

Nanotechnologie-Kompetenzzentrum "Ultradünne funktionale Schichten"

Aktivitäten und aktuelle Projekte



nanotechnologie

CC "Ultradünne funktionale Schichten"

**Nanotechnologie-Kompetenzzentrum
"Ultradünne funktionale Schichten"**

**Geschäftsstelle im Fraunhofer-Institut
für Werkstoff- und Strahltechnik IWS**

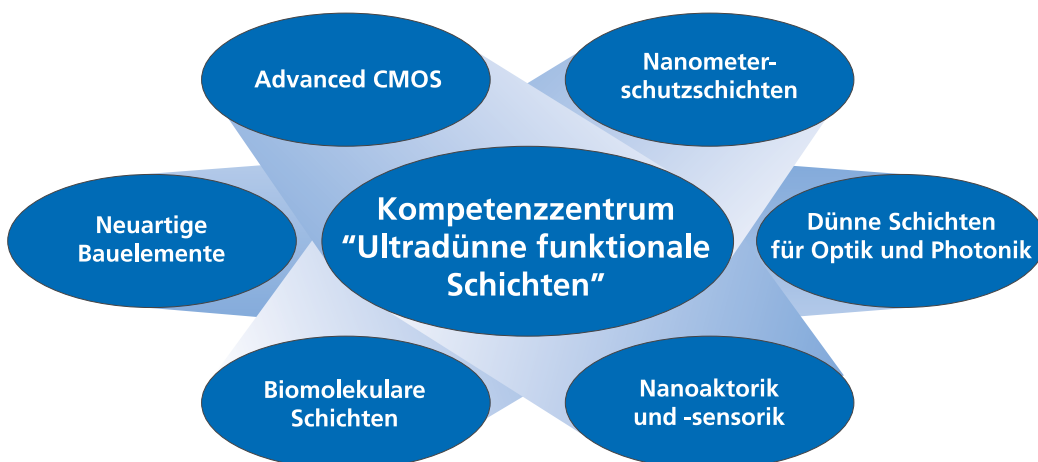
Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Ansprechpartner: Dr. Ralf Jäckel
Telefon: 0351 / 25 83 444
Fax: 0351 / 25 83 300
E-mail: ralf.jaeckel@iws.fraunhofer.de

Internet: <http://www.nanotechnology.de>

Inhalt

Vorwort	2	Dünne funktionale Polymer- schichten für die Nanoanalytik und Reaktorik	16
Wir stellen uns vor	4		
Arbeitskreise im Nanotechnologie- Kompetenzzentrum	5	Nanotemplate aus Blockcopolym- eren mit supramolekularer Struktur	18
Kurz-News aus unserem Kompe- tenzzentrum	6	Herstellung und Charakterisie- rung ultradünner nanostrukt- urierter Diffusionsbarrieren auf Tantal- und Wolfram-Basis für Metallisierungen in der < 0,15 µm-Technologie	20
Beispiele aktueller FuE-Projekte	8		
Entwicklung eines Nanostruktur- assemblers mit Motorprotein- steuerung	8	Ein neues zertifiziertes Referenz- material für die Analyse von Ober- flächenstrukturen im Nanometer- bereich	22
Qualitätskontrolle von EUV- Optiken bei der Arbeitswellen- länge mittels Labor-Reflekt- ometer	10		
Oxidische Nanokomposit- schichten	12	Mitglieder des Nano-CC-UFS	24
Innovative Reaktoren und In-situ- Analytik für Nano-Schutzschich- ten	14	Impressum	28



Mittlerweile besteht das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum "Ultradünne funktionale Schichten" bereits fünf Jahre. Nach einer kurzen Anlaufphase im Jahr 1998 waren die vergangenen Jahre durch eine rege Öffentlichkeitsarbeit, die Beteiligung an Messen, eine Vielzahl von Workshops sowie durch die gemeinsame Durchführung von zahlreichen Forschungsprojekten geprägt.

In den ersten Jahren stand die Diskussion zahlreicher neuer Projektideen und die Vorbereitung von gemeinsamen FuE-Projekten im Mittelpunkt. Hierbei waren die Mitglieder des Kompetenzzentrums außerordentlich erfolgreich, so dass zahlreiche Projektvorschläge aus dem Kreis der Mitglieder vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziell gefördert wurden und werden. Diese Projekte und zahlreiche Machbarkeitsstudien bilden einen exzellenten Kristallisationspunkt für zukünftige Aktivitäten und die weitere Profilierung der Mitglieder des Kompetenzzentrums auf dem Gebiet der Nanotechnologie.

