one can find a bridge rectifier behind the line input, followed by a filter capacitor. This very simple and cost-effective circuitry causes a pulsed current drawn from the line, because only during the peaks of the line voltage a current can flow.

Even if the influence of the single equipment on the power grid is negligible, the very large number of electronic consumers heavily loads the grid with line harmonic currents. This means additional reactive power in the grid, reduces the transmission capability and causes increased losses in the wires and transformers. For this reason, the line harmonic currents which are produced from electronic equipment are limited by the European standard EN 61000-3-2, valid since January 1st, 2001. Since any active or passive measures for power factor correction (PFC) cause additional costs without a direct and marketable customer benefit, the consumer equipment industry heavily opposed this standard for a long time. It is the aim of current research projects at the IISB to develop solutions which minimize the additional costs of an active PFC as well as the additional power dissipation and structure volume.

## Key Semiconductor SiC

One of the most simplest circuit topologies for active power factor correction is a boost converter between the line rectifier and the filter capacitor (s. Fig. 2). If this boost converter is operated in the preferred mode for higher output power (> 100 W), then the reverse recovery charge, which is unavoidable with any p/n-junction diode, causes high current transients and with that high turn-on losses in the switching

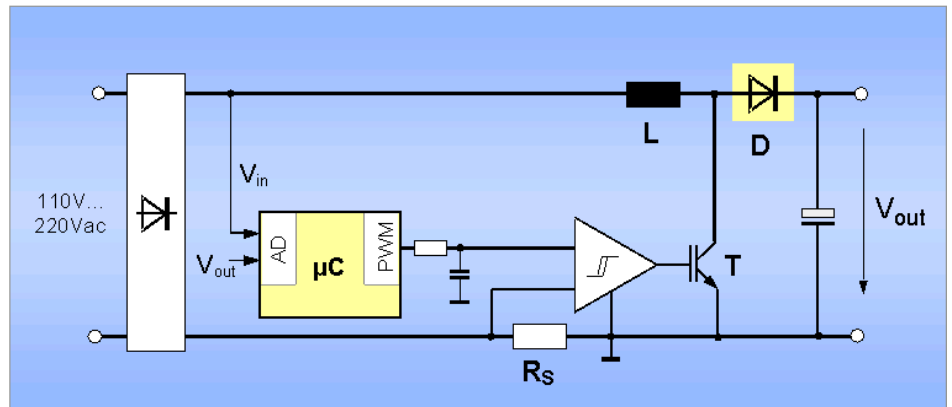


Fig. 2: Digital geregelter Hochsetzsteller zur aktiven Leistungsfaktorkorrektur; A new digital control method for an active power factor correction.

transistor. The result is a maximum utilizable switching frequency of about 100 kHz, even with the best silicon diodes available today.

In contrast to silicon, the new semiconductor material silicon carbide (SiC) makes it possible to realize Schottky diodes – which are free of reverse recovery charge – with breakdown voltages of 600 V and above. These high voltages are necessary for line applications. The application of these SiC diodes considerably reduces the switching losses. This results in reduced efforts for cooling, makes it possible to use a smaller and less expensive power transistor and allows to increase the switching frequency in order to reduce the size of the boost choke. A great advantage for the system development is the in-house cooperation with the technology department which has extensive know-how on SiC technology and SiC power devices.

## Cost Reduction by Means of a System Approach

A system approach is the main lever for the reduction of the additional costs caused by an active PFC. System approach means both, to disclose all cost reduction potentials in the system which arise from the specific properties

of the PFC circuit as well as to use all possibilities for a shared use of devices.

Against this background, a new digital control method for the PFC boost converter was developed at the IISB. The PFC controller has to adjust the duty-cycle and/or the switching frequency of the power switch in such a way that both, the line current becomes sinusoidal and the output voltage of the boost converter is kept at the set value independently of the load. The new approach makes use of the microcontroller, which is already available in most applications today, to eliminate an additional PFC control IC. The requirements on the microcontroller and the necessary computing performance could be reduced so far that most modern low-cost 8 bit microcontroller can manage the task with no bother.

## Contact

Alexander Hofmann  
Phone: +49 (0) 9131 761-263  
Email: alexander.hofmann@iisb.fraunhofer.de

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

Vor 20 Jahren erkannten die Gründer des gemeinnützigen "Förderkreises für die Mikroelektronik e.V." die Auswirkung und Rolle der Mikroelektronik auf allen technischen Gebieten und in fast allen Lebensbereichen, die als Schlüsseltechnologie und Innovationsmotor über die Wirtschaftskraft, die Arbeitsplätze und den Wohlstand einer High-Tech-produzierenden Nation wie Deutschland entscheidet und somit für einen Wirtschaftsstandort eine essentielle Bedeutung hat. So wurde 1983 der „Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.“ aus der Taufe gehoben mit dem Ziel, die Mikroelektronik im und für den nordbayerischen Raum zu fördern. Dies wurde durch großzügige Spenden der Wirtschaft, umfangreiche Fördermittel der Bayerischen Staatsregierung, die permanente Unterstützung der IHK Nürnberg für Mittelfranken sowie erhebliche Investitionen der Fraunhofer-Gesellschaft ermöglicht und hat in der Neugründung von Lehrstühlen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft (u.a. des IISB) mit hochmoderner Ausstattung resultiert.

Die akademischen Partner des Förderkreises setzen sich heute aus den beiden Erlanger Fraunhofer-Instituten IIS und IISB sowie von Seiten der Universität Erlangen-Nürnberg aus den Lehrstühlen für Technische Elektronik, für Rechnergestützten Schaltungsentwurf, für Informationstechnik mit Schwerpunkt Kommunikationselektronik sowie dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente zusammen, den mit Prof. H. Ryssele der Leiter des IISB innehat.

Die umfangreichen Aktivitäten des Förderkreises umfassen:

- Förderung der Zusammenarbeit zwischen Forschung, Entwicklung und Nutzung durch die Wirtschaft
- Unterstützung technisch-wissenschaftlicher Veranstaltungen und Präsentationen
- Vergabe von Preisen und Stipendien

Gerade durch den letzten Punkt verwirklicht der Förderkreis seine Zielsetzung, Forschung, Entwicklung, Lehre und Technologietransfer zusammen mit seinen Partnern zu fördern. So wurde 1996 der "Innovationspreis Mikroelektronik" gestiftet, der seitdem jährlich verliehen wird und mit 3000 € dotiert ist. Kriterien bei der Vergabe des Preises sind vor allem ein herausragender Erkenntnisfortschritt auf dem Gebiet der Mikroelektronik, aber auch dessen Umsetzung in Form einer praktischen Nutzung durch die gewerbliche Wirtschaft. Neben einer Auszeichnung für besondere Leistungen auf dem Gebiet der Mikroelektronik soll dieser Preis auch einen Ansporn für innovatives Engagement und die Stärkung des Wirtschaftsstandortes Deutschland, der für seine Behauptung auf dem Weltmarkt auf Höchsttechnologie angewiesen ist, darstellen. Auch das IISB konnte mit Dr. Thomas Falter (1996, mit Fa. GeMe-Tec), Dr. Lothar Frey (1999, mit Fa. Nanosensors GmbH) und Dr. Andreas Erdmann (2000, mit Fa. Sigma-C GmbH) schon Preisträger stellen.

Ebenso hat der Förderkreis die Bedeutung der Zukunftssicherung in der technischen Ausbildung erkannt. In diesem Zusammenhang wurde im Jahr 2000 ein mit 500 € dotierter Jugendpreis ins Leben gerufen, um das Interesse und Engagement unserer Jugend als zukünftiger Gestalter des technischen Fortschritts zu fördern. Der Jugendpreis, der ebenfalls jährlich in ganz Bayern an ca. 200 Schulen ausgeschrieben wird, findet äußerst reges Interesse. So gingen für den Preis 2001 insgesamt 17 Vorschläge ein, deren Quali-

tät so gut war, daß fünf Arbeiten mit Auszeichnungen bedacht wurden. Diese Auszeichnungen wurden im Sommer 2002 am IISB bei einer Vorführung der von den Schülern entwickelten Roboter an die Preisträger und deren Schulen vergeben.

Ein weiteres Instrument der Förderung durch den Förderkreis stellt ein Promotionsstipendium dar, mit dem besonders qualifizierte wissenschaftliche Nachwuchskräfte, die an einem der Mikroelektronik-Lehrstühle der Universität Erlangen-Nürnberg ihre Promotion durchführen, über einen Zeitraum von zwei Jahren mit 720 € pro Monat unterstützt werden können. Mit Frau Noemi Banos (Abteilung Kristallzüchtung) hat das IISB seit August 2002 eine Empfängerin dieses Stipendiums in seinen Reihen.

Zudem unterstützt der Förderkreis den Aufenthalt von Gastwissenschaftlern und Diplomanden an den genannten Fraunhofer-Instituten und Mikroelektronik-Lehrstühlen.

Eine Unterstützung dieser Aktivitäten und Förderziele ist am besten durch eine Mitgliedschaft im Förderkreis umzusetzen. Einzelheiten hierzu und ausführliche Informationen über die Tätigkeiten des Förderkreises sind über untenstehende Kontaktadresse oder auch über das IISB zu erhalten.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.  
Vorstandsvorsitzender:  
Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst  
Geschäftsstelle:  
IHK Nürnberg für Mittelfranken

Ansprechpartner

Knut Harmsen  
Tel. 09 11/13 35-3 20  
Fax 09 11/13 35-1 22  
E-Mail: info@ihk-nuernberg.de

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

20 years ago, the founders of the non-profit "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." (development association for microelectronics) recognized the influence and importance of microelectronics in all technical fields and almost all aspects of daily life, with microelectronics as a key technology and innovation motor being decisive for the economic power, jobs, and wealth of a high-tech producing nation like Germany and thus having an essential meaning for a business location. Therefore, the "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." was launched in 1983 with the goal of promoting microelectronics in and for the region of northern Bavaria. This was made possible by generous donations from industry, large subsidies from the Bavarian government, the permanent support by the "IHK Nürnberg für Mittelfranken" (the local CCI), as well as by enormous investments by the Fraunhofer-Gesellschaft, and resulted in the start-up of chairs of the Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg and institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft (among them the IISB) with ultra-modern equipment.

The academic partners of the Förderkreis today are the two Fraunhofer institutes IIS and IISB in Erlangen, and of the University of Erlangen-Nuremberg the chairs of Electronics, Computer-Aided Circuit Design, Information Technology with Focus on Communication Electronics, as well as of the Chair of Electron Devices, which is held by the head of the IISB, Prof. H. Ryssel.

The large activities of the Förderkreis include:

- Promotion of the cooperation bet-

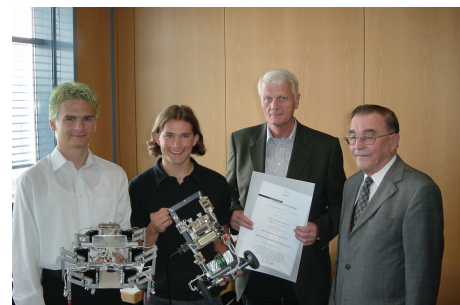
ween research, development and utilization by industry

- Support of technical and scientific events and presentations
- Granting of awards and grants

Especially by the last item, the Förderkreis realizes its goal of promoting research, development, teaching and technology transfer together with its partners. So, in 1996 an innovation award for microelectronics was founded, which is annually granted and endowed with 3000 €. Criterion for the jury is mainly an outstanding progress in the field of microelectronics, but also its transfer by a practical utilization by industry. Besides a decoration for special achievements in the field of microelectronics, this award also represents a stimulation for innovative activities and the strengthening of the business location Germany, which for competing in the world market depends on ultra-high technology. Also the IISB could already provide laureates with Dr. Thomas Falter (1996, together with GeMeTec), Dr. Lothar Frey (1999, together with Nanosensors GmbH), and Dr. Andreas Erdmann (2000, together with Sigma-C GmbH).

Furthermore, the Förderkreis has recognized the importance of the protection of the future of technical education. In this context, in 2000 a youth award endowed with 500 € was created in order to support the interests and activities of young people as the future creators of our technical progress. The youth award, which is annually announced in about 200 schools in Bavaria, induces a brisk interest. For the prize of 2001, 17 proposals were submitted with such a quality that five of them were decorated with awards.

These youth awards were handed over to the laureates and their schools at the IISB in summer 2002 on the occasion of a demonstration of the robots developed by the pupils.



Verleihung des Jugendpreises am IISB;  
Awarding of the youth award at the IISB.

Another instrument of promotion by the Förderkreis is a PhD grant, by which especially qualified young PhD students who make their thesis at one of the microelectronics chairs of the University of Erlangen-Nuremberg, can be supported with 720 € per month over a period of two years. With Ms. Noemi Banos (crystal growth department), the IISB has a beneficiary of this grant among its staff since August 2002.

Moreover, the Förderkreis supports the stays of guest scientists and graduates at the listed Fraunhofer institutes and microelectronics chairs.

A support of these activities and promotion goals can be achieved best by a membership in the Förderkreis. Details on this and extended information on the activities of the Förderkreis can be obtained from the contact address below or also from the IISB.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

Chairman of the board:

Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst

Office:

IHK Nürnberg für Mittelfranken

Contact

Knut Harmsen

Tel. 09 11/13 35-3 20

Fax 09 11/13 35-1 22

E-Mail: info@ihk-nuernberg.de

## Ereignisse

### *Frühjahrs-Workshop zur International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) am IISB in Erlangen.*

Aufgrund von Gesprächen zwischen dem Institutsleiter und der Industrie arbeiten seit 2000 Experten des Instituts an der Aufstellung der International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) mit. Während die Kerngrößen der Roadmap wie zum Beispiel die so genannten Technologieknoten und ihre Zeitskalen von den übergeordneten „International Roadmap Committee“ und der „Roadmap Coordination Group“ erstellt werden, erarbeiten zwölf „International Technology Working Groups“ (ITWGs) die daraus resultierenden Anforderungen an die einzelnen Technologien. Das IISB arbeitet seit 2000 in den ITWGs zu „Factory Integration“, „Modeling and Simulation“ sowie „Yield Enhancement“ (früher „Defect Reduction“) mit, und seine Beiträge fanden inzwischen breite Anerkennung bei der die ITRS tragenden Halbleiterindustrie. Insbesondere hat das IISB auf Wunsch der Industrie ab 2002 die Leitung der ITWG „Modeling and Simulation“ übernommen. Ein besonderer Höhepunkt des Jahres 2002 ist für das IISB die Veranstaltung des ITRS 2002 Frühjahrstreffens am 16. und 17. April in Erlangen. Auf diesem Workshop wurde mit den Arbeiten zur Erstellung des „2002 Update“ der ITRS begonnen.



Paolo A. Gargini eröffnet den ITRS Workshop;  
Paolo A. Gargini opens the ITRS workshop.



## Events

### *Spring Meeting of the International Technology Roadmap for Semiconductors" (ITRS) at the IISB in Erlangen*

Due to conversations between the head of the institute and representatives from industry, experts of the institute contribute to the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) since 2000. Whereas the key topics of the Roadmap such as the so-called technology nodes and the respective time scales are determined by the "International Roadmap Committees" and the "Roadmap Coordination Group", twelve "International Technology Working Groups" (ITWGs) elaborate the resulting requirements on the respective technologies. Since 2000, the IISB is a member of the ITWGs "Factory Integration", "Modeling and Simulation" as well as "Yield Enhancement" (formerly "Defect Reduction") and its contributions are well appreciated by the semiconductor manufacturers supporting the ITRS. By request of industry, the IISB took over the chairmanship of the ITWG "Modeling and Simulation" in the year 2002. A very special event of the year 2002 for the IISB was the organization of the ITRS 2002 Spring Meeting on April 16th and 17th in Erlangen. Within the framework of this workshop, the IISB started its work concerning the "2002 Update" of the ITRS.



Blick in das Auditorium während des ITRS Workshops;  
View into the lecture hall during the ITRS workshop.