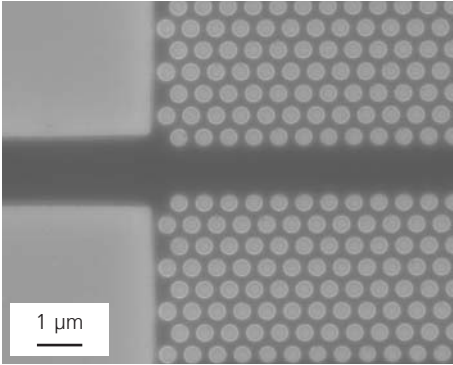
Zu einem ganz wesentlichen Aktivitätsschwerpunkt haben sich die zahlreichen Workshops entwickelt, die zu einer Vielzahl von Themen veranstaltet wurden. Als Plattform für den Austausch neuer Ideen, Absprachen zu gemeinsamen Aktivitäten und für die Verständigung auf strategisch wichtige FuE-Entwicklungslinien erfüllen sie eine wesentliche Funktion innerhalb des Kompetenzzentrums.

Mit der Internetpräsentation unter <http://www.nanotechnology.de> steht

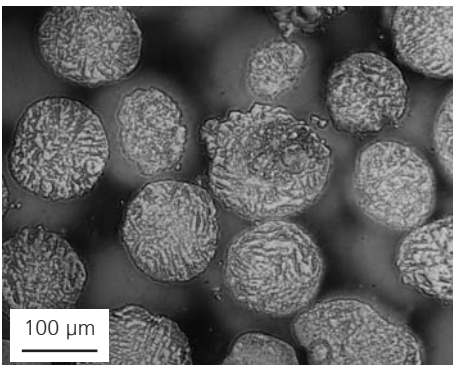
ein zentrales Medium für die Kommunikation zwischen den Partnern zur Verfügung. Neben einem internen Bereich mit aktuellen Mitgliederinformationen zu Aktivitäten des Kompetenzzentrums enthält der allgemein zugängliche Teil beispielsweise Informationen zu Themenschwerpunkten und Pressemitteilungen. Die stetig steigenden Zugriffszahlen belegen das große Interesse an der Nanotechnologie und dem Kompetenzzentrum. Bei einer Vielzahl von externen Anfragen zu Problemstellungen der Nanotechnologie konnte die Geschäftsstelle kompetente Ansprechpartner aus dem Kreis der Mitglieder vermitteln.

Die technologischen Möglichkeiten, die die Nanotechnologie jetzt und vor allem in Zukunft eröffnet, bieten neben etablierten Firmen gerade auch Neugründungen wirtschaftliche Chancen. Deshalb hat sich das Kompetenzzentrum die Förderung von technologieorientierten Unternehmensgründungen zur Aufgabe gestellt und arbeitet beispielsweise mit dem Projekt "Bedarfsorientierte Unternehmensgründungen aus Hochschulen (Dresden exists)" zusammen. Erste, bereits erfolgte Neugründungen geben Anlass zur Hoffnung für die Zukunft und für die Erwartung, dass die Nanotechnologie neben wissenschaftlichen auch wirtschaftliche Erfolge zeigen wird.

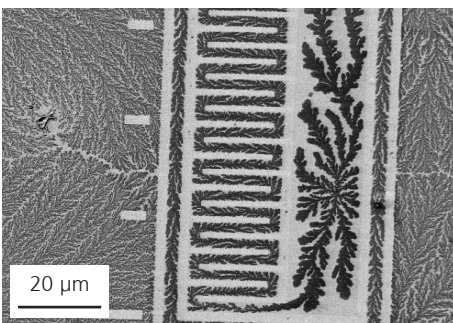
Die Förderung von Kompetenzzentren am Beispiel der Nanotechnologie stellt für das BMBF ein neues Modell der Forschungsförderung dar, dem auch weiterhin große Bedeutung beigemessen wird, da es wesentlich zur beschleunigten Umsetzung von Innova-



Elektronenstrahlolithografie-Aufnahme eines Wellenleiters und eines photonischen Kristalls (Bild: Raith GmbH Dortmund)



Granulatanschliff eines Sprühgefriergranulates aus nanoskaligem TiO₂ im Hellfeld des Lichtmikroskops (Bild: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe IKTS Dresden)