**█**  
Gastwissenschaftler  
Guest Scientists

Barsony, Dr., Istvan  
22.04. - 23.04.02  
05.09. - 15.09.02  
Ungarn / Hungary  
*Ionenstrahltechnik*  
*Ion Beam Processing*

Boubekeur, Dr., Hocine  
04.03. - 05.03.02  
Algerien / Algeria  
*Kontamination bei ferroelektrischen Schichten*  
*Contamination of Ferroelectric Layers*

Fried, Miklos  
21.10. - 26.10.02  
Ungarn / Hungary  
*Mikroelektronik*  
*Microelectronics*

Fukuda, Prof., T.  
24.02.02  
Japan  
*Massenwachstum von Fluorid- und Nitridkristallen*  
*Bulk Growth of Fluoride and Nitride Crystals*

Gyulai, Prof., Jozsef  
14.07. - 17.07.02  
16.08. - 18.08.02  
21.11. - 26.11.02  
Ungarn / Hungary  
*Ionenstrahltechnik*  
*Ion Beam Processing*

Horvath, Zsolt  
21.10. - 26.10.02  
Ungarn / Hungary  
*Röntgendiffraktometrie*  
*X-Ray Diffraction*

Juhasz, Gyorgy  
21.10. - 26.10.02  
Ungarn / Hungary  
*Optische Meßtechnik - Ellipsometrie*  
*Optical Measurement Technique -*

*Ellipsometry*

Iuga, Maria  
01.01. - 31.12.02  
Rumänien / Romania  
*Entwicklung und Anwendung von CryxVUn*  
*Development and Application of CryxVUn*

Petrik, Dr. Peter  
21.01. - 07.02.02  
21.04. - 30.04.02  
02.06. - 16.06.02  
21.06. - 23.06.02  
01.07. - 31.07.02  
21.10. - 26.10.02  
27.11. - 20.12.02  
Ungarn / Hungary  
*Materialcharakterisierung mittels Spektralellipsometrie*  
*Mitarbeit als Projektpartner im EU-Projekt FECLAM*  
*Characterization of Material by Spectral Ellipsometry*  
*Cooperation as Project Partner of the EC-project FECLAM*

Svorcik, Dr., Vaclav  
09.09. - 13.09.02  
Tschechien / Czech Republic  
*Implantation in Polymere*  
*Implantation into Polymers*

Takai, Prof., Mikio  
17.03. - 19.03.02  
21.11. - 26.11.02  
Japan  
*Nachbearbeitung von Vakuum-Feldemittern und Bearbeitung von Speicherbauelementen mittels fokussierten Ionenstrahlen*  
*Postprocessing of Vacuum Field Emitters and Processing of Memory Devices by Means of Focused Ion Beams*

Vizman, Dr., Daniel  
Rumänien / Romania  
*Entwicklung und Anwendung des Hochleistungscomputer-codes STHAMAS3D*

*Development and Application of the High-performance Computer Code STHAMAS3D*

Yamane, Prof., Hisanori  
9.10.02 - 12.10.02  
Japan  
*Lösungswachstum von Galliumnitrid*  
*Solution Growth of Galliumnitride*

Yasenov, Nedyu  
01.04.00 - 31.03.03  
Bulgarien / Bulgaria  
*Entwicklung eines Mikrozerstäubers zur Zerstäubung flüssiger Medien*  
*Development of a Micronebulizer for Nebulizing Liquid Media*

Patenterteilungen  
Patents

Benesch, N., Schneider, C., Pfitzner, L.:  
*Gerät zur schnellen Messung  
winkelabhängiger Beugungseffekte an  
feinstrukturierten Oberflächen*  
Deutsches Patentblatt 122 (2002), Nr.  
48, Amtliches Kennzeichen: 199 14  
696.9-52, ISSN 0031-2894

Schnupp, R.:  
*Mikrorelais*  
Europäisches Patentblatt (2002),  
20020220, ISSN 0170-9305

Schnupp, R., Ryssel, H., Öchsner, R.:  
*Verfahren zur Herstellung von Kohlen-  
stoffelektroden und chemischen  
Feldeffekttransistoren sowie dadurch  
hergestellte Kohlenstoffelektroden und  
chemische Feldeffekttransistoren und  
deren Verwendung*  
Patentblatt 122 (2002), Nr.22  
ISSN 0031-2894

Waller, R., Schnupp, R.:  
*Verfahren und Vorrichtung zur  
Messung der Schichtdicke*  
Europäisches Patentblatt (2002),  
20020327, ISSN 0170-9305

Mitarbeit in Fachgremien,  
Fachverbänden und Komitees  
Participation in Committees

Bauer, A.  
- ITG Informationstechnische Gesell-  
schaft im VDE, Fachbereich 8 Mikro-  
elektronik, Fachausschuß 8.1 Fest-  
körpertechnologie, Fachgruppe:  
Heißprozesse

Frey, L.  
- Mitglied in der Informationstechni-  
schen Gesellschaft (ITG): Fachbereich  
5.6.2 Qualität und Zuverlässigkeit -  
Analysestrategien  
- Leiter der GMM Fachgruppe 6.2.6.  
„Inspektion und Analytik“

Frickinger, J.  
- Co-chair of the „SEMI International  
Environmental Contamination Con-  
trol Task Force“

Friedrich, J.  
- Member of the Physical Science  
Working Group of the European  
Space Agency (ESA)  
- Member of the Editorial Office of  
the Newsletter „Mitteilungsblatt der  
DGKK“

Lorenz, J.  
- Member of the Program Committee  
of the „32nd European Solid-State  
Device Research Conference“  
(ESSDERC' 02): Sub-committee „Pro-  
cess and Device Simulation“, Flor-  
ence, September 2002  
- Member of the Electrochemical Soci-  
ety  
- Member of the Institute of Electrical  
and Electronics Engineers (IEEE)  
- Chairman of the Modeling and Sim-  
ulation International Working Group  
(ITWG) of the ITRS (International  
Technology Roadmap for Semicon-  
ductors)

März, M.

- Mitglied des wissenschaftlich-  
technischen Komitees der CIPS (Con-  
ference on Integrated Power Sys-  
tems)
- Mitglied im Initiatoren- und Pla-  
nungskreis des Europäischen Zen-  
trums für Leistungselektronik

Müller, G.

- Associate editor of the journal „Crys-  
tal Growth and Technology“
- Associate editor of the journal „Crys-  
tal Growth“
- Member of the Board of the Center  
of Competence for New Materials  
(Neue Materialien GmbH)
- Vorsitzender der Kommission für  
Studienangelegenheiten des Instituts  
für Materialwissenschaften der  
Universität Erlangen-Nürnberg

Öchsner, R.

- SEMI European Equipment Automa-  
tion Committee
- SEMI Task Force: Equipment Produc-  
tivity Metrics Task Force
- SEMI Task Force: Cluster Tool RAM  
Task Force
- SEMI Task Force: Process Control  
Systems (PCS)
- GMM-Fachausschuß 6.1 „Produk-  
tionstechniken“, Themenleiter „Qua-  
litätsmanagement“ und „Umwelt-  
und ressourcen-schonende Produk-  
tion“
- Mitglied der Factory Integration  
Working Group (FITWG) der ITRS  
(International Technology Roadmap  
for Semiconductors)
- ISTM 300 mm Software Certification  
Guideline Development, Test Process  
Subteam
- EuSIC Network

Pfitzner, L.

- Lehrbeauftragter an der Universität  
Erlangen-Nürnberg, Fachbereich  
Elektrotechnik
- Mitglied im Programmkomitee der  
Internationalen Fachtagung IEEE „In-

- ternational Symposium on Semiconductor Manufacturing" ISSM
- Session Chairman bei der Fachtagung 2002 IEEE „International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference“, Oktober 2002, Tokyo, Japan
  - Mitglied im Programmkomitee der EMRS 2002, Spring Meeting, June 2002, Straßburg, Frankreich
  - Mitglied im Programmkomitee ISSM 2002 (2002 IEEE „International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference“), Sept./Okt. 2002, San José, CA, USA
  - VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Fachbereich 6 „Halbleitertechnologie und Halbleiterfertigung“, Leiter des Fachausschusses 6. 1 „Produktion und Fertigungsgeräte“
  - VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Fachbereich 6 „Halbleitertechnologie und Halbleiterfertigung“, Leiter der Fachgruppe 6.1.1 „Geräte und Materialien“
  - Leiter der SEMI Task Force „Environmental Contamination Control“
  - Co-chair der SEMI Task-Force „E14 Revision“
  - Mitglied der SEMI Task Force „Clean Interfaces“
  - Co-chair des Standardisierungskomitees „Equipment Automation Standards Committee“ der SEMI
  - Mitglied im „Global Committee“ der SEMI
  - „Independent Expert“ für die SEA („Semiconductor Equipment Assessment“) - Initiative von ESPRIT
  - Mitglied der „Yield Enhancement Working Group“ (ITWG) der ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
- Roeder, G.
- Leiter der SEMI Integrated Measurement Task Force Europe
  - Koordinator der Arbeitsgruppe Abscheidung und Ätzen im GMM
- Fachausschuß 1.2: „Verfahren“
- Koordinator der EuSIC Network User Group Integrated Metrology
- Ryssel, H.
- International Committee of the Conference „Ion Implantation Technology“ (IIT)  
The conference takes place biannually alternatingly in Europe, the USA, and East Asia.
  - International Committee of the Conference „Surface Modification of Metals by Ion Beams“ (SM<sup>2</sup>IB)  
The conference takes place biannually alternatingly in Europe, the USA, and East Asia.
  - Scientific Program Committee of the Conference „European Solid State Device Research Conference“ (ESSDERC).  
The conference takes place in another European country every year.
  - Mitglied der „Informationstechnischen Gesellschaft“ (ITG): Leiter des Fachausschusses 8.1 „Festkörpertechnologie“
  - Mitglied der „VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik“, Leiter des Fachbereichs 1, „Mikro- und Nanoelektronik-Herstellung“ Leiter der Fachgruppe 1.2.2 „Ionenimplantation“
  - Mitglied des Beirats der Bayerischen Kooperationsinitiative Elektronik/Mikrotechnologie (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie)
  - Member of the Electrochemical Society
  - Member of the Material Research Society
  - Mitglied der „Böhmischen Physikalischen Gesellschaft“
  - Fellow Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
  - Board of Editors of „Vacuum Technique and Technology“, Minsk, Belarus
- Editorial Board of „Radiation Effects and Defects in Solids“ Gordon and Breach Science Publishers
  - Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
  - Mitglied des Fachbereichsrats der Technischen Fakultät
  - Mitglied der Studienkommission Maschinenbau der Universität Erlangen-Nürnberg
  - Vorsitzender der Studienkommission Mechatronik der Universität Erlangen-Nürnberg
  - Member of the European SEMI Award Committee
  - Member of the International Scientific Advisory Committee of the Conference „Computational Methods in Electrical Engineering and Electromagnetics“ (ELECTROCOMP)  
The conference takes place in a different European country every two years.
- Schellenberger, M.
- Koordinator der EuSIC User Group „Software“
- Schmidt, C.
- SEMI Task Force: Integrated Metrology (Layer Thickness Group)
- Schneider, C.
- Mitglied des Wissenschaftlich-technischen Rates der Fraunhofer-Gesellschaft
  - SEMI Equipment Automation Committee
  - Member of the SEMI Standardization Task Force „Integrated Measurement“
  - Member of the Board of Directors of the Integrated Measurement Association (IMA)
  - Steering Committee of the European AEC/APC (Advanced Equipment/Process Control) Conference, Dresden 2002
  - Head of the Program Committee of the European AEC/APC Conference,



- Dresden 2002
- Organisation Committee AEC/APC Symposium Salt Lake City, USA, 2002
  - Member of the Factory Integration Working Group (FITWG) of the ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
  - Mitglied VDI, VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik
  - GMM-Fachausschuß 6.1: „Produktionstechniken“, Fachgruppe 6.1.1: „Geräte und Materialien“
  - Leitung EuSIC-Netzwerk
- Trunk, R.
- SEMI Integrated Metrology Task Force - ISPM Group (chair)
  - SEMI Europe Equipment Automation Committee
- ██████████
- Konferenzen und Workshops  
Conferences and Workshops
- EuSIC-Workshop "Software User Group"*  
IISB, Erlangen  
14. Januar 2002
- Vorbereitungstreffen "APC-Datenmanagement"*  
IISB, Erlangen  
14. Januar 2002
- Vorbereitungstreffen "APC-Projektkonsortiums"*  
IISB, Erlangen  
15. Januar 2002
- Workshop "Förderschwerpunkt APC"*  
IISB, Erlangen  
15. Januar 2002
- Vorbereitungstreffen "APC-Förderprojekt IT-Management"*  
IISB, Erlangen  
23. Januar 2002
- Festkolloquium „20 Jahre Kristallzüchtung am Erlanger Kristalllabor“*  
IISB, Erlangen  
25. Januar 2002
- Programmkomitee-Meeting AEC/APC-Konferenz*  
IISB, Erlangen  
5. Februar 2002
- Symposium der „Neue Materialien Fürth“ über „Metalle und Kunststoffe - Verbindungen für die Zukunft“*  
Fürth  
28. Februar 2002
- Standards Workshop of the EuSIC User Group „Software“*  
IISB, Erlangen  
28. Februar 2002
- Short Course in „Mask Topography Ef-*
- fects in Reticle Enhancement Technologies“*  
Santa Clara, CA, USA  
4. März 2002
- Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen“ der DGKK*  
IISB, Erlangen  
6. - 7. März 2002
- Workshop „Der Bosch-Prozeß und Trockenätzen von SOI-Wafern“*  
IISB, Erlangen  
12. März 2002
- 3rd European Advanced Equipment Control/Advanced Process Control (AEC/APC) Conference*  
Dresden  
10. - 12. April 2002
- Treffen der SEMI Integrated Measurement Task Force Europe - Layer Thickness Group, SEMI International Standards Program, SEMICON Europe*  
München  
16. April 2002
- Schulung in „Simulation of Optical Lithography“ bei Carl Zeiss*  
Oberkochen  
13. - 14. Mai 2002
- International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) Conference*  
IISB, Erlangen  
16. - 17. April 2002
- Informationsveranstaltung für Studenten der FH Trier, Fachbereich Maschinenbau über FhG-IISB, Chipfertigung, Metrologie, Analytik und Prozesse und Waferreclaim*  
IISB, Erlangen  
14. Mai 2002
- Joint meeting of the EuSIC User Group „Integrated Metrology“ and the EuSIC User Group „Software“*  
IISB, Erlangen





Präsentation des IISB auf dem Gemeinschaftsstand des Bayrisches Kompetenznetzwerk für Mechatronik (BKM) während der Hannover Messe Industrie (HMI);  
Presentation of IISB at the booth of the Bayrisches Kompetenznetzwerk für Mechatronik (BKM) during the Hannover Messe Industrie (HMI).

Dresden, 10. - 12. April 2002

und Kongress, SPS/IPC/DRIVES 2002  
Nürnberg, 26.-28. November 2002

Hannover Messe Industrie, HMI 2002  
Hannover, 15. - 20. April 2002

Semicon Europa  
München, 16. - 18. April 2002

International Conference & Exhibition  
for „Power Electronics, Intelligent Motion, Power Quality“, PCIM 2002  
Nürnberg, 14.-16. Mai 2002

„Elektronische Automatisierung, Systeme und Komponenten“, Fachmesse



Messestand des IISB auf der Power Electronics, Intelligent Motion, Power Quality (PCIM 2002) in Nürnberg;  
IISB booth at the Power Electronics, Intelligent Motion, Power Quality (PCIM 2002) in Nuremberg.