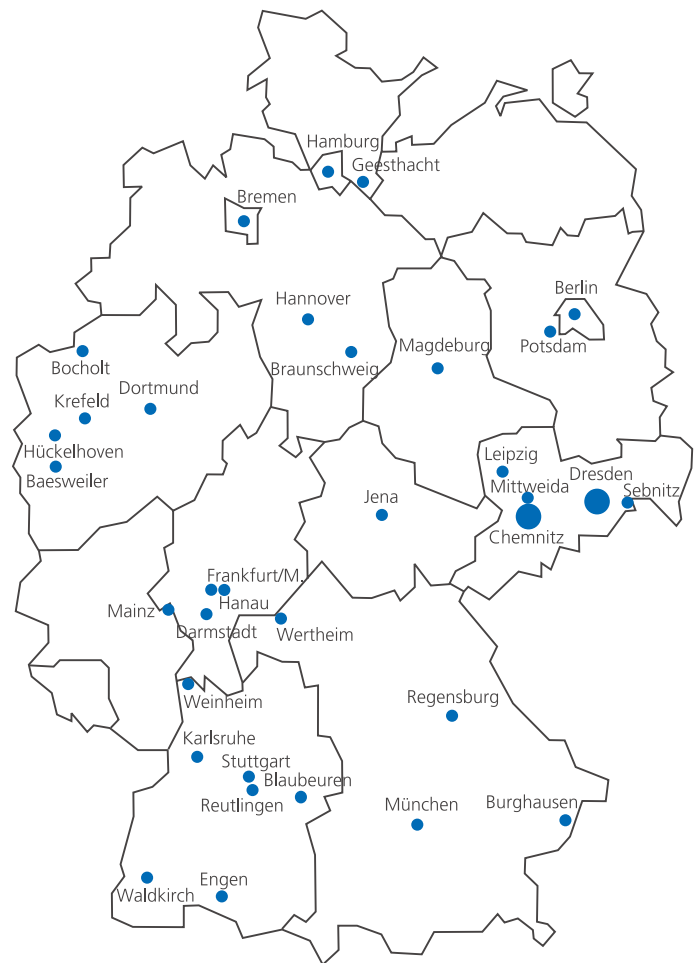
Diffusionskontrollierte Kristallisation in metastabilen mikrostrukturierten PEO-Schichten (Bild: Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden)

tionen beitragen kann. Die steigende Anzahl von Kompetenzzentren und Netzwerken, die sich in den letzten Jahren beispielsweise in den Optischen Technologien gebildet haben, belegt dies eindrucksvoll. Aufgrund der Vielzahl der Aktivitäten im Kompetenzzentrum sind wir der festen Überzeugung, dass sich dieses neue Förderinstrument als ein erfolgreiches Modell bewährt hat. Dies hat auch die Evaluierung der Nanotechnologie-Kompetenzzentren bestätigt, bei der unser Kompetenzzentrum hervorragend abgeschnitten hat. Das BMBF hat sich daher zu einer anteiligen Förderung für weitere drei Jahre entschlossen. In den nächsten Jahren gilt es nun, die geknüpften Kontakte und Verbindungen soweit zu stabilisieren, dass diese auch nach einem Auslaufen der BMBF-Förderung Bestand haben.

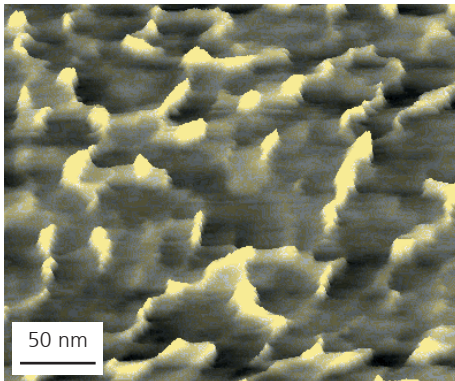
Unser ganz besonderer Dank gilt all denen, die durch ihre Aktivitäten und Unterstützung zum bisherigen Erfolg beigetragen haben. Wir werden uns nach Kräften bemühen, Sie auch in den nächsten Jahren nicht zu enttäuschen.

Für den Sprecherrat

Dr. Andreas Leson



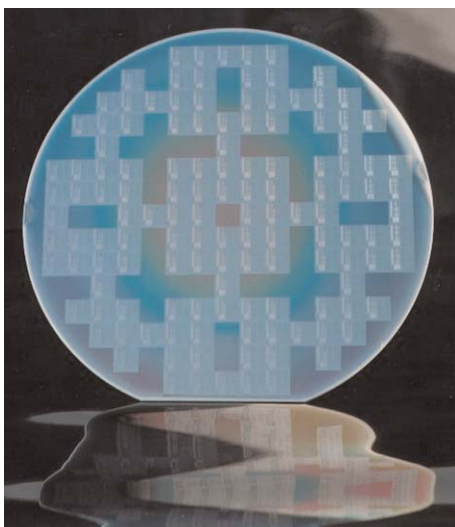
Territoriale Verteilung der Mitglieder des Nano-CC



AFM-Aufnahme der Oberfläche einer Titan-Platin-Schicht, bei 700 °C getempert
(Bild: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe IKTS Dresden)



Elektronenstrahlithografie-System zur Herstellung von Nanostrukturen
(Bild: Raith GmbH Dortmund)



6-Zoll-Silizium-Wafer, mikrostrukturiert mit Chrom- und Oxidschichten
(Bild: Technische Universität Chemnitz)

Ziele des Kompetenzzentrums

Die Nanotechnologie gehört zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Bereits heute gibt es erste marktreife Produkte: Festplatten und Leseköpfe für die Datenspeicherung, die mit wenigen Nanometer dünnen Schutzschichten überzogen werden, oder Rastermikroskope, die die Welt der Atome und Moleküle sichtbar werden lassen, sind dabei ebenso Beispiele wie hochpräzise Röntgenoptiken und ultradünne Schichten für die Mikroelektronik, die die Voraussetzung für eine weitere Erhöhung der Integrationsdichte und Taktrate bilden.