■■■■■■■■■■  
Boubekeur, Hocine

### *Kontaminationsaspekte bei der Integration von hoch-epsilon und ferroelektrischen Materialien in CMOS-Prozesse*

In der Speichertechnologie werden neue Materialien intensiv untersucht, um die Integrationsgrenzen konventioneller Dielektrika zu überwinden und in der Lage zu sein, neuartige nichtflüchtige Speichertypen mit niedrigem Energieverbrauch, wie z.B. FeRAM herzustellen.

Perowskit-artige Schichten mit hoher Dielektrizitätszahl für Gigabit-Speicher oder Materialien mit Perowskit-Schichtstruktur für die Verwendung in nichtflüchtigen Speichern führen Materialien in den Halbleiterherstellungsprozeß ein, die ein hohes Kontaminationsrisiko nach sich ziehen. Die Einführung von großen Mengen von Metallkontaminationen während der Prozessierung ist ein Hauptproblem hinsichtlich Zuverlässigkeit und Ausbeute von CMOS-Bauelementen.

Die Integration dieser Materialien in den Back-end-Prozeßfluß ist nicht nur eine Herausforderung aus Sicht der Prozeßentwicklung, sondern erfordert auch eine Evaluierung der Kontaminationsaspekte begleitend zur Integration in CMOS-Prozesse.

In dieser Dissertation wird das Risiko der Herstellung von Barium-Strontium-Titanat oder Strontium-Wismut-Tantalat mit Iridium/Platin-Elektroden und deren Auswirkung auf Ausbeute und Zuverlässigkeit abgeschätzt. Es werden zuerst die Eigenschaften dieser Materialien untersucht und danach die Auswirkung auf die Eigenschaften der Bauteile nach gezielter Kontamination ausgewertet.

Die Ergebnisse demonstrieren, daß das Risiko zu handhaben ist und daß die Kontaminationsaspekte kein fundamentales Hindernis für die Entwicklung von ferroelektrischen Speichern bedeuten. Die Auswirkung der Kontamination innerhalb des "Back-end of Line" auf die Bauelementeeigenschaften ist nicht so bedeutungsvoll wie im "Front-end of Line", da aufgrund der Bauteilkonfiguration Möglichkeiten des "Gettering" vorhanden sind. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden.



Boubekeur, Hocine

*Contamination Aspects in Integrating High-dielectric Constant and Ferroelectric Materials into CMOS Processes*

In memory technology, new materials are being intensively investigated to overcome the integration limits of conventional dielectrics for GB-scale integration, or to be able to produce new types of non-volatile low-power memories such as FeRAM.

Perovskite-type high-dielectric constant films for use in GB-scale memories or layered perovskite films for use in non-volatile memories involve materials into semiconductor process flows, which entail a high risk of contamination. The introduction of large amounts of metal contamination during processing, however, is a major concern of reliability and yield of complementary metal-oxide semiconductor devices.

The integration of these materials into back-end process flow is not only a process engineering challenge, but also an evaluation of contamination issues, parallel to the effort of integration into CMOS processes.

In this dissertation, the risk of fabrication with barium-strontium-titanate or strontium-bismuth-tantalate films with iridium/platinum electrodes, and their impact on yield and reliability is estimated by first gaining knowledge about the properties of these new materials, and then assessing the impact on the device performance after intentional contamination.

The results demonstrate that the risk is manageable and that the contamination aspects are not "showstoppers" to the development of ferroelectric memories and DRAMs using high-k capaci-

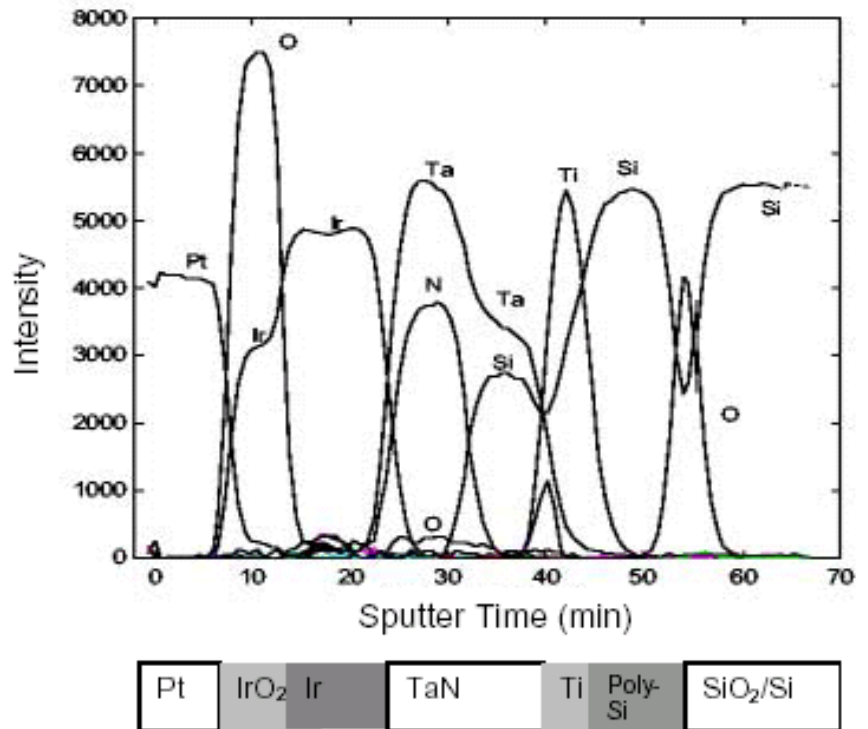


Fig. 1: Auger profile of a stacked cell ferroelectric memory showing the effectiveness of a diffusion barrier.

tor dielectrics. The impact of contamination in the back-end of line on the device performance is not as significant as it could be in the front-end of line because of the device configuration which offers gettering possibilities. This has been demonstrated in the course of this work.

Krause, Oliver

### Entwicklung eines Modelles zur Diffusion von Aluminium in Silicium

Aluminium wird aufgrund seines großen Diffusionskoeffizienten als Akzeptor-Dotierelement zur Herstellung tiefer p-n-Übergänge in Leistungshalbleiterbauelementen aus Silicium verwendet. Frühere Untersuchungen zur Diffusion von Aluminium in Silicium beinhalten große Unsicherheiten hinsichtlich der Genauigkeit der Ergebnisse, da zum einen Einflüsse der Vorbelegung auf die Diffusion von Aluminium unberücksichtigt blieben, zum anderen die verwendeten Charakterisierungsmethoden im Vergleich zu den heute zur Verfügung stehenden weit weniger exakt waren. Vergleicht man zudem das Wissen über die in der Mikroelektronik verwendeten Dotierelemente Bor, Phosphor, Arsen und Antimon mit Aluminium, so bestehen erhebliche Lücken über das Diffusionsverhalten von Aluminium.

Die Verwendung neuer Herstellungsmethoden und komplexerer Prozeßabfolgen machen akkuratere Untersuchungen zur Diffusion von Aluminium in Silicium nötig. Das Ziel dieser Arbeit war die vollständige Beschreibung der Diffusion von Aluminium in Silicium während halbleitertechnologisch relevanter Prozesse und die Bereitstellung eines kompletten Parametersatzes, um die Fertigung von modernen Leistungshalbleiterbauelementen durch die Prozeßsimulation zu unterstützen.

Aluminium wurde in niedrigen Dosen in Silicium implantiert. Mit den hier gewählten Implantations- und Ausheilbedingungen konnten die nachfolgenden Diffusionsschritte unbeeinflusst von Einflüssen durch Aluminiumpräzipitation betrachtet werden. Der intrinsische Diffusionskoeffizient von Aluminium in

Silicium wurde in einem Temperaturbereich von 850 bis 1290°C bestimmt. Im gesamten Temperaturbereich stehen die hier ermittelten Diffusionskoeffizienten in guter Übereinstimmung zu neueren Arbeiten, in denen prozeßspezifische Besonderheiten der Vorbelegung und Diffusionen berücksichtigt wurden. Der Diffusionskoeffizient von Aluminium in Silicium kann durch ein Arrhenius-Gesetz mit dem Vorfaktor  $D_0$  gleich  $4,73 \text{ cm}^2/\text{s}$  und der Aktivierungsenergie  $E_A$  gleich  $3,35 \text{ eV}$  beschrieben werden.

Durch Diffusionsexperimente in inerte, oxidierender und nitridierender Atmosphäre wurde der Diffusionsmechanismus von Aluminium ermittelt. Fig. 1 zeigt Dotieratomprofile von Aluminium, Antimon und Phosphor. Durch die Diffusionsbeschleunigungen bzw. -verlangsamungen der Elemente in verschiedenen Atmosphären kann der Diffusionsmechanismus errechnet werden. Aluminium diffundiert nahezu vollständig über eine Interaktion mit Silicium-Eigenzwischengitteratomen. Für Temperaturen unter 1100°C ist die Diffusionsbeschleunigung von Aluminium während der Oxidation sogar stärker als die von Phosphor, welches im allgemeinen als das Dotierelement mit der stärksten Oxidationsbeschleunigung betrachtet wird.

Das extrinsische Diffusionsverhalten von Aluminium wurde untersucht: In extrinsisch akzeptordotiertem Silicium kommt es zu einer starken Beschleunigung der Diffusion durch die vermehrte Generierung von geladenen Aluminium-Silicium-Eigenzwischengitteratom-Komplexen, verursacht durch Verschiebungen des Fermi-Niveaus durch hohe Bor-Konzentrationen. Fig. 2 zeigt die mit zunehmenden Borkonzentrationen stärker werdende Beschleunigung der Diffusion von Aluminium. In extrinsisch phosphordotiertem Silicium diffundiert Aluminium im Vergleich zum intrinsi-

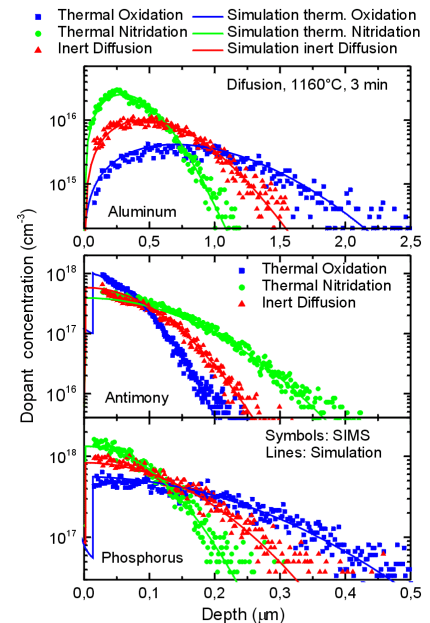


Fig. 1: Dotieratomprofile von Aluminium, Antimon und Phosphor: hergestellt bei 1160°C in inerte, oxidierender und nitridierender Atmosphäre. Die Profile der oxidierten Proben wurden relativ zur ursprünglichen Probenoberfläche dargestellt; Diffusion profiles of aluminum, antimony, and phosphorus annealed at 1160°C in inert, oxidizing, and nitriding ambients. Profiles in oxidized samples are given relatively to the initial surface.

sehen Fall um bis zu zwei Größenordnungen verlangsamt. In Fig. 3 sind Vergleiche der Diffusion von Aluminium im intrinsischen Fall sowie in extrinsisch donatordotiertem Silicium dargestellt. Die Diffusionsretardierung wird durch Veränderungen in der Anzahl der geladenen Punktdefekt-Paare durch Fermi-Niveau-Effekte sowie durch die Bildung von Aluminium-Phosphor-Ionenpaaren verursacht.

In dieser Arbeit wurden neuere Fragestellungen zur Diffusion von Aluminium in Silicium während halbleitertechnologisch relevanter Prozesse betrachtet. Es wurde ein Diffusionsmodell entwickelt sowie ein Parametersatz ermittelt, um die Fertigung von modernen Leistungshalbleiterbauelementen durch die Prozeßsimulation zu unterstützen.

Krause, Oliver

### Modeling of Aluminum Diffusion in Silicon

Aluminum as the fastest diffusing acceptor dopant in silicon is commonly used for the fabrication of deep p-n junctions in silicon power semiconductors. Early publications on the diffusion of aluminum in silicon show significant uncertainties in the accuracy of the results: On the one hand, influences of the predeposition steps on the diffusion were not considered. On the other hand, the characterization methods used were not as accurate as they are today. Compared with the knowledge about the dopants used in microelectronics like boron, phosphorus, arsenic, and antimony, vast gaps exist for aluminum.

New technology concepts for the production of power semiconductors with more complex process sequences use far more shallow penetration depths of dopants than conventional technologies. For the design and optimization of those power devices and their respective manufacturing processes computer-aided simulation programs are increasingly used. Up to now, the present data concerning the diffusion of aluminum are not sufficient to support the manufacturing of such devices with the help of process simulation. The intention of this work was to eliminate existing uncertainties and to solve unexplained questions.

In this work, aluminum was implanted into silicon and annealed. The following diffusion steps were not affected by influences of implantation-induced defects or aluminum precipitates. The intrinsic diffusivity was determined in a temperature range from 850 to 1290°C and fitted by an Arrhenius law with a prefactor  $D_0$  equal to  $4.73 \text{ cm}^2/\text{s}$

and an activation energy  $E_A$  equal to 3.35 eV. For temperatures below 1000°C, the diffusion of aluminum was extensively studied for the first time free of influences of the predeposition method. Since such influences were not considered in the work of Kao, the only investigation in the low-temperature regime up to now, his values are significantly too high.

Using diffusion experiments in inert, oxidizing and nitridizing atmosphere, the diffusion mechanism of aluminum was determined. Fig. 1 shows dopant profiles of aluminum, antimony and phosphorus. By diffusion enhancement and retardation of those elements in different atmospheres, the diffusion mechanism of aluminum can be calculated. Aluminum diffuses predominantly via silicon self-interstitials. For temperatures below 1100°C, the oxidation enhancement of aluminum is even higher than that of phosphorus which is generally regarded as the dopant with the highest diffusion enhancement during oxidation.

The extrinsic diffusion behaviour of aluminum was investigated: In extrinsically acceptor-doped silicon, a strong enhancement of aluminum diffusion is observed. It is caused by the increased concentration of charged aluminum self-interstitial pairs, due to shifts in the Fermi level caused by high boron concentrations. In fig. 2 the enhancement of aluminum diffusion with increasing boron concentration is visible. Compared to the intrinsic case, in extrinsically phosphorus-doped silicon the diffusivity of aluminum is retarded up to two orders of magnitude. In fig. 3 diffusion profiles of aluminum in intrinsically and extrinsically phosphorus-doped silicon are shown respectively. The diffusion retardation is caused by a reduction of charged point defects due to Fermi level effects and by the formation of aluminum-phosphorus ion pairs.

In this work, current questions about the diffusion of aluminum in silicon during process steps relevant for semiconductor manufacturing were investigated. To support the manufacturing of modern semiconductor power devices with the aid of process simulation, a diffusion model was developed and a set of parameters was determined.

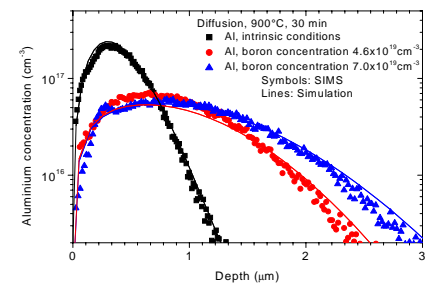


Fig. 2: Dotieratomprofile von Aluminium in intrinsischem, bzw. extrinsisch bordotiertem Silicium; Diffusion profiles of aluminum in intrinsic and extrinsically boron-doped silicon.

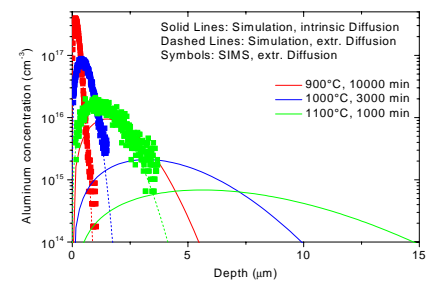


Fig. 3: Dotieratomprofile von Aluminium in extrinsisch phosphordotiertem Silicium und simulierte Aluminiumprofile unter identischen Prozeßbedingungen in intrinsischem Silicium; Diffusion profiles of aluminum in extrinsically phosphorus-doped silicon and the simulated aluminum profile under identical conditions in intrinsically doped silicon.