Ultradünne Schichten sind dabei ein Schlüsselement der Nanotechnologie. Ihr Einsatzbereich reicht von der Mikroelektronik und Optik über die Medizin und Sensorik bis hin zu Verschleißschutzschichten. Zur konsequenten Erschließung der industriellen Anwendungsmöglichkeiten haben 51 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute, 22 Forschungseinrichtungen sowie 5 Verbände ihr Know-how gebündelt und sich zu einem Netzwerk zusammengeschlossen, das als Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird.

Aufgaben

Die enge Zusammenarbeit und Abstimmung der beteiligten Partner innerhalb des Kompetenzzentrums sichern eine effiziente Nutzung der vorhandenen Ressourcen und ermöglichen schnelle Problemlösungen. Dies wird insbesondere mit folgenden Aktivitäten erreicht:

- Veranstaltung von Workshops und Seminaren
- Präsentation auf Messen und Tagungen
- Koordinierung von FuE-Projekten

- Vermittlung von kompetenten Partnern
- Förderung der Aus- und Weiterbildung
- Unterstützung von Existenzgründern
- Förderung der Standardisierung und technischen Regelsetzung
- Öffentlichkeitsarbeit

Interessenten stehen die vielfältige apparative Ausstattung und das vorhandene Know-how über die Geschäftsstelle des Kompetenzzentrums zur Verfügung. Folgende Dienstleistungen werden angeboten:

- Beratungen
- Machbarkeitsstudien
- Gutachten
- Durchführung von FuE-Aktivitäten
- Verfahrenserprobungen
- gemeinsame Systementwicklung

Organisation

Im Außenfeld wird das Kompetenzzentrum durch einen Sprecherrat vertreten, dem folgende Personen angehören:

Prof. Dr. Thomas Geßner
Technische Universität Chemnitz,
Zentrum für Mikrotechnologien
Tel.: 0371 / 531 31 30
Fax: 0371 / 531 31 31

Prof. Dr. Karl Hofmann
Universität Hannover,
Institut für Halbleiterbauelemente
und Werkstoffe
Tel.: 0511 / 762 42 12
Fax: 0511 / 762 42 29

Dr. Andreas Leson
Fraunhofer-Institut für Werkstoff-
und Strahltechnik IWS Dresden
Tel.: 0351 / 25 83 317
Fax: 0351 / 25 83 314

Prof. Dr. Wolfgang Pompe
Technische Universität Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft
Tel.: 0351 / 463 314 20
Fax: 0351 / 463 314 22

Arbeitskreis 1: Advanced CMOS

Leiter des AK:

Prof. Dr. Thomas Geßner
Technische Universität Chemnitz,
Fakultät für Elektrotechnik und Infor-
mationstechnik,
Zentrum für Mikrotechnologien
Reichenhainer Straße 70
09126 Chemnitz

Tel.: 0371 / 531 31 30
Fax: 0371 / 531 31 31

Arbeitskreis 2: Neuartige Bau- elemente

Leiter des AK:

Prof. Dr. Jörg Fink
Leibniz-Institut für Festkörper- und
Werkstoffforschung e.V. Dresden,
Institut für Festkörperforschung (IFF)
Helmholtzstraße 20
01069 Dresden

Tel.: 0351 / 46 59 425
Fax: 0351 / 46 59 313

Arbeitskreis 3: Biomolekulare Schichten für Medizin und Technik

Leiter des AK:

Prof. Dr. Wolfgang Pompe
Technische Universität Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
Professur für Materialwissenschaft
Mommsenstraße 13
01069 Dresden

Tel.: 0351 / 463 314 20
Fax: 0351 / 463 314 22

Arbeitskreis 4: Nanometerschutz- schichten

Leiter des AK:

Dr. Bernd Schultrich
Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und
Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Tel.: 0351 / 25 83 403
Fax: 0351 / 25 83 300

Arbeitskreis 5: Dünne Schichten für Optik und Photonik

Leiter des AK:

Prof. Dr. Karl Leo
Technische Universität Dresden,
Institut für Angewandte Photophysik
Mommsenstraße 13
01069 Dresden

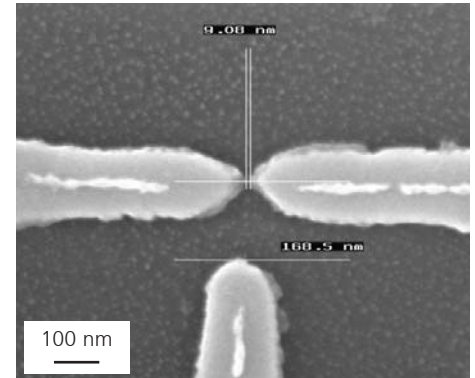
Tel.: 0351 / 463 343 89
Fax: 0351 / 463 370 65

Arbeitskreis 6: Nanoaktorik und -sensorik / Nanosysteme

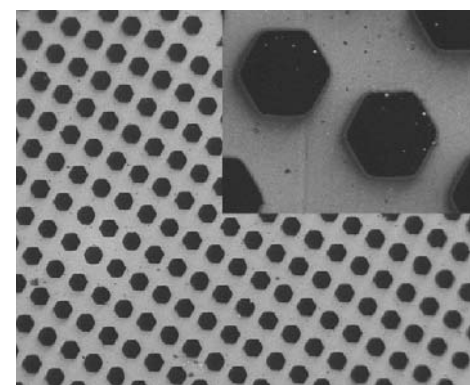
Leiter des AK:

Dr. Andreas Schönecker
Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Sinterwerkstoffe
IKTS Dresden
Winterbergstraße 28
01277 Dresden

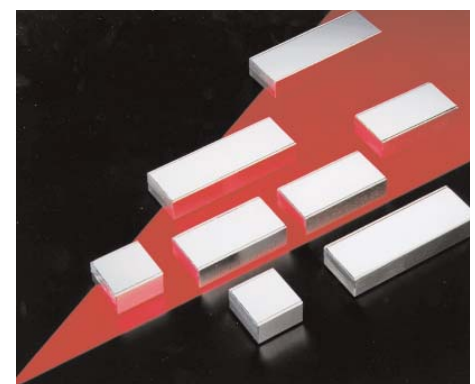
Tel.: 0351 / 25 53 508
Fax: 0351 / 25 53 605



Einzelelektronentransistor-Struktur mit Kontakten zum Testen der elektrischen Eigenschaften (Bild: Technische Universität Chemnitz)



Ultradünne strukturierte Biopolymerschichten (35 nm), hergestellt durch Oberflächenpolymerisation (Bild: Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden)



Verschiedene Präzisions-Röntgenspiegel für die Röntgenreflektometrie, hergestellt mittels Puls-Laser-Deposition (Bild: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden)

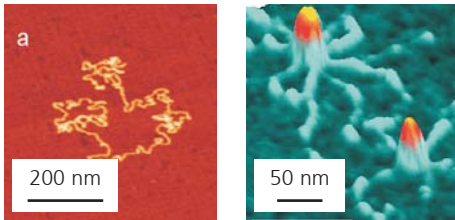


Abb. 1: Lineare (links) und sternförmige Moleküle (rechts) als Bauelemente für die zukünftige Elektronik (Bild: Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden)

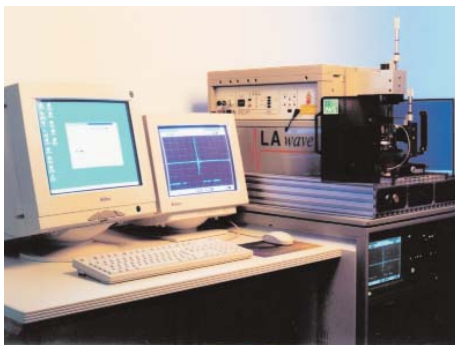


Abb. 2: Laserakustik-Meßplatz LAwave® zur zerstörungsfreien Prüfung dünner Schichten (Bild: Fraunhofer IWS Dresden)

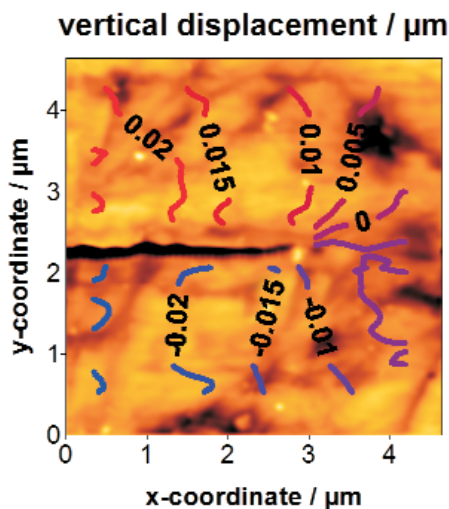


Abb. 3: Verschiebungsfeld an der Risspitze eines Polymers auf Reaktivharz-Basis (Das Rissöffnungsfeld ist als Isolinien-Darstellung gleicher Verschiebung in y -Richtung wiedergegeben, wobei der Hintergrund das Topographie-Datenfeld des AFM-Scans darstellt.) (Bild: Fraunhofer IZM Berlin)

Nanopartikel aus einzelnen Polyelektrolytmolekülen

Nanopartikel besitzen hoch interessante Anwendungspotentiale als Bauelemente in der künftigen Nanoelektronik sowie in der Katalyse. Einer der vielversprechendsten Ansätze solche Teilchen zu erzeugen, die sogenannte "bottom-up"-Methode, wurde von Wissenschaftlern am Institut für Polymerforschung Dresden e.V. erfolgreich umgesetzt.