Kühnhold, Ralf

### *Entwurf und Herstellung von integrierten ionensensitiven Feldeffekttransistoren in CMOS-Technologie*

Im Bereich der Analyse von Flüssigkeiten ergibt sich für ionensensitive Feldeffekttransistoren ein weites Einsatzgebiet. Bei Sensoren dieser Art stellt die Gehäusung ein großes Problem dar, was möglicherweise dadurch gelöst werden kann, daß man die sensitive Schicht und die Kontakte auf der gegenüberliegenden Seite der Silicium-Scheibe plaziert. Dies führt zu einem Bauteil, das als rückseitenkontakterter ionensensitiver Feldeffekttransistor in der Literatur bekannt ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde an einfachen Teststrukturen untersucht, wie sich rückseitenkontaktierte ionensensitive Feldeffekttransistoren mit Standardprozessen der Halbleitertechnik herstellen lassen.

Es ist zu unterscheiden zwischen Strukturen, bei welchen der elektrische Kontakt zu Source bzw. Drain über eine geätzte Grube hergestellt wird und Strukturen, bei welchen sich das Gategebiet, also der sensitive Bereich, in einer Ätzgrube befindet. Die Ätzgruben sollten mittels einer anisotropen Ätzung hergestellt werden. Für die Untersuchung der zwei generell existierenden Kontaktierungsvarianten sollte mit verschiedenen Gatestrukturen eine Aussage bezüglich der Umsetzbarkeit der nötigen Technologie und der Charakteristika der Teststrukturen gemacht werden.

Die Beurteilung der Proben bezüglich ihrer Struktur erfolgte hauptsächlich durch Messungen mit einem Rasterelektronenmikroskop, während die Erfassung der Rauigkeit geätzter Oberflächen mit einem Rasterkraftmikro-

skop geschah. Zur Bestimmung der erzielten Membrandicken wurden Messungen mit einem Interferometer durchgeführt. Die elektrische Charakterisierung der Teststrukturen bezüglich der Isolatoreigenschaften erfolgte mit Tests an Metall-Isolator-Silicium-Strukturen und Elektrolyt-Isolator-Silicium-Strukturen.

Für die anisotrope Ätzung wurde ein Verfahren entwickelt, mit welchem unter Ausnutzung des elektrochemischen Ätzstops Membranen definierter Dicke hergestellt werden können. Es galt im Rahmen dieses Teils der Arbeit sicherzustellen, daß die Ätzung über die gesamte Scheibe Membranen gleicher Dicke ergibt und daß durch die Ätzung eine elektrische Verbindung von der Rückseite her zur Ätzstoppschicht auf der Vorderseite erzielt werden kann. Bei Untersuchungen der Grabenstrukturen wurde festgestellt, daß es an den Grabenstrukturen zur Ausbildung von Überhängen kommt, die eine schlechte Kantenbedeckung und Schichthaftung bewirken. Ein isotroper Ätzschritt zur Eliminierung dieser Kanten ist nach der anisotropen Ätzung unbedingt durchzuführen.

Als eine Möglichkeit, die Eigenschaften geätzter Oberflächen zu verbessern, wurden verschiedene Planarisierungsmethoden untersucht. Es sollte mit Standardschritten aus einem CMOS-Prozeß versucht werden, die Rauigkeit der Oberflächen zu verringern. Mit Feuchtoxidationen konnte eine Reduzierung der Rauigkeit um 30 Prozent erzielt werden.

Mit Kapazitäts-Spannungs-Messungen und Strom-Spannungs-Messungen an ganzflächig geätzten Metall-Isolator-Silicium-Strukturen konnten keine gravierenden Unterschiede zwischen den beiden Kontaktierungsvarianten festgestellt werden. Die elektrischen Parameter lagen bei allen Proben im glei-

chen Bereich. Die Untersuchung an Elektrolyt-Isolator-Silicium-Strukturen ergaben ebenfalls keine gravierenden Unterschiede. Geätzte Proben wiesen bei Titrationen zwar eine etwas höhere Hysterese, aber dafür eine etwas geringere Drift auf.

Nach den in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen ist die Umsetzung beider Kontaktierungsvarianten denkbar. Es konnte für keine der beiden Varianten ein generelles Ausschlußkriterium gefunden werden.



■■■■■■■■■■  
Kühnhold, Ralf

*Layout and Realization of Integrated Ion-sensitive Field-effect Transistors in CMOS Technology*

In the field of liquid analysis, there is a broad range of potential applications for ion-sensitive field-effect transistors (FETs). A serious issue with sensors of this type is the encapsulation. It may perhaps be solved by placing the sensitive film and the contacts on opposite sides of the wafer. This produces a device referred to in literature as a backside-contacted ion-sensitive FET.

In the scope of this work, simple test structures were investigated to determine how standard processes of semiconductor technology can be used to manufacture backside-contacted ion-sensitive FETs.

One must distinguish structures where the contact to drain or source is established via an etched groove, and structures with the gate area, being the sensitive area, located inside an etched groove. These grooves have to be etched anisotropically. For the investigation of the two general contacting techniques, statements regarding the implementability of the required technologies and the properties of the test geometries had to be made using various gate structures. The evaluation of the samples pertaining to their structure was performed mainly by scanning electron microscope (SEM), while the roughness of etched surfaces was measured using atomic force microscopy (AFM). To determine membrane thicknesses, interferometry measurements were performed. The electrical characterization of the test patterns regarding their insulating properties was carried out on metal-insulator-silicon structures and electrolyte-insulator-silicon structures.

For anisotropic etching, a technique was developed enabling the production of membranes of defined thickness using the electrochemical etch-stop. Concerning the development of this technique, homogenous membrane thickness throughout the entire wafer including electrical contact from the backside to the etch-stop layer on the frontside, was the prior requirement. In investigating the groove structures, overhangs were found leading to poor edge coverage and layer adhesion. Therefore, following anisotropic etching, an isotropic etch step must be performed to eliminate these edges.

Being one possible way of improving the properties of etched surfaces, planarization was investigated. Surface roughness had to be reduced using only standard ACMOS process steps. Wet oxidation was found to reduce surface roughness by up to 30 %.

Capacity-voltage and current-voltage measurements of metal-insulator-silicon structures that were etched over their entire surface showed no considerable differences between the two contacting techniques. The electrical parameters of all samples were well within the same range. Neither did the investigations of electrolyte-insulator-silicon structures establish any appreciable differences. Although etched samples subjected to titration exhibited a slightly increased hysteresis, minor drift reduction was detected in return.

Based on the findings of the present work, the implementation of both contacting techniques appears feasible. No general exclusion criteria were found for either variety.

Lenhart, Oliver

*Algorithmen für die dreiecksbasierte dreidimensionale Simulation bewegter Oberflächen in der Halbleitertechnologie*

Für die dreiecksbasierte dreidimensionale Prozesssimulation in der Mikroelektronik werden für jeden Prozessschritt geeignete Algorithmen zur Beschreibung der auftretenden Phänomene benötigt. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Simulation bewegter Oberflächen, wie sie z. B. bei der Simulation des Ätzens auftreten. Es wurden zwei Algorithmen zur Simulation von dreidimensionalen Topographieprozessen entwickelt. Beide Algorithmen basieren auf triangulierten Oberflächengittern.

Der erste Algorithmus erkennt und entfernt sogenannte globale Schleifen. Dabei handelt es sich um inkonsistente Strukturen, die dadurch entstehen, daß sich zwei oder mehrere nicht direkt benachbarte Dreiecke schneiden. Solche globale Schleifen können überall dort auftreten, wo sich Fronten von triangulierten Oberflächen aufeinander zubewegen, wie z. B. bei der dreiecksbasierten Simulation der Schichtabscheidung. Es wurde ein Verfahren entwickelt, welches das Entfernen globaler Schleifen auch bei Mehrschichtstrukturen gestattet und dabei – falls nötig – vorher getrennte Materialregionen miteinander verbindet. Der Algorithmus konnte bei Ein- und Mehrschichtstrukturen erfolgreich auch im Rahmen von industriellen Benchmarks eingesetzt werden.

Fig. 1 zeigt eine Einschichtstruktur sowohl mit als auch ohne globale Schleife, die vor dem Entfernen der globalen Schleife aus 3936 Dreiecken besteht. Praktische Anwendung findet das Verfahren zum Entfernen globaler Schleifen z. B. bei der Simulation der Poly-Buffered-Locos (PBL)-Oxidation. Dort

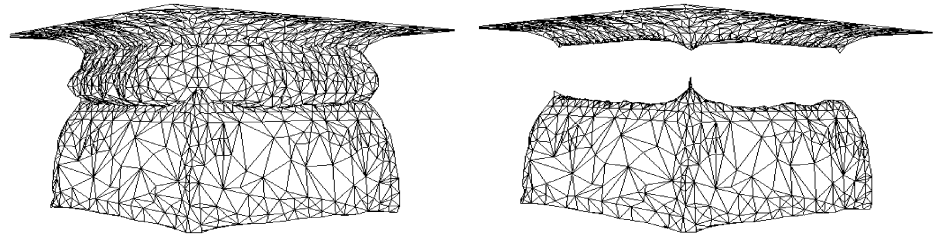


Fig. 1: Einschichtstruktur mit (links) und ohne (rechts) globale Schleife; Single-layer structure with (left) and without (right) global loop.

wachsen zwei vormals getrennte Oxidregionen zu einer gemeinsamen zusammen.

Um das Ätzen dreidimensional dreiecksbasiert zu simulieren, wurde der zweite Algorithmus dieser Arbeit entwickelt. Der Algorithmus ermöglicht sowohl isotrope als auch anisotrope Ätztvorgänge. Dazu wurde ein Modul entwickelt, welches Dreifachpunkte und -linien erkennt. Das sind Punkte bzw. Linien, an denen drei oder mehrere Schichten zusammentreffen, wie z. B. an Maskenkanten. Eine zuverlässige Erkennung dieser Dreifachelemente ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Simulation des Unterätzens. Die zu bewegenden Dreiecke werden dann punktweise gemäß zuvor berechneter Ätzraten und Ätzvektoren verschoben. Verschiedene Strukturen konnten mit dem Modul erfolgreich geätzt werden, darunter unter anderem der Graben einer Shallow-Trench-Isolation (STI)-Struktur sowie eine Phasenschiebemaske für isolierte und dichte Linien. Fig. 2 zeigt das rein isotrope Ätzen einer Oxidnitridstruktur.

Lenhart, Oliver

*Algorithms for the Triangle-based Three-dimensional Simulation of Moving Surfaces in Semiconductor Technology*

For each process step in three-dimensional triangle-based process simulation, suitable algorithms are needed for the handling of the phenomena occurring. This thesis deals with the simulation of moving surfaces as used e. g. for describing etching processes. Two algorithms for the simulation of three-dimensional topography processes have been developed. They both work on triangulated surface meshes.

The first algorithm detects and removes so-called global loops. These are inconsistent structures which arise when two or more not directly neighbouring triangles intersect. Global loops may occur whenever triangulated surface fronts move towards each other, e. g. when simulating layer deposition. A method has been developed which allows the removal of global loops for multilayer structures and thus is capable of connecting separated regions, if necessary. The algorithm has already successfully been used for single- and multi-layer structures, including industrial benchmarks.

Fig. 1 shows a single-layer structure with and without global loop, consisting of 3936 triangles before loop removal. The global delooping procedure can be applied to the simulation of e. g. poly-buffered-locos (PBL) oxidation. Hereby, two formerly separated oxide regions are connected to a single one.

The second algorithm has been developed to allow the 3D triangle-based simulation of etching processes. The algorithm simulates both isotropic and

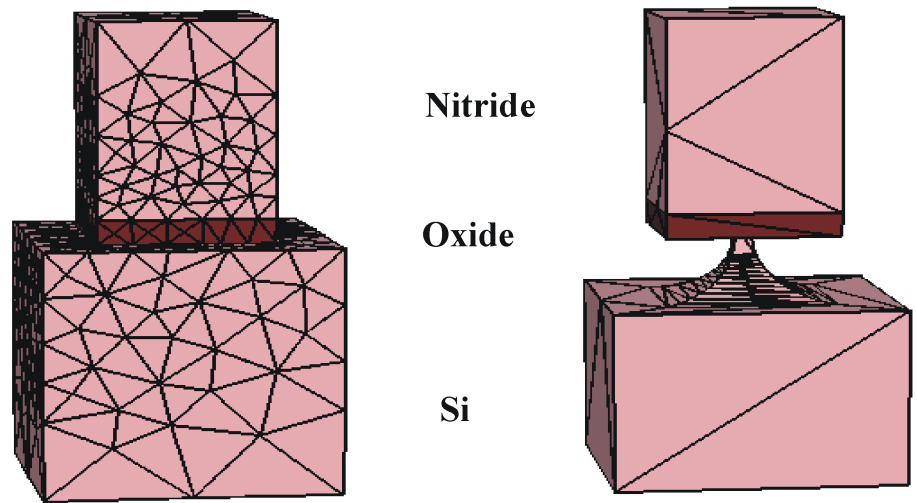


Fig. 2: Isotropes Ätzen eines maskierten Si-Substrates. Nach einigen Ätzschritten wurde das Gitter mit einem externen Programm modifiziert; Isotropic etching of a masked Si substrate. After several etching steps, the grid has been modified using an external program.

anisotropic etching processes. To this end, a module has been developed which detects triple points and triple lines. These are points or lines, respectively, where three or more regions meet each other, e. g. at a mask edge. A reliable detection of triple elements is necessary for the simulation of under-etching. The triangles that have to be moved are shifted pointwise according to etch rates and etch vectors which have been calculated previously. Several structures have already been etched with the newly developed module, including a trench of a shallow-trench-isolation (STI) structure and a phase-shift mask for isolated and dense lines. Fig. 2 shows purely isotropic etching of a Si substrate with an oxide-nitride mask on it.

Schnupp, Ralf

### *Rückseitenkontaktierte Kohlenstoff-Interdigitalelektroden für bioelektronische Anwendungen*

Den Ausgangspunkt für die Durchführung dieser Doktorarbeit bildete die Problematik bioelektronischer Bauelemente, stets eine Kontaktfläche zwischen Flüssigkeiten und Festkörpermaterialien zu besitzen. Dies führt zu einer allmählichen Korrosion der Oberflächen und schließlich zum Funktionsausfall der Systeme. Durch eine räumliche Trennung des elektronischen vom chemischen Teil wird dies vermieden. Das Hauptziel dieser Arbeit bestand daher im Auffinden eines geeigneten Verfahrens zur Rückseitenkontaktierung von Silicium-Halbleiterbauelementen. Einen zweiten Schwerpunkt bildete die Entwicklung eines chemisch langzeitstabilen Dünnschichtmaterials, das als Kontaktelektrode zu den Fluiden einsetzbar ist. Mit diesen beiden Technologien wurde ein Herstellungsprozess für rückseitenkontaktierte Interdigitalelektroden entworfen und durchgeführt.

In dieser Arbeit werden elf Verfahren, die zur Rückseitenkontaktierung in Frage kommen, theoretisch verglichen und hinsichtlich deren Eignung für die vorliegende Aufgabenstellung bewertet. Einen Erfolg versprechenden Ansatz bildet die elektrische Verbindung der beiden Scheibenseiten über anisotrop geätzte Gruben, was die photolithographische Strukturierung in diesen Kavitäten erfordert. Dazu wurden das Aufschleudern mikrosystemtechnischer Speziallacke und der elektrochemische Lackauftrag in diesen hohen Topographien untersucht. Durch die Optimierung der Abscheide-, Belichtungs- und Entwicklungsprozesse des Galvaniklacks in den anisotrop geätzten Gruben wurde dessen Eignung für die vorliegende Aufgabenstellung erreicht.