Mit Hilfe der Rasterkraftmikroskopie konnten Polymere unterschiedlicher Architektur und Zusammensetzung als einzelne nanoskopische Einheiten beobachtet werden. Mittels spezieller Präparationstechniken gelang es, die Polymere in gewünschter Anordnung auf ein festes Substrat aufzubringen. Schließlich konnten selektiv funktionelle Materialien an den Molekülen verankert werden. Form, Größe und Position der so hergestellten Teilchen werden durch die räumliche Struktur des Polymers vorgegeben; die physikalischen Eigenschaften dagegen werden durch die Eigenschaften des angelagerten Materials bestimmt.

Als Beispiele werden lineare (Abb. 1a) und sternförmige (Abb. 1b) Moleküle gezeigt, die zur Herstellung von Palladium-Nanodrähten oder halbleitenden Ferrocyanid-Nanopartikeln verwendet werden können. Sie können als wichtige Bauelemente für die zukünftige Elektronik auf molekularer Basis verwendet werden.

Zerstörungsfreie Qualitätsprüfung von Schutzschichten

Das im Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden entwickelte Laserakustische Prüfverfahren und -gerät ist bereits seit 1996

zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls ebener Bauteile verfügbar (Abb. 2). Der ermittelte E-Modul des Schichtwerkstoffes korreliert mit der Härte und charakterisiert somit die mechanischen Eigenschaften des Schicht-Substrat-Verbundes.

Mehrere Meßgeräte konnten bereits verkauft werden, beispielsweise an die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM Berlin und die Eiferer Werkzeuge GmbH Düsseldorf. Mit der Erweiterung von ebenen auf zylindrische Bauteile wurde das Gerät auch neu designt. Von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung wird es als neuartiges und aussichtsreiches Prüfverfahren empfohlen, mit dem die dringend notwendige Kontrolle der mechanischen Eigenschaften auch an Schichten durchgeführt werden kann, deren schnelle und zuverlässige Prüfung bisher problematisch war.

NanoDAC - Eine neue Methode zur Deformationsmessung auf Mikro- und Nanoebene

NanoDAC ist eine neue Methode zur Messung von in-plane-Verschiebungen und -Dehnungen unter Verwendung von Daten der Rastersondenmikroskopie (nanoDAC, nano Deformation Analysis by Correlation), die am Micro Materials Center Chemnitz des Fraunhofer IZM entwickelt wurde.

Dabei werden die zu untersuchenden Strukturen (Bauteile, Mikrokomponenten) in verschiedenen thermomechanischen Belastungszuständen in-situ im AFM (Atomic Force Microscope) abgescannt. Aus den dadurch generierten Bildern werden auf der Grundlage eines Korrelationsalgorithmus lokale Verschiebungen und Verschiebungsfelder als primäre Messgrößen ermittelt, so dass qualitative und quantitative Aussagen über das Verformungsverhalten getroffen werden können.

Die Ergebnisse der nanoDAC-Methode sind in-plane-Verschiebungsfelder $u_x(x,y)$ und $u_y(x,y)$. Anwendungen der nanoDAC-Methode sind thermo-mechanische Zuverlässigkeitsanalysen von MEMS und NEMS und die nano-mechanische Beurteilung neuentwickelter Nanomaterialien (Abb. 3).

Weitere Anwendungsfelder der nanoDAC-Methode:

- Deformationsmessungen im Mikro- und Nanobereich,
- Verifikation nanomechanischer Materialbeschreibungen,
- Bestimmung der Bruchparameter von Mikro- und Nanomaterialien,
- Messung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten,
- Tracking von Nanopartikeln / -objekten,
- Beurteilung des Bruchverhaltens an Materialgrenzen.

Neue Elastomermaterialien auf Basis nanostrukturierter Multipfropf-Copolymere

Nanostrukturierte Blockcopolymere sind bereits seit einiger Zeit Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte. Wissenschaftler am Institut für Polymerforschung Dresden e. V. haben nun gemeinsam mit Kollegen in den USA und Griechenland untersucht, wie neue molekulare Architekturen die Zugfestigkeit von Polymermaterialien beeinflussen und welche neuen Möglichkeiten für Materialentwicklungen sich daraus ergeben.

Im Ergebnis der Arbeiten wurden Multipfropf-Copolymere aus Polystyren und Polyisopropen entwickelt, die erstaunliche Eigenschaften aufweisen. Die Bruchdehnung ist mit 2000 % deutlich höher als die von heute üblichen thermoplastischen Elastomeren, und auch in der Elastizität sind die neuen Multipfropf-Copolymere kommerziellen Elastomeren überlegen: Bis

zu einer Dehnung von 500 % wird eine vollständige Rückverformung beobachtet.

Entscheidender Einflussfaktor für die Erreichung der gewünschten Eigenschaften ist die Morphologie mit Phasenseparation im Nanometerbereich, die - bei unveränderter chemischer Zusammensetzung des Copolymers - durch die Zahl von Verzweigungsstellen und die Art der eingebrachten Funktionalitäten gezielt eingestellt werden kann. Anwendungsmöglichkeiten für die nanostrukturierten Copolymere ergeben sich außer als Elastomermaterial auch im Membransektor und in der Medizintechnik.