In der elektrochemischen Analyse wird Glas-Kohlenstoff als Standard-Elektrodenmaterial eingesetzt, der aber nicht mit dünnschichttechnologischen Verfahren herstellbar ist. Die Nebeneinanderstellung aller Kohlenstoffmodifikationen zeigt, dass diamantähnliche Kohlenstoffschichten vergleichbare elektrochemische Qualitäten besitzen und weitere Vorzüge wie beispielsweise eine hohe chemische und mechanische Beständigkeit aufweisen. Einen Hauptteil dieser Arbeit bildet die Abscheidung diamantähnlicher Kohlenstoffschichten mittels der HF-Magnetronkathodenzerstäubung und die ausführliche Charakterisierung der physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Dünnschichten.

Beide entwickelten Prozessschritte wurden abschließend in einem neuartigen Herstellungsprozess zur Fertigung rückseitenkontaktierter Kohlenstoff-Interdigitalelektroden kombiniert (vgl. Fig. 1), deren geometrischer Aufbau durch eine vorangestellte Simulation der elektrischen Feldverteilung optimiert wurde.

Diese Bauelemente besitzen eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten für bioelektronische Anwendungen. In dieser Arbeit wurden exemplarisch zwei Sensoren zur Bestimmung der Feuchtigkeit in Gasen und zur Messung der Leitfähigkeit in Flüssigkeiten realisiert und charakterisiert, wodurch die Eignung der entwickelten Prozesse bestätigt wurde.

Ein Beispiel für eine Kennlinie der hergestellten Leitfähigkeitssensoren ist in Fig. 2 wiedergegeben. Bei einer Messfrequenz von 100 kHz wird eine lineare Kennlinie über einen Leitfähigkeitsbereich von 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis 20  $\text{mS}/\text{cm}$  erreicht.

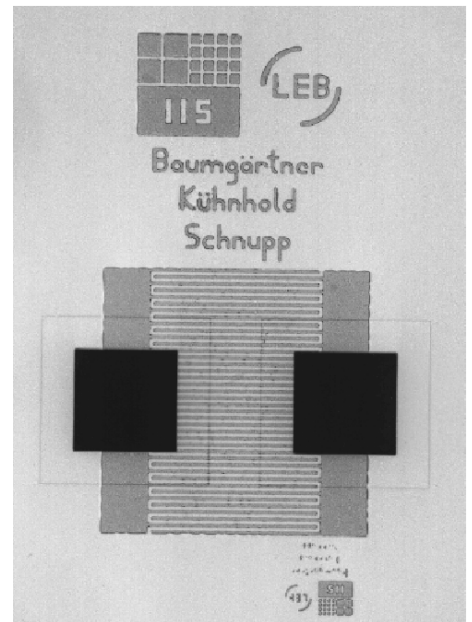


Fig. 1: Aufsicht auf hergestellte rückseitenkontaktierte Kohlenstoff-Interdigitalelektroden mit 10  $\mu\text{m}$  Fingerbreite;  
Top view of a fabricated backside-contacted carbon interdigitated array with 10  $\mu\text{m}$  electrode width.

Schnupp, Ralf

*Backside-contacted Carbon Interdigitated Arrays for Bioelectronic Applications*

The starting point for this PhD thesis was the problematic nature of bio-electronic devices arising from the contact area between the liquid and the solid-state phases. This leads to a gradual corrosion of the surfaces and finally to breakdown of the systems. Therefore, one objective of this investigation was the development of a backside-contacting method for silicon devices enabling the separation of the electronic part from the chemical environment. Furthermore, a thin-film electrode material realizing the liquid contact and showing an excellent long-term stability had to be found. Using these two technologies, a fabrication process for backside-contacted interdigitated arrays had to be designed and carried out.

Eleven methods showing the ability to realize backside contacts on principle were compared theoretically and rated by their suitability for the given requirements. A promising technique was the electrical connection of both sides of the silicon substrate using anisotropically etched cavities. This method requires photolithographic patterning steps in the etched pits. For that purpose, special spin-on resists designed for microsystem applications and the electrochemical deposition of suitable resists were investigated. The qualification of the electrochemical resists for lithography in anisotropically etched cavities was achieved after optimization of the deposition, exposure, and developing processes.

Glassy carbon is one standardized electrode material used in electrochemical analysis. Unfortunately, glassy carbon

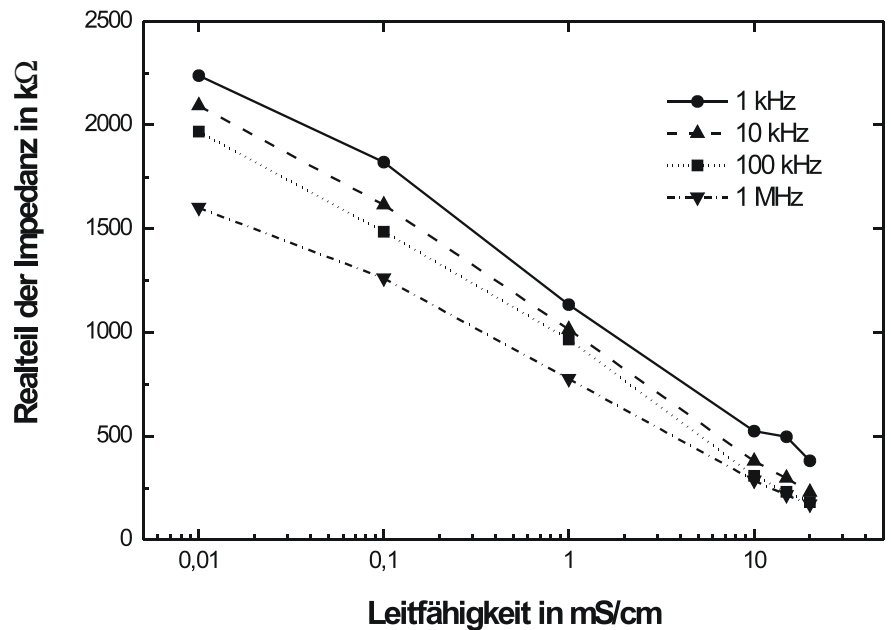


Fig. 2: Realteil der Impedanz eines hergestellten Feuchtigkeitssensors als Funktion der Leitfähigkeit bei unterschiedlichen Meßfrequenzen; Impedance of a fabricated humidity sensor as a function of conductivity at different sample frequencies.

cannot be deposited using thin-film technologies at low temperatures. A comparison of all carbon modifications indicated that diamond-like carbon films show similar properties. Besides, they have further advantages like e.g. a high mechanical and chemical resistance. Therefore, one main part of this work was the deposition of diamond-like carbon films using r.f. magnetron sputtering and the extensive characterization of physical and chemical properties of these thin films.

Finally, the two developed processes were combined in a novel process sequence for the fabrication of backside-contacted carbon interdigitated arrays (see fig. 1). The geometrical design of the arrays was optimized using simulations of the electric field distribution.

These devices offer a multitude of possibilities using them in several bioelectronic applications. In this thesis, two sensors for the detection of humidity in gases and the measurement of conduc-

tivity in liquids were exemplary realized and characterized, proving the excellent behavior of the developed processes.

An example for the characteristics of the fabricated conductivity sensors is shown in fig. 2. A linear decrease of the impedance within a conductivity range of 10  $\mu$ S/cm to 20 mS/cm was achieved at a sample frequency of 100 kHz.

Stiebel, Dorothee

*Modellierung von transienten Effekten bei der Diffusion von Bor in Silicium*

Die Herstellung von Bauelementen wird auch noch in der nächsten Generation auf die Ionenimplantation als Methode zum Einbringen von Dotieratomen in Silicium angewiesen sein. Während der Temperung, die nach der Ionenimplantation zur Aktivierung der Dotieratome und zur Ausheilung der Schäden benötigt wird, treten jedoch unerwünschte Effekte auf. Viele Dotieratome weisen eine stark erhöhte, transiente Diffusion auf, während die elektrische Aktivierung deutlich unter der Löslichkeit bleiben kann. Für die Optimierung der Prozeßführung benötigt man vorhersagefähige, physikalisch basierte Modelle, die Simulationen mit einem vernünftigen Rechenaufwand erlauben.

Die Entwicklung physikalisch basierter Modelle wurde erst durch die erheblichen Fortschritte der letzten Jahre im Verständnis der Einflüsse ausgedehnter Defekte auf das Dotieratomverhalten ermöglicht. In diesem Zusammenhang wurde gezeigt, daß für die Berechnung der Verbreiterung des Dotieratomprofils während einer Temperung die genaue Kenntnis der Übersättigung von Eigenzwischengitteratomen als Funktion der Zeit erforderlich ist. Für die Modellierung der Übersättigung ist gerade die Dynamik der Eigenzwischengitteratom-Agglomerate von großer Bedeutung. Weiterhin wird sowohl die Anzahl der beweglichen als auch der aktiven Dotieratome durch die Bildung von Komplexen begrenzt. Daher muß auch die Dynamik dieser Komplexe in die Simulationsmodelle eingehen.

Das Thema dieser Dissertation ist die Untersuchung der Diffusion und Aktivierung von Bor nach der Ionenimplan-

tation. Betrachtet man lediglich nichtamorphisierende Implantationen, müssen Effekte verursacht durch Punktdefekte, kleine und mittlere Eigenzwischengitteratom-Agglomerate (Nano-Cluster, {113}-Defekte) und Bor-Eigenzwischengitteratom-Komplexe berücksichtigt werden. In der Vergangenheit wurden experimentelle Untersuchungen und Simulationen verwendet, um mehr über die Dynamik dieser Defekte zu lernen. Für ausgedehnte Defekte, die mittels Transmissionselektronenmikroskop detektierbar sind, können Studien über ihre Bildung und ihr Auflösen in der Literatur gefunden werden. Für Punktdefekte, Nano-Cluster und Bor-Eigenzwischengitteratom-Komplexe, die nicht mit dieser Methode beobachtet werden können, wurden meist indirekte Untersuchungen angewendet. Darüber hinaus können atomistische Simulationen Parameter z.B. für die Stabilität verschiedener Defektarten zur Verfügung stellen.

In der vorliegenden Arbeit wurden alle oben genannten Methoden verwendet, um ein physikalisch basiertes Modell für die Diffusion und Aktivierung von Bor nach der Ionenimplantation zu entwickeln und zu testen. Da Ansätze für die Reaktionen zwischen freien Punktdefekten und für die Bildung und das Auflösen von Eigenzwischengitteratom-Agglomeraten bereits zur Verfügung standen, waren Untersuchungen in diesem Bereich nicht notwendig. Allerdings wurde eine systematische Untersuchung der Dynamik der Bor-Eigenzwischengitteratom-Komplexe durchgeführt. Mit Hilfe der Variation der Ausheilbedingungen konnte ein Temperatur- und Zeitfenster für die Bildung und das Auflösen dieser Komplexe bestimmt werden.

Die Modellentwicklung basiert auf Parametern aus atomistischen Berechnungen, wobei sich einige hundert partielle Differentialgleichungen und eine noch

größere Anzahl von Parameter ergeben. Da der mögliche Fehler in atomistischen Berechnungen beachtlich sein kann, müssen die Parameter an experimentelle Ergebnisse angepaßt werden. Die Anpassung einer solchen großen Parameteranzahl an eine einzige experimentelle Untersuchung ist jedoch nicht vernünftig. Daher wurde das Modell in Teile aufgespalten und jeder Teil wurde einzeln getestet und angepaßt. Dafür fanden sowohl die oben angesprochene experimentelle Untersuchung als auch eine große Anzahl von Daten aus anderen Forschungsgruppen und aus der Literatur Verwendung. Vor der Kopplung der einzelnen Modellteile erfolgte eine drastische Reduktion der Gleichungsanzahl. Es wurde gezeigt, daß die Bildung und das Auflösen der Bor-Eigenzwischengitteratom-Komplexe durch ein sehr viel einfacheres Modell beschrieben werden kann als die atomistischen Simulationen vermuten lassen. Der stark reduzierte Modellteil, der den Einfluss von Nano-Clustern und {113}-Defekten auf die transient erhöhte Diffusion beschreibt, ist jedoch nicht auf die Beschreibung der Bordiffusion beschränkt. Statt dessen kann er auf alle Dotieratome, die überwiegend als Paare mit Eigenzwischengitteratome diffundieren, angewendet werden. Das gekoppelte Modell stellt nun einen breit getesteten Ansatz dar, der alle heute bekannten physikalischen Aspekte beinhaltet. Die durchgeführte Reduktion auf lediglich vierzehn Gleichungen führt zu einer Verkürzung der Simulationszeit um fünf Größenordnungen und erlaubt daher die Anwendung dieses Modells in kommerziellen Programmen.

Stiebel, Dorothee

*Modeling of Transient Effects for Diffusing Boron into Silicon*

Manufacturing of the next generation of devices will still depend on ion implantation for introducing dopants into silicon. But during the annealing required after ion implantation to activate the dopants and to anneal the damage, undesirable effects occur. Dopants such as boron, arsenic, and indium which diffuse predominantly via pairs with self-interstitials show a strongly enhanced diffusion. The term "transient enhanced diffusion" prevailed because the diffusivity enhancement decreases with the annealing time and finally vanishes. As a further undesired effect, dopants form complexes even at concentrations well below the solubility limit resulting in a reduced activation. The dissolution of these complexes requires a relatively high thermal budget which is often linked to a large profile broadening due to transient enhanced diffusion. Obtaining a critical point where a further reduction of the device size is limited by the transient enhanced diffusion, the industry needs optimized process conditions for the production of future device generations. In particular for the detection of process parameters to obtain maximum activation with minimum broadening of the implanted profile, simulations become more and more important. For optimization, predictive, physical-based models are needed allowing simulations with a reasonable computational effort.

The development of physical-based models became possible by the substantial progress made during the last years in understanding the influence of extended defects on the dopant behavior. In this connection, it was shown that the calculation of the broadening

of the dopant profile during annealing requires the precise knowledge of the self-interstitial supersaturation as a function of time. For modeling this supersaturation, the dynamics of self-interstitial clusters is of particular importance. In addition, the number of both, mobile and active dopant atoms, is limited by the formation of complexes. Therefore, the dynamics of these complexes also have to be included in the simulation models.

Subject of this thesis is the investigation of boron diffusion and activation after ion implantation. Considering only non-amorphizing implants, effects caused by point defects, by small and medium self-interstitial clusters (nanoclusters, {113}-defects), and by boron-interstitial complexes have to be taken into account. In the past, experimental investigations and atomistic simulations have been used to learn more about the dynamics of these defects. For extended defects which are detectable by transmission electron microscopy as {113}-defects, studies on their formation and dissolution can be found in literature. For point defects, nanoclusters and boron-interstitial complexes which are not observable by this method, indirect investigations as the reverse modeling of diffusion profiles have been mostly applied. Moreover, atomistic simulations can provide parameters e.g. for the stability of the different kinds of defects.

In this work, all the methods mentioned above were used to develop and test a physical-based model for boron diffusion and activation after ion implantation. Because approaches were already available for the reaction between free point defects and for the formation and dissolution of self-interstitial clusters, further studies were not necessary in this field. But a systematic experiment has been performed to investigate the dynamics of boron-inter-

stitial complexes. Varying the annealing conditions, the temperature and time frame for the formation and dissolution of these complexes was identified.