Konventionelle Polymere leitfähig ausrüsten durch Zusatz von Kohlenstoff-Nanoröhren

Mit ihren außergewöhnlichen Eigenschaften sind Kohlenstoff-Nanoröhren zum Gegenstand zahlreicher Projekte von Materialforschern geworden. Schon kleinste Mengen dieser Röhren mit 1 bis 30 Nanometern Durchmesser und 1 bis 10 Mikrometern Länge reichen aus, um in einer Polymermatrix ein Perkulationsnetzwerk zu bilden und damit antistatische Ausrüstung oder Leitfähigkeit des Kunststoffs zu erreichen. Zusätzlich können Materialeigenschaften wie Festigkeit und Brandverhalten verbessert werden.

In einer Arbeitsgruppe am Institut für Polymerforschung Dresden e.V. wird daran gearbeitet, herkömmliche Schmelzverarbeitungstechnologien in Extrudern für die Herstellung von Verbunden aus Polymeren und Kohlenstoff-Nanoröhren anzupassen. Damit sollen die bisher nur im Labor in Kleinstmengen erzeugten Verbunde auch für industrielle Anwendungen interessant gemacht werden. Es ist den Forschern gelungen, Mischbedingungen und Einsatz von Additiven soweit

zu optimieren, dass der Zusatz von nur 1 Gew% mehrwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren (MWNT) ausreicht, um Kunststoffe antistatisch auszurüsten; bei 2 Gew% Zusatz sind sie bereits elektrisch leitfähig. Dies konnte am Beispiel von Polycarbonat gezeigt werden. Bei Rußfüllung müssten dafür etwa 10 - 20 Gew% Füllstoff verwendet werden, und gleichzeitig würden andere Materialeigenschaften negativ beeinflusst werden (Abb. 4).

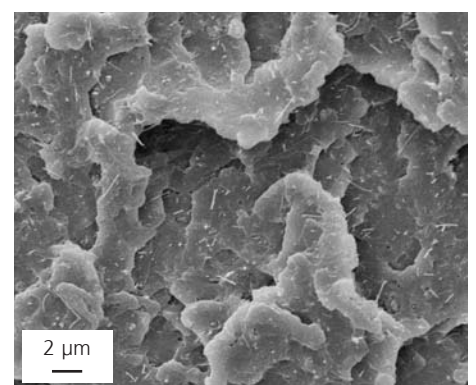


Abb. 4: Kryobruch eines Komposites aus Polycarbonat mit 1,5 Gew% mehrwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren (MWNT) (Die MWNT wurden im Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung IFW Dresden, AG Dr. Leonhardt, synthetisiert.) (Bild: Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden)

Entwicklung eines Nanostrukturasssemblers mit Motorproteinsteuerung (NAMOS)

Die Motivation: Parallele Prozesse für die Nanoelektronik

Einzelne Atome mit einem Rasterkraftmikroskop zu bewegen und positionieren zu können, ist beeindruckend und hat vor vielen Jahren zu einem wachsenden Interesse an der Nanotechnologie beigetragen. Eindrucksvoll konnte damit demonstriert werden, wie ein Strukturaufbau in Größenbereichen funktioniert, bei dem lithographische Methoden aufgrund physikalischer Grenzen scheitern müssen. Es sind dabei die grundlegend veränderten physikalischen und chemischen Eigenschaften von Festkörpern, die eine Verkleinerung von Komponenten in den Nanometermaßstab so interessant machen.

Wie auch in der "konventionellen" Mikroelektronik werden jedoch in den seltensten Fällen einige wenige Strukturelemente für praktische Anwendungen ausreichen. Gerade aufgrund der möglichen extrem hohen Integration ist für die meisten sinnvollen Aufgaben vielmehr mit Tausenden von gezielt platzierten Nanoteilchen zu rechnen. Einzelmanipulationen in einer seriellen Technik sind damit völlig undenkbar. Für eine Nutzung der bereits vielfältig konzipierten nanoskopischen Funktionselemente im Bereich Nanoelektronik / Nanomechanik besteht damit ein wesentliches Hindernis: Es fehlen geeignete Werkzeuge, um nanoskopische Funktionselemente zielsicher und reproduzierbar in die jeweiligen makroskopischen oder mikroskopischen Funktionselemente integrieren zu können. Jedoch gibt es in der Natur hierzu Vorbilder. Die lebende Zelle mit ihren vielgestaltigen Strukturen kann als eine hochkomplexe mikroskopische "Fabrik" mit unterschiedlichen nanoskopischen Funktionseinheiten oder "Maschinensystemen" verstanden werden, die in komplexer Weise zur

Erfüllung ganz spezifischer Aufgaben angeordnet sind.

Nachdem gezeigt werden konnte, dass solche zellulären Maschinen auch in vitro funktionsfähig sein können, liegt der Gedanke nahe, hierauf aufbauend nach einer Lösung zur Manipulation von nanoskopischen Funktionselementen mit diesen zellulären Maschinen in technischen Mikrostrukturen zu suchen.