The model development was based on parameters from atomistic simulations resulting in some hundred partial differential equations and even more parameters. Because the possible error in atomistic calculations can be considerable, parameters have to be fitted to experimental results. But fitting such a large number of parameters using only one experimental investigation is unreasonable. Therefore, the model was divided into parts and each model part was individually tested and fitted. For this procedure, the experimental investigation mentioned above, but also a large number of data from other research groups and from literature were used. Before coupling the model parts, the number of equations was drastically reduced. It was shown that the formation and dissolution of boron-interstitial complexes can be described by a much simpler model as proposed by atomistic simulations. Moreover, the heavily reduced model part describing the influence of nanoclusters and {113}-defects on transient enhanced diffusion is not restricted to the description of boron diffusion. Instead, it can be applied to all dopants diffusing predominantly via pairs with self-interstitials. After coupling the model parts, the parameters of this model were slightly varied again to fit different relevant experiments. The final model is a widely tested approach including all physical aspects known today. The performed reduction from some hundred to only fourteen partial differential equations results in the decrease of the simulation time by five orders of magnitude and therefore allows the application of this model in commercial software tools.



# Publikationen Publications

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge

Edited Books / Contributions to Books

Krause, Oliver

*Entwicklung eines Modelles zur Diffusion von Aluminium in Silicium*

Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 4/2002, Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag, Aachen, 2002

Kühnhold, Ralf

*Entwurf und Herstellung von integrierten ionensensitiven Feldeffekttransistoren in CMOS-Technologie*

Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 2/2002, Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag, Aachen, 2002

Lenhart, O.:

*Algorithmen für die dreiecksbasierte dreidimensionale Simulation bewegter Oberflächen in der Halbleitertechnologie*

Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 5/2002, Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag, Aachen, 2002

Schnupp, Ralf

*Rückseitenkontaktierte Kohlenstoff-Interdigitalelektroden für bioelektronische Anwendungen*

Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 3/2002, Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag, Aachen, 2002

Stiebel, Dorothée

*Modellierung von transienten Effekten bei der Diffusion von Bor in Silicium*

Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 1/2002, Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag, Aachen, 2002

Publikationen  
Publications

Bär, E., Lorenz, J., Ryssel, H.:

*Simulation of the Influence of Via Sidewall Tapering on Step Coverage of Sputter-deposited Barrier Layers*  
Microelectronic Engineering, 64, 321, 2002

Bäumler, M., Diwo, E., Jantz, W., Sahr, U., Müller, G., Grant, I.:

*Optical Evaluation of Spatial Carrier Concentration Fluctuations in Doped InP Substrates*  
Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Symposium on Compound Semiconductors, 2002

Billmann, M., März, M.:

*Die neue Generation von Leichtbaurobotern*  
VμE Nachrichten, 7, 1, 2002

Billmann, M., März, M.:

*Leistungselektronik für DLR Leichtbauroboter*  
Mitteilungen des Fraunhofer IISB, 1, 3, 2002

Birkmann, B., Weingärtner, R., Wellmann, P., Wiedemann, B., Müller, G.:  
*Analysis of Silicon Incorporation into VGF-grown GaAs*

Journal of Crystal Growth, 237 - 239, 345, 2002

Boubekeur, H., Mikolajick, T., Nagel, N., Bauer, A., Frey, L., Ryssel, H.:

*Effect of Barium Contamination on Gate Oxide Integrity in High-k DRAM*  
Journal of Non-Crystalline Solids, 303, 12, 2002

Burenkov, A., Lorenz, J.:

*Three-dimensional Simulation of the Channel Stop Implant Effects in Sub-quarter Micron PMOS Transistors*  
Proceedings of the 32<sup>nd</sup> European Solid-State Device Research Conferen-

ce, ESSDERC 2002, Florence, Italy, 339, 2002

Derby, J., Daoutidis, P., Kwon, Y., Pnady, A., Sonda, P.M., Vartak, B., Yeckel, A., Hainke, M., Müller, G.:  
*High Performance Computing, Multi-scale Models for Crystal Growth Systems*

High Performance Scientific and Engineering Computing, Eds.: M. Breuer, F. Durst, C. Zenger, Lecture Notes in Computational Science and Engineering, Springer, Heidelberg, 185, 2002

Dirnecker, T., Ruf, A., Frey, L., Beyer, A., Bauer, A.J., Henke, D., Ryssel, H.:

*Influence of Photoresist Pattern on Charging Damage During High Current Ion Implantation*

Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Plasma and Process-Induced Damage, 106, 2002

Erdmann, A., Kachwala, N.:

*Enhancements in Rigorous Simulation of Light Diffraction from Phase Shift Masks*

Proceedings of SPIE, 4691, 1156, 2002

Frey, L., März, M.:

*Verkohlttes Silicium - Neues Halbleitermaterial für die Leistungselektronik*  
Design-Elektronik, 01, 40, 2002

Friedrich, J., Backofen, R., Müller, G.:  
*Numerical Simulation of Grain Structure and Global Heat Transport During Solidification of Technical Alloys in MSL Inserts under Diffusive Conditions*

Advanced Space Research 29, 4, 549, 2002

Fujita, M., Tajima, J., Nakagawa, T., Abo, S., Kinomura, A., Pászti, F., Takai, M., Schork, R., Frey, L., Ryssel, H.:  
*Development of Enhanced Depth-resolution Technique for Shallow Dopant Profiles*

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 190, 26, 2002

- Grant, I.R., Sahr, U.:  
*Growth of InP and GaAs Substrat Crystals by the Vertical Gradient Freeze Method*  
Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, 413, 2002
- Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Numerical Study of the Effects of Rotating Magnetic Fields During VGF Growth of 3" GaAs Crystals*  
Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Pamir Conference, 1, 2002
- Hainke, M., Jung, T., Friedrich, J., Fischer, B., Metzger, M., Müller, G.:  
*Equipment and Process Modeling of Industrial Crystal Growth Using the Finite Volume Codes CrystVUn and STHAMAS*  
Process in Industrial Mathematics, Eds.: A.M. Anile, V. Capasso, A. Greco, Springer, 218, 2002
- Hettwer, A., Benesch, N., Schneider, C., Pfitzner, L., Ryssel, H.:  
*Phi-Scatterometry for Integrated Linewidth and Process Control in DRAM Manufacturing*  
IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 15, 4, 470, 2002
- Krause, O., Pichler, P., Ryssel, H.:  
*Determination of Aluminum Diffusion Parameters in Silicon*  
Journal of Applied Physics, 91, 9, 5645, 2002
- Leistner, T., Lehmbacher, K., Härter, P., Schmidt, C., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.:  
*MOCVD of Titanium Dioxide on the Basis of New Precursors*  
Journal of Non-Crystalline Solids, 303, 64, 2002
- Lenhart, O., Bär, E.:  
*Three-dimensional Triangle-based Simulation of Etching Processes*  
Proceedings of the 2002 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices, SISPAD 2002, Kobe, Japan, 127, 2002
- März, M.:  
*Unternehmensnetzwerk Leistungselektronik für den Mittelstand*  
Mechatronik News, 1, 1, 2002
- März, M.:  
*Energiesparende Kleinantriebe*  
Drives&Motion, GIT-Verlag, 1, 22, 2002
- Mannsbart, W., Cremer, C., Jochem, E., Marscheider-Weidemann, F., Nathani, C., Ostertag, K., Radgen, P., Schleich, J., Schломann, B., Schmidt, C., Schön, M., Walz, R.:  
*Rationelle Energieverwendung*  
Brennstoff-Wärme-Kraft-BWK 54, 4, 91, 2002
- Molchanov, A., Hilburger, U., Friedrich, J., Finkbeiner, M., Wehrhan, G., Müller, G.:  
*Experimental Verification of the Numerical Model for a CaF<sub>2</sub> Crystal Growth Process*  
Crystal Research and Technology, 37, 77, 2002
- Müller, G., Birkmann, B.:  
*Optimization of VGF-growth of GaAs Crystals by the Aid of Numerical Modeling*  
Journal of Crystal Growth, 237-239, 1745, 2002
- Müller, G., Friedrich, J.:  
*Juwelen für Innovation*  
Schott Info 100, 12, 2002
- Müller, G., Friedrich, J.:  
*Züchtung von Einkristallen - eine Herausforderung für Wissenschaft und Technik*  
Nachrichten des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik 8, 2, 2002
- Müller, G.:  
*Experimental Analysis and Modeling of Melt Growth Processes*  
Journal of Crystal Growth, 237, 1628, 2002
- Pätzold, O., Fischer, B., Cröll, A.:  
*Melt Flow and Species Transport in  $\mu$ g-gradient Freeze Growth of Germanium*  
Crystal Research Technology, 37, 1058, 2002
- Petrik, P., Khánh, N.Q., Horváth, Z.E., Zolnai, Z., Bársony, I., Lohner, T., Fried, M., Gyulai, J., Schmidt, C., Schneider, C., Ryssel, H.:  
*Characterisation of Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>TiO<sub>3</sub> Films Using Spectroscopic Ellipsometry, Rutherford Backscattering Spectrometry and X-Ray Diffraction*  
Journal of Non-Crystalline Solids, 303,179, 2002
- Pfitzner, L., Küchner, P.:  
*A Roadmap towards Cost Efficient 300 mm Equipment*  
Microelectronic Engineering, Elsevier Verlag, Amsterdam, 2002
- Pichler, P., Stiebel, D.:  
*Current Status of Models for Transient Phenomena in Dopant Diffusion and Activation*  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms 186, 1 - 4, 256, 2002
- Pichler, P.:  
*Current Understanding and Modeling of Boron-interstitial Clusters*  
Mat. Res. Soc. Symposium, Proceedings 717, Silicon Front-end Junction Formation Technologies, Hrsg.: D. F. Downey, M. E. Law, A. P. Claverie, M. J. Rendon, C3.1.1-C3.1.12, 2002

- Pichler, P.:  
*Properties of Vacancies in Silicon Determined from Laser-annealing Experiments*  
Proceedings of the 32<sup>nd</sup> European Solid-State Device Research Conference, 24 - 26 September 2002, Florence, Italy, ESSDERC 2002, University of Bologna, Hrsg.: G. Bacarani, E. Gnani, M. Rudan, 335, 2002
- Roeder, G., Schellenberger, M., Schneider, C.:  
*EuSIC: The Information Network Grows (Part 2)*  
Future Fab, 13, 174, 2002
- Rommel, M., Zoth, G., Ullrich, M., Ryssel, H.:  
*Recombination Lifetimes of Iron-contaminated Silicon Wafers: Characterization through a Single Set of Capture Cross-sections*  
Solid State Phenomena, 82, 84, 373, 2002
- Sahr, U., Müller, G.:  
*Photoluminescence Topography of Sulfur doped 2" InP Grown by the Vertical Gradient Freeze Technique*  
Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, 405, 2002
- Sahr, U., Müller, G.:  
*Growth of InP Substrate Crystals by the Vertical Gradient Freeze Technique*  
Proceedings of the 12<sup>th</sup> Semiconducting and Insulating Materials Conference, 2002
- Schimanek, E., März, M.:  
*Thermal Aspects on Inverter Motors*  
Proceedings of the 2nd International Conference on Integrated Power Systems, Bremen, 115, 2002
- Schmidt, C., Radgen, P.:  
*Zertifizierung von industriellen KWK-Anlagen nach der FW 308: Anforderungen, Schwierigkeiten,*  
*Lösungsansätze*  
Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (AGFW): Aktuelle Fragen der Kraft-Wärme-Kopplung und der Wärmeverteilung, Frankfurt/Main, AGFW, 60, 2002
- Schneider, C.:  
*EuSIC - an Information Network for Innovation and Standardization in APC and Factory Integration*  
Future Fab International, 12, 125, 2002
- Svorcik, V., Rockova, K., Dvorancova, B., Broz, L., Hnatowicz, V., Öchsner, R., Ryssel, H.:  
*Cell Adhesion on Modified Polyethylene*  
Journal of Materials Science, 37, 1183, 2002
- Tollkühn, B., Erdmann, A., Kivel, N., Robertson, S., Kang, D., Hansen, S., Chiou, T.B., Fumar-Pici, A., Hoppe, W.:  
*New Methods to Calibrate Simulation Parameters for Chemically Amplified Resists*  
Proceedings of SPIE, 4691, 1168, 2002
- Trunk, R., Schmid, H., Schneider, C., Pfitzner, L., Ryssel, H., Bernhardt, H., Marx, E.:  
*HandMon-ISPM: Handling Monitoring in a Loading Station of a Furnace*  
Proceedings of the 13<sup>th</sup> Annual IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop 2002, Boston, Massachusetts, 113, 2002
- Vial, A., Erdmann, A., Schmöller, T., Kalus, C.K.:  
*Modification of Boundaries Conditions in the FDTD Algorithm for EUV Masks Modeling*  
Proceedings of SPIE, 4754, 890, 2002
- Vizman, D., Gräbner, O., Müller, G.:  
*3D Numerical Simulation and Experimental Investigations of Melt Flow in a Si Czochralski Melt under the Influence of a Cusp-magnetic Field*  
Journal of Crystal Growth, 236(4), 545, 2002
- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:  
*HMCZ and EMCZ in the Industrial Czochralski Growth of 300 mm Si Crystals*  
Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Pamir Conference, Fundamental and Applied MHD, Ramatuelle, France, 19, 2002
- Zürcher, S., Morstein, M., Spencer, N.D., Lemberger, M., Bauer, A.:  
*New Single-source Precursors for the MOCVD of High-k Dielectric Zirconium Silicates to Replace SiO<sub>2</sub> in Semiconducting Devices*  
Chem. Vap. Deposition, 8, 4, 171, 2002

Vorträge  
Presentations

Ardelan, G., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Modeling of Crystal Growth Processes*  
Annual Conference of the Physics Faculty from Timisoara  
Timisoara, Rumänien  
29. - 30. November 2002

Auer, J., Hack, C., Berwian, P., Müller, G.:  
*Preparation of CuInSe<sub>2</sub> Homoepitaxial Thin Films under Variation of the Deposition Technique*  
Poster Presentation at the EMRS Spring Meeting  
Straßburg, Frankreich  
18. - 21. Juni 2002

Banos, N., Friedrich, J., Müller, G.:  
*STHAMAS - a Powerful Computer Program for Numerical Simulation of Czochralski Type Growth Processes*  
Annual Conference of the Physics Faculty from Timisoara  
Timisoara, Rumänien  
29. - 30. November 2002

Bär, E.:  
*Introduction to IST Project MULSIC*  
ATOL/ALAD1N Workshop  
IMEC, Leuven, Belgien  
26. Juni 2002

Bär, E., Lenhart, O., Lorenz, J., Nguyen, H., Frey, P.:  
*Surface Meshing and Structure Generation*  
2<sup>nd</sup> Review Meeting of the IST Project MAGIC\_FEAT  
Brüssel, Belgien  
24. Juni 2002

Bär, E.:  
*Overview of the MULSIC Project*  
Review of the IST Project MULSIC  
ISE AG, Zürich, Schweiz  
19. Juni 2002

Bär, E., Lorenz, J., Ryssel, H.:  
*Simulation of the Influence of Via Side-wall Tapering on Step Coverage of Sputter-deposited Barrier Layers*  
Poster Presentation at MAM 2002, Materials for Advanced Metallization  
Vaals, Niederlande  
3. - 6. März 2002

Bär, E.:  
*WP3: Topography Simulation*  
Review of the IST Project MULSIC  
ISE AG, Zürich, Schweiz  
19. Juni 2002

Bauer, A.J.:  
*Novel Metal-organic Precursors for MOCVD Processes of High-k Dielectric and Metal Gate Electrode Stacks for Future CMOS-Generations*  
DFG-Schwerpunktprogramm SPP 1119 „Inorganic Materials by Gas Phase Synthesis: an Interdisciplinary Approach for the Development, Understanding and Control of CVD-Processes“  
Bochum  
9. Dezember 2002

Bauer, A.J.:  
*Grenzflächenuntersuchungen an Übergängen von elektrochemischen Materialien zu Metallen und Silicium*  
DFG-Schwerpunktprogramm 1157 „Integrierte Elektrokeramische Funktionsstrukturen“, Kick-off Meeting  
Bonn  
20. - 21. November 2002

Berwian, P., Weimar, A., Müller, G.:  
*In-situ Resistivity Measurements of Precursor Reactions in the Cu-In-Ga System*  
Poster Presentation at the EMRS Spring Meeting  
Straßburg, Frankreich  
18. - 21. Juni 2002

Berwian, P., Hirmke, A., Brummer, A., Müller, G.:  
*In-situ Investigation of the Stacked Elemental Layer Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Precursor Kinetics*  
Poster Presentation at the 13<sup>th</sup> International Conference of Ternary and Multinary Compounds  
Paris, Frankreich  
14. - 18. Oktober 2002

Birkmann, B., Meissner, E., Sun, G.L., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Grundlagen für die GaN-Züchtung und Substratentwicklung*  
BMBF-Workshop „GaN-Elektronik“  
Bonn  
17. April 2002

Derby, J.J., Pandey, A., Yeckel, A., Hainke, M., Müller, G.:  
*Computing Free Boundaries for Models of Melt Crystal Growth: Sharp and Diffuse Interface Methods*  
14<sup>th</sup> American Conference on Crystal Growth and Epitaxy ACCGE--14  
Seattle, WA, USA  
4. - 9. August 2002

Dirnecker, T., Bauer, A.J., Beyer, A., Frey, L., Henke, A., Ruf, D., Ryssel, H.:  
*Influence of Antenna Shape and Resist Patterns on Charging Damage During Ion Implantation*  
14<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology IIT 2002  
Taos, New Mexico, USA  
22. - 27. November 2002

Dirnecker, T.:  
*Untersuchung von Aufladungseffekten während der Ionenimplantation anhand von MOS-Kondensatoren*  
Nutzertreffen Ionenimplantation IISB, Erlangen  
8. November 2002

Dirnecker, T.:  
*Influence of Photoresist Pattern on Charging Damage During High Current Ion Implantation*

- 7<sup>th</sup> International Symposium on Plasma and Process-induced Damage  
Maui, Hawaii, USA  
6. - 7. Juni 2002
- Erdmann, A., Schmöller, T., Kalus, C.K.:  
*Rigorous Simulation der Photolackbelichtung über strukturierten Wafern*  
103. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik  
Innsbruck, Austria  
24. Mai 2002
- Erdmann, A., Kalus, C.K., Schmöller, T., Vial, A., Wolter, A.:  
*Advanced Simulation Approaches for Extreme Ultraviolet Lithography*  
SEMATECH International-EUV-Workshop  
Dallas, USA  
16. Oktober 2002
- Erdmann, A., Kalus, C.K.:  
*Rigorous Simulation of Lithographic Exposure of Photoresist over a Non-planar Wafer*  
19<sup>th</sup> Congress of the International Commission of Optics  
Florenz, Italien  
29. August 2002
- Erdmann, A., Kachwala, N.:  
*Enhancements in Rigorous Simulation of Light Diffraction from Phase Shift Masks*  
SPIE Symposium on Microlithography  
Santa Clara, USA  
5. März 2002
- Erdmann, A.:  
*Simulation of Optical Lithography*  
University of Texas  
Arlington, USA  
18. Oktober 2002
- Erdmann, A.:  
*Enhancements in Rigorous Simulation of Light Diffraction from Phase Shift Masks*  
SPIE Symposium on Microlithography  
Santa Clara, USA
5. März 2002
- Fischer, B.:  
*Numerische Simulation von Kristallzüchtungsprozessen - State of the Art 2002*  
DGKK Workshop "Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"  
Memmelsdorf  
10. - 11. Oktober 2002
- Frickinger, J.:  
*Cleaning Efficiency of FOUP Cleaners and Cleanability of FOUPs and FOSBs*  
Wacker Siltronic  
Burghausen  
24. Juni 2002
- Frickinger, J.:  
*300 mm SEP FOUP Tests at International Sematech and Fraunhofer IISB*  
Tokyo International Forum  
Tokyo, Japan  
6. Dezember 2002
- Frickinger, J.:  
*Control of Airborne Molecular Contamination at Fraunhofer IISB*  
Hitachi Research Laboratory  
Matsudo, Japan  
9. Dezember 2002
- Frickinger, J.:  
*Joint Carrier Project of International Sematech and Fraunhofer IISB*  
International Sematech  
Austin, TX, USA  
13. Mai 2002
- Frickinger, J.:  
*Development of Standards E45-0301, E45-1101, E46-0301 and E108-0301 for Contamination Control in Minienvironments*  
SEMICON Europe  
München  
16. April 2002
- Frickinger, J.:  
*Joint FOUP Lifetime Evaluation by International Sematech and Fraunhofer IISB*
- International Sematech  
Austin, TX, USA  
11. Juli 2002
- Friedrich, J.:  
*Simulation of the Silicon Czochralski Process and Comparison to Experimental Analysis*  
Technology Forum of MEMC  
Meran, Italien  
28. August 2002
- Friedrich, J., Hainke, M.:  
*Überblick über das Verbundvorhaben MICAST*  
MSL Workshop of Astrium  
Friedrichshafen  
5. März 2002
- Friedrich, J., Hainke, M., Mills, L., Pullen, J., Lefaucheur, J.L., Müller, G.:  
*Thermal Modeling of Oxide Crystal Growth Process and its Validation by Well Defined Experiments*  
DGKK AK Kristalle für Laser und Nicht-lineare Optik  
Bonn  
26. - 27. September 2002
- Friedrich, J.:  
*Einsatz von Magnetfeldern in der Halbleiterkristallzüchtung: FE Aktivitäten des Erlanger Kristallabors*  
Workshop "Einsatzmöglichkeiten alternierender Magnetfelder in der III-V-Kristallzüchtung"  
Berlin  
27. November 2002
- Friedrich, J., Birkmann, B.:  
*Low Cost GaN*  
Bosch-Workshop "GaN-Applikationen im low-cost Sektor"  
Stuttgart  
1. Juli 2002
- Friedrich, J.:  
*Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen durch Kombination aus experimentellen Untersuchungen und numerischer Modellierung*

- Technologieforum Schott  
Mainz  
19. März 2002
- Friedrich, J., Haninke, M.:  
*Einsatz der Anlagen und Prozeßmodellierung im Bereich der materialwissenschaftlichen Experimente unter Schwereelosigkeit*  
MSL Workshop of Astrium  
Friedrichshafen  
5. März 2002
- Hack, C., Auer, J., Hussy, S., Müller, G.:  
*Development of a Technology for  $CuInSe_2$ -Homoeopitaxy*  
Poster Presentation at the 13<sup>th</sup> International Conference of Ternary and Multinary Compounds  
Paris, Frankreich  
14. - 18. Oktober 2002
- Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Numerical Study of the Effects of Rotating Magnetic Fields during VGF Growth of 3" GaAs Crystals*  
5<sup>th</sup> International Pamir Conference  
Ramatuëlle, Frankreich  
16. - 20. September 2002
- Hainke, M., Jung, T., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Modellierung des konvektiven Transportes mit dem Softwarepaket CrysVUn: Methodik und Anwendungsbeispiele aus Züchtung und Metallurgie*  
Posterpräsentation auf der DGKK Jahrestagung  
Idar-Oberstein  
20. - 22. März 2002
- Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Numerical Study of the Effects of Rotating Magnetic Fields during VGF Growth of 3" GaAs Crystals*  
DGKK Workshop "Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"  
Memmelsdorf  
10. - 11. Oktober 2002
- Häublein, V., Frey, L., Ryssel, H.:  
*ENCOTION - A New Simulation Tool for Energetic Contamination Analysis*  
Posterpräsentation auf der IIT 2002  
„Ion Implantation Technology"  
Taos, New Mexico, USA  
23. September 2002
- Häublein, V., Walsler, H., Frey, L., Ryssel, H.:  
*Investigation of Lanthanum Contamination from a Lanthanated Tungsten Ion Source*  
Posterpräsentation auf der IIT 2002  
„Ion Implantation Technology"  
Taos, New Mexico, USA  
23. September 2002
- Krause, O., Pichler, P., Ryssel, H.:  
*Aluminiumdiffusion*  
DFG-Kolloquium „Halbleiterbauelemente hoher Leistung"  
Ilmenau  
18. September 2002
- Krause, M., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Systematic Study of the Influence of the Czochralski Hot Zone Design on the Point Defect Distribution with Respect to a "Perfect" Crystal*  
EMRS Spring Meeting  
Straßburg, Frankreich  
18. - 21. Juni 2002
- Krause, O.:  
*Entwicklung eines Modells zur Diffusion von Aluminium in Silicium*  
Promotionsverfahren  
IISB, Erlangen  
30. April 2002
- Krüger, D., Kalus, C.K., Tollkühn, B., Erdmann, A.:  
*New Approaches for the Determination of the Parameters in the Lithography Simulation*  
SPIE Symposium on Microlithography  
Santa Clara, CA, USA  
5. März 2002
- Leistner, T.:  
*Charakterisierung von MOCVD Titan-dioxidschichten auf der Basis von neuartigen Precursoren*  
Kolloquium  
IISB, Erlangen  
10. Juni 2002
- Lemberger, M.:  
*Zirconium Silicate Films Obtained from Novel MOCVD Precursors*  
IV. Symposium  $SiO_2$  and Advanced Dielectrics  
Trient, Italien  
16. - 18. September 2002
- Lemberger, M.:  
*Herstellung und Abscheidung neuartiger metallorganischer Precursoren für Gatedielektrika*  
1. Doktorandenworkshop zum DFG Schwerpunktprogramm „anorganische Materialien durch Gasphasensynthese: Interdisziplinäre Ansätze zu Entwicklung, Verständnis und Kontrolle von CVD-Systemen  
Bochum  
7. - 8. Juni 2002
- Lemberger, M.:  
*Electrical Characterization of Zirconium Silicate Films Obtained from Novel MOCVD Precursors*  
12<sup>th</sup> Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM)  
Grenoble, Frankreich  
18. - 20. November 2002
- Lenhart, O., Bär, E.:  
*Three-dimensional Triangle-based Simulation of Etching Processes*  
Poster Presentation at the 2002 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD 2002)  
Kobe, Japan  
4. - 6. September 2002
- Lorenz, J.:  
*Prozeßsimulation – Forschung für die Anwendung am FhG-IISB*

- Seminar bei austriamicrosystems  
Unterpremstätten, Austria  
15. März 2002
- Lorenz, J.:  
*Technologiesimulation – von Mathematik und Physik hin zur Anwendung*  
Seminar für QED-Verein  
IISB, Erlangen  
4. Januar 2002
- Lorenz, J.:  
*Prozeßsimulation - Beispiele aus der Siliciumtechnologie*  
Vortrag am FhG-SCAI  
St. Augustin  
29. Januar 2002
- Lorenz, J.:  
*Prozeßsimulation - Beispiele aus der Siliciumtechnologie*  
Hausseminar der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg - WW6  
Erlangen  
30. April 2002
- Lorenz, J.:  
*Overview of MAGIC\_FEAT Project Status*  
2<sup>nd</sup> Review Meeting of the IST Project MAGIC\_FEAT  
Brüssel, Belgien  
24. Juni 2002
- Lorenz, J.:  
*Modeling and Simulation ITRS 2002 Update Public Conference*  
San Francisco, CA, USA  
24. Juli 2002
- Lorenz, J.:  
*Modeling and Simulation ITRS 2002 Update Conference*  
Tokyo, Japan  
4. Dezember 2002
- März, M.:  
*Leistungselektronik - Innovationsmotor im Automobil*  
Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen  
14. Januar 2002
- März, M.:  
*Leistungselektronik und Mechatronik im Automobil - Chancen und Herausforderungen*  
Mechatronik Kolloquium  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen  
9. Juli 2002
- Matiut, D., Semmler, A., Erdmann, A.:  
*Modellierung von chemisch verstärkten Photolacken für die optische Lithographie*  
103. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik  
Innsbruck, Austria  
24. Mai 2002
- Molchanov, A., Gräbner, O., Wehrhan, G., Friedrich, J., Müller, G.:  
*In-situ Temperaturmessungen in CaF<sub>2</sub> zur Verifikation von numerischen Modellen*  
DGKK AK Kristalle für Laser und nicht-lineare Optik  
Bonn  
26. - 27. September 2002
- Molchanov, A., Friedrich, J., Wehrhan, G., Müller, G.:  
*Einfluß des Sauerstoffs auf die Kristallqualität bei der Schmelzzüchtung von CaF<sub>2</sub>*  
DGKK Jahrestagung  
Idar-Oberstein  
20. - 22. März 2002
- Molchanov, A., Gräbner, O., Wehrhan, G., Friedrich, J., Müller, G.:  
*In-situ Temperaturmessungen in CaF<sub>2</sub> zur Verifikation von numerischen Modellen*  
DGKK Workshop "Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"  
Memmelsdorf  
10. - 11. Oktober 2002
- Müller, G.:  
*Modeling of Crystal Growth Processes*  
CIMTEC 2002 Conference  
Florenz, Italien  
14. - 17. Juli 2002
- Müller, G., Fischer, B.:  
*Simulation and Modeling for Growth of Bulk Single Crystals*  
International Forum on Science and Technology of Crystal Growth  
Sendai, Japan  
4. - 5. März 2002
- Müller, G., Gräbner, O., Vizmann, D.:  
*Simulation of Crystal Pulling and Comparison to Experimental Analysis CZ-Process*  
Electrochemical Society Meeting, 9<sup>th</sup> International Symposium on Silicon Materials Science and Technology  
Philadelphia, USA  
12. - 17. Mai 2002
- Nikolaev, N.:  
*Simulation of Alignment for Microlithography*  
103. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik  
Innsbruck, Austria  
24. Mai 2002
- Nutsch, A.:  
*CMP: an Essential Process for Wafer Reclaim*  
8. CMP Nutzertreffen  
München  
19. April 2002
- Nutsch, A.:  
*Fraunhofer Gesellschaft, IISB: Analysis and Metrology for Semiconductor Technology*  
Nihon University, College of Engineering  
Koriyama, Japan  
11. Dezember 2002
- Nutsch, A.:  
*Fraunhofer Gesellschaft, IISB*  
Hitachi Plant



Matsudo-shi, Japan 9. Dezember 2002	20. März 2002	Pfeffer, M.: <i>Simulationsuntersuchungen im Rahmen des OEE Projekts</i> OEE-AP5-Projekttreffen Bosch, Reutlingen 24. April 2002
Nutsch, A.: <i>Particulate Contamination from Mini-environments</i> Semi Metrics TF Chiba, Japan 4. Dezember 2002	Öchsner, R.: <i>Arbeiten des IISB im Bereich OEEE</i> M+W Zander IISB, Erlangen 4. April 2002	Pfeffer, M.: <i>Modellierungen zur OEE-Berechnung</i> OEE-AP5-Projekttreffen ZMD, Dresden 6. Juni 2002
Öchsner, R.: <i>APC-Initiative Run-to Run Kontrollverfahren</i> Vorbereitungsworkshop des APC-Projektconsortiums IISB, Erlangen 15. Januar 2002	Öchsner, R.: <i>Activities in the Framework of E-LIMM</i> Arizona State University, Tempe, AZ, USA 9. April 2002	Pfeffer, M.: <i>Aktuelle Arbeiten im Bereich der diskreten Simulation</i> Besuch von Vertretern der Russischen Akademie der Wissenschaften IISB, Erlangen 23. Mai 2002
Öchsner, R.: <i>Introduction of the IISB</i> Kick-off Meeting E-LIMM IISB, Erlangen 4. Juni 2002	Öchsner, R.: <i>From Overall Equipment Efficiency to Overall Factory Effectiveness</i> EMRS, Straßburg, Frankreich 19. Juni 2002	Pfeffer, M.: <i>Diskrete Simulation von Cluster Tools mit Arena</i> Workshop „Simulation und Leistungsbewertung in Fertigungssystemen“ Universität Würzburg, Lehrstuhl für Verteilte Systeme (Informatik III), Würzburg 7. Oktober 2002
Öchsner, R.: <i>General Aspects for Content Creation</i> Meeting E-LIMM, M+W Zander, Stuttgart 30. Juli 2002	Öchsner, R.: <i>Productivity Methods</i> Besuch von Recif IISB, Erlangen 25. September 2002	Pfeffer, M.: <i>Simulationsuntersuchungen im Rahmen des OEE-Projekts</i> 2. OEE-Workshop, IPA, Stuttgart 12. November 2002
Öchsner, R.: <i>Dissemination and Use Plan</i> Meeting E-LIMM, Atmel Rousset, Frankreich 21. November 2002	Öchsner, R.: <i>Fertigungsmethoden und Verfahren am IISB</i> Besuch einer chinesischen Delegation IISB, Erlangen 1. Oktober 2002	Pfeffer, M.: <i>Automation und integrierte Prozeßkontrolle für den Front-End Bereich der Halbleiterfertigung</i> Siemens, Moorenbrunn 15. Mai 2002
Öchsner, R.: <i>Vorstellung des EuSIC Netzwerks</i> OEE-Korsortialtreffen Heilbronn 6. Februar 2002	Öchsner, R.: <i>Multivariate Statistik</i> Infineon, Regensburg 21. Oktober 2002	Pfeffer, M.: <i>A Roadmap Towards Cost Efficient 300 mm Equipment</i> EMRS Tagung, Straßburg, Frankreich 19. Juni 2002
Öchsner, R.: <i>Activities of the IISB in the ITRS Factory Integration Technical Working Group</i> Infineon, München 18. Februar 2002	Öchsner, R.: <i>Aktivitäten im Bereich Fertigungsmethoden und Produktivität</i> Vorstellung für den Mikroelektronikverbund IISB, Erlangen 14. November 2002	
Öchsner, R.: <i>Aktivitäten des IISB zu APC</i> M+W Zander, Stuttgart		

- Pfützner, L.:  
*R&D for 300 mm Technology*  
Intel Fab, Albuquerque, N.M., USA  
25. Juni 2002
- Pfützner, L.:  
*Cost Efficient 300 mm Technology*  
Entegris Forum, Frascati, Italien  
12. September 2002
- Pichler, P.:  
*Transient Phenomena in Silicon Technology and their Impact on Dopant Diffusion and Activation*  
International Workshop on Semiconductor Defect Engineering: Progress and Prospects  
Orléans, Frankreich  
14. - 15. März 2002
- Pichler, P.:  
*Current Understanding and Modeling of Boron-interstitial Clusters*  
2002 MRS Spring Meeting, Symposium C "Si Front-end Junction Formation Technologies"  
San Francisco, CA, USA  
1.-5. April 2002
- Pichler, P.:  
*Transiente Effekte bei der Diffusion und Aktivierung von Dotieratomen*  
Elektronisches Kolloquium des IEEI  
IISB, Erlangen  
11. Juli 2002
- Pichler, P.:  
*Transient Effects during Post-Implantation Annealing*  
6<sup>th</sup> International Conference on Computer Simulation of Radiation Effects in Solids  
COSIRES 2002, Dresden  
23. - 27. Juni 2002
- Pichler, P.:  
*Introduction to FRENDETECH*  
1st FRENDETECH Review Meeting  
Catania, Italien  
6. Juni 2002
- Pichler, P.:  
*Properties of Vacancies in Silicon Determined from Laser-annealing Experiments*  
ESSDERC 2002  
Florenz, Italien  
25. September 2003
- Roeder, G., Schneider, C., Pfützner, L., Ryssel, H.:  
*Untersuchung von Prozeßeinflüssen auf die Schichtdickenmessung mittels in situ Einwellenlängenellipsometrie beim reaktiven Ionenätzen*  
2. Workshop Ellipsometrie, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
Berlin  
18. - 20. Februar 2002
- Roeder, G.:  
*SEMI Integrated Measurement Task Force Europe - Layer Thickness Group: Status Report*  
Equipment Automation Technical Committee Meeting, SEMI International Standards Program, SEMICON Europe 2002  
München  
18. April 2002
- Roeder, G.:  
*Planning Activities for the EuSIC User Group Integrated Metrology*  
Joint meeting of the EuSIC User Group „Integrated Metrology“ and the EuSIC User Group „Software“  
IISB, Erlangen  
15. Mai 2002
- Roeder, G.:  
*Status Report and Activities of the EuSIC User Group „Integrated Metrology“*  
Joint meeting of the EuSIC User Group "Integrated Metrology" and the EuSIC User Group "Software"  
Dresden  
11. Juli 2002
- Roeder, G.:  
*Status Report and Achievements of the Standardization Activities of the European SEMI Integrated Measurement Task Force SEMI IMFT-Standards Meetings*  
SEMICON West (Wafer Manufacturing)  
San Francisco, USA  
23. Juli 2002
- Roeder, G.:  
*European Equipment Automation Committee Metrics Liaison Report*  
SEMICON West (Wafer Manufacturing), SEMI Metrics Committee Meeting  
San Francisco, USA  
24. Juli 2002
- Roeder, G.:  
*Presentation of the Standardization Activities of the SEMI Integrated Measurement Taskforce*  
1<sup>st</sup> Symposium on Current SEMI Standards Information & Control Activities  
Stuttgart  
8. Oktober 2002
- Sahr, U., Müller, G.:  
*Kristallzüchtung von InP mit dem VGF-Verfahren*  
Kolloquium am Institut für Kristallzüchtung  
Berlin  
29. November 2002
- Sahr, U., Bäuml, M., Grant, I., Jantz, W., Müller, G.:  
*Photoluminescence Topography of Sulfur Doped 2" InP Grown by the Vertical Gradient Freeze Technique*  
14<sup>th</sup> International Conference on Indium Phosphide and Related Materials  
Stockholm, Schweden  
12. - 16. Mai 2002
- Sahr, U., Bäuml, M., Grant, I., Jantz, W., Müller, G.:  
*VGF-Züchtung und Charakterisierung von S-dotierten InP-Kristallen*  
DGKK Jahrestagung  
Idar-Oberstein

20. - 22. März 2002  
Sahr, U., Müller, G.:  
*Growth of InP Substrate Crystals by the Vertical Gradient Freeze Technique*  
12<sup>th</sup> Semiconducting and Insulating Materials Conference  
Smolenice Castle, Slovakei  
30. Juni - 5. Juli 2002  
Schellenberger, M.:  
*APC - Initiative Informationstechnik*  
Vorbereitungsworkshop des APC-Projekt-konsortiums  
IISB, Erlangen  
15. Januar 2002  
Schellenberger, M.:  
*Status Report and Activities of the EuSIC User Group "Software"*  
Joint meeting of the EuSIC User Group "Integrated Metrology" and the EuSIC User Group "Software"  
Dresden  
11. Juli 2002  
Schellenberger, M.:  
*Presentation of the Standardization Activities of the SEMI PCS and DQTM Task Forces*  
1<sup>st</sup> Symposium on Current SEMI Standards Information & Control Activities  
Suttgart  
8. Oktober 2002  
Schellenberger, M., Roeder, G., Schneider, C.:  
*Network of Excellence for Advanced Process Control in the Semiconductor Industry*  
Preparation Workshop for the 6<sup>th</sup> EC Framework Programme - APC-Network  
IISB, Erlangen  
12. Dezember 2002  
Schellenberger, M.:  
*Overview about Recent International Standardization Activities*  
Standards Workshop of the EuSIC User Group "Software"  
IISB, Erlangen
28. Februar 2002  
Schellenberger, M.:  
*DIAMANT - Status and Plans at Fraunhofer IISB*  
Meeting with RECIF, IISB, Erlangen  
25. September 2002  
Schellenberger, M.:  
*Startup Activities for a new EuSIC User Group*  
Kick-off Meeting of the EuSIC User Group "Software"  
IISB, Erlangen  
14. Januar 2002  
Schellenberger, M., Schneider, C.:  
*APC-Activities at Fraunhofer IISB*  
Meeting with Si-Automation  
Montpellier, Frankreich  
1. Oktober 2002  
Schellenberger, M.:  
*Planning Activities for the EUSIC User Group „Software“*  
Joint meeting of the EuSIC User Group "Integrated Metrology" and the EuSIC User Group "Software"  
IISB, Erlangen  
15. Mai 2002  
Schimanek, E.:  
*Thermal Aspects on Inverter Motors*  
CIPS 2002  
Bremen  
11. - 12. Juni 2002  
Schneider, C.:  
*Introduction to EuSIC*  
Kick-off Meeting of the EuSIC User Group „Software“  
IISB, Erlangen  
14. Januar 2002  
Schneider, C.:  
*Überblick über den Schwerpunkt APC*  
Vorbereitungsworkshop des APC-Projekt-konsortiums  
IISB, Erlangen  
15. Januar 2002
- Schneider, C.:  
*Introduction to the 6<sup>th</sup> framework Programme of the European Community*  
EuSIC Meeting „Information on the 6<sup>th</sup> Framework Programme“  
IISB, Erlangen  
15. Mai 2002  
Schneider, C.:  
*EuSIC Status Report and Activities*  
EuSIC Member Meeting 2002  
Dresden  
11. Juli 2002  
Schneider, C.:  
*The EuSIC Network*  
Preparation Workshop for the 6<sup>th</sup> EC Framework Programme - APC-Network  
IISB, Erlangen  
12. Dezember 2002  
Schwesig, P., Sahr, U., Müller, G.:  
*Zum Einfluß rotierender Magnetfelder auf die VGF-Züchtung von InP – erste Ergebnisse einer numerischen Simulation*  
DGKK Arbeitskreis "Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen"  
Freiburg  
17. Oktober 2002  
Seng, D., Hack, C., Wellmann, P., Müller, G.:  
*Electrical and Optical Characterization of Monocrystalline CuInSe<sub>2</sub>-Substrates and CuInSe<sub>2</sub> Homoepitaxial Layers*  
EMRS Spring Meeting  
Straßburg, Frankreich  
18. - 21. Juni 2002  
Tollkühn, B.:  
*New Methods to Calibrate Simulation Parameters for Chemically Amplified Resists*  
SPIE Symposium on Microlithography  
Santa Clara, USA  
5. März 2002

- Tollkühn, B., Robertson, S., Kivel, N., Erdmann, A.:  
*Kalibrierung von Modellparametern für die Lithographiesimulation*  
103. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik  
Innsbruck, Austria  
24. Mai 2002
- Tollkühn, B., Erdmann, A., Kivel, N., Robertson, S., Kang, D., Hansen, S., Chiou, T.B., Fumar-Pici, A., Hoppe, W.:  
*New Approaches for the Determination of the Parameters in the Lithography Simulation*  
SPIE Symposium on Microlithography  
Santa Clara, USA  
5. März 2002
- Trunk, R.:  
*HandMon-ISPM: Handling Monitoring in a Loading Station of a Furnace*  
Advanced Semiconductor Manufacturing Conference  
Boston, USA  
30. April - 2. Mai 2002
- Vial, A., Erdmann, A., Schmöller, T., Kalus, C.K.:  
*Modification of Boundaries Conditions in the FDTD Algorithm for EUV Masks Modeling*  
Photomask, Yokohama, Japan  
24. April 2002
- Vial, A., Erdmann, A., Schmöller, T., Kalus, C.K., Schwarzl, S.:  
*Neue Randbedingungen im FDTD Algorithmus für die Modellierung von EUV-Masken*  
103. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik  
Innsbruck, Austria  
25. Mai 2002
- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:  
*3D numerische Simulationen von industriellen Kristallzüchtungsprozessen mit Sthamas3D*  
DGKK Workshop "Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"
- Memmelsdorf  
10. - 11. Oktober 2002
- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:  
*3 Dimensional Simulation of Melt Flow During EMCZ Growth of 300 mm Si Crystals*  
Posterpräsentation auf der DGKK Jahrestagung  
Idar-Oberstein  
20. - 22. März 2002
- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:  
*MHD Effects in the Industrial Czochralski Growth of 300 mm Si Crystals*  
International Workshop on "Use of Magnetic Fields in Crystal Growth"  
Riga  
11. - 13. Juni 2002
- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:  
*HMCZ and EMCZ in the Industrial Czochralski Growth of 300 mm Si Crystals*  
5<sup>th</sup> International Pamir Conference  
Ramatuelle, Frankreich  
16. - 20. September 2002
- Wehrhan, G., Mörsen, E., Molchanov, A., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Optimization of the Growth of CaF<sub>2</sub> Crystals by Model Experiments and Numerical Simulation*  
Poster Presentation at the 2<sup>nd</sup> Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology  
Seoul, Korea  
28. - 31. August 2002
- Weiss, H.:  
*Ionenimplantierte Randfeldbegrenzung von SiC-Schottky Dioden*  
Workshop der DFG, SiC-Forschergruppe  
Paderborn  
27. Juni 2002
- Weiss, H.:  
*Modellierung und Simulation von Inhomogenitäten der Schottky-Barriere*  
Kolloquium der SiC-Forschergruppe
- Institut für angewandte Physik  
Erlangen  
10. Juli 2002
- Weiss, H.:  
*Technologie der SiC-Bauelemente*  
*Werkstoffwissenschaftliches Kolloquium*  
Institut für Werkstoffe in der Elektrotechnik  
12. November 2002
- Zeltner, H.:  
*Ein kompakter IGBT - Gatetreiber für Anwendungen bei hohen Umgebungstemperaturen*  
31. Kolloquium Halbleiter-Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung  
Freiburg  
28. - 29. Oktober 2002

■■■■■  
Studienarbeiten  
Theses

Purvins, M.:

*Untersuchungen zum Einsatz von  
Legierungs-Targets bei der Herstellung  
von Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Solarzellen mittels  
Kathodenzerstäubung*

Banos, N.:

*Optimierung der Ansetzphase beim  
industriellen Silicium-Czochralski-  
Prozeß*

Dagner, J.:

*Erweiterung und Validierung des Com-  
puterprogramms CrysVUn zur Modellie-  
rung von CVD/PVT Prozessen*

■■■■■■■■■■  
Kontakt und weitere Informationen  
Contact and Further Information

Öffentlichkeitsarbeit  
Public Relations

Dr. Claus Schneider  
Phone: +49 (0) 9131 761-161  
Fax: +49 (0) 9131 761-112  
Email: info@iisb.fraunhofer.de

Applikations- und Dienstleistungs-  
zentrum Mikrosystemtechnik  
Application and Service Center for  
Microsystems Technology

Sven Berberich  
Phone: +49 (0) 9131 761-341  
Fax: +49 (0) 9131 761-360  
Email: sven.berberich  
@iisb.fraunhofer.de

Technologiesimulation  
Technology Simulation

Dr. Jürgen Lorenz  
Phone: +49 (0) 9131 761-210  
Fax: +49 (0) 9131 761-212  
Email: juergen.lorenz  
@iisb.fraunhofer.de

Halbleiter-Fertigungsgeräte und  
Materialien  
Semiconductor Manufacturing  
Equipment and Materials

Dr. Lothar Pfitzner  
Phone: +49 (0) 9131 761-110  
Fax: +49 (0) 9131 761-112  
Email: lothar.pfitzner  
@iisb.fraunhofer.de

Technologie  
Technology

Dr. Lothar Frey  
Phone: +49 (0) 9131 761-320  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: lothar.frey  
@iisb.fraunhofer.de

Dr. Anton Bauer  
Phone: +49 (0) 9131 761-308  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: anton.bauer  
@iisb.fraunhofer.de

Kristallzüchtung  
Crystal Growth

Prof. Georg Müller  
Phone: +49 (0) 9131 852-7636  
Fax: +49 (0) 9131 852-8495  
Email: georg.mueller  
@iisb.fraunhofer.de

Dr. Jochen Friedrich  
Phone: +49 (0) 9131 761-344  
Fax: +49 (0) 9131 761-390  
Email: jochen.friedrich  
@iisb.fraunhofer.de

Leistungselektronische Systeme  
Power Electronic Systems

Dr. Martin März  
Telefon: +49 (0) 9131 761-310  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: martin.maerz  
@iisb.fraunhofer.de