Das Projekt "Namos" verfolgt eine grundlegend neue Herangehensweise an dieses Problem: Zunächst werden Strömungsmechanismen zur Generierung von nanoskaligen Strukturen genutzt. Insbesondere sollen damit auch zelluläre Maschinen kontrolliert auf einem Substrat angeordnet werden. Unter Anwendung von molekularen Selektionsmechanismen sollen darüber hinaus elektrische und nanomechanische Netzwerke erzeugt werden.

Biologische Prinzipien als Lösungsweg

Basis für den Aufbau elektrisch leitender Netzwerke bilden DNA-Moleküle. Diese werden durch ein spezielles Verfahren, das am Institut für Werkstoffwissenschaft der TU Dresden entwickelt wurde, metallisiert. Dabei können die so entstehenden Leitbahnen aus unterschiedlichen Metallen hergestellt werden. Bei einfachen Aufbauten ist eine Positionierung bereits unter Einfluß einer Flüssigkeitsströmung möglich, wobei die Adressierung bestimmter Positionen über spezifische Bindungen nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip erfolgt.

Darüber hinaus eröffnet sich aufgrund des spezifischen Aufbaus der DNA eine nachträgliche Möglichkeit zur Strukturkontrolle: In Verallgemeinerung des Darwin'schen Evolutionsprinzips

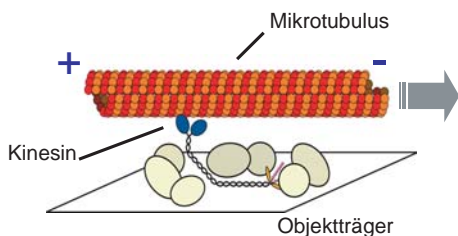


Abb. 1: Bewegung von Mikrotubuli durch Motorproteine (Kinesin) auf einer Oberfläche
(Bild: Max-Planck-Institut für Molekulare Zellbiologie und Genetik Dresden)

Am Projekt beteiligte Partner:

- Namos GmbH Bannewitz
- TU Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft
- Max-Planck-Institut für Molekulare Zellbiologie und Genetik Dresden
- GeSiM mbH Rossendorf

bewirkt ein gezieltes Schneiden der DNA eine Selektion der bereits gebildeten Strukturen.

Ein noch effektiverer Transportmechanismus soll durch Motorproteine erreicht werden, die mit Mikrotubuli (röhrenförmigen Proteinstrukturen) interagieren. Diese Spezialität des Max-Planck-Institutes für Molekulare Zellbiologie und Genetik erfüllt die Aufgabe eines Transportsystems: Auf strukturierten Substraten können sich Mikrotubuli mit Hilfe der Motorproteine bewegen und Nanostrukturen wie beispielsweise DNA-Moleküle kontrolliert binden.

Der Nanoassembler und erste Anwendungen

Unser langfristiges Ziel ist es, Motorproteine zur Generierung von nanoskaligen Strukturen zu nutzen und aus diesen unter Anwendung von molekularen Selektionsmechanismen elektrische und nanomechanische Netzwerke zu erzeugen.

Die Strukturierung metallisch leitender Oberflächen unter Nutzung von Transportsystemen erschließt für die Mikroelektronik völlig neue Anwendungsmöglichkeiten. Es vollzieht sich damit ein Paradigmenwechsel von der "top down" - zur "bottom up" -Technologie in der Mikrostrukturtechnik.

Der Aufbau nanoskaliger Strukturen soll dabei vollständig automatisiert in einem "Nanoassembler" ablaufen, einer aus verschiedenen Reservoirs gespeisten Durchflusszelle. Vom Projektpartner GeSiM mbH wird ein System für das Flüssigkeitshandling entwickelt, das in mehreren Schritten verschiedene Funktionsabläufe durchführen kann und so den vollständigen Strukturierungsprozess programmgesteuert ermöglicht.

Als ein prototypisches Beispiel für die Anwendung des Nanoassemblers wird vom Projektpartner Namos GmbH ein nanoskaliger Präzisionsdehnmessstreifen auf Basis metallisierter DNA entwickelt. Vorteil der verwendeten Nanostruktur ist deren definiertes Materialverhalten, das zu besonders reproduzierbaren Messergebnissen führt. Damit soll ein einfaches und kostengünstiges Messprinzip mit einer Auflösung realisiert werden, die bislang nur wesentlich teureren elektromechanischen Methoden vorbehalten waren. Das Ziel des Projektpartners an der TU Dresden ist auf den Aufbau einfacher elektrischer Schaltkreisstrukturen aus Nanodrähten ausgerichtet, die in eine mikroelektronische Kontaktstruktur integriert sind, während die Arbeitsgruppe am MPI für Molekulare Zellbiologie und Genetik einen Kinesin-Mikrotubulin-Assay als Demonstrator für aktive zelluläre Maschinen auf einem Glasträger aufbauen wird.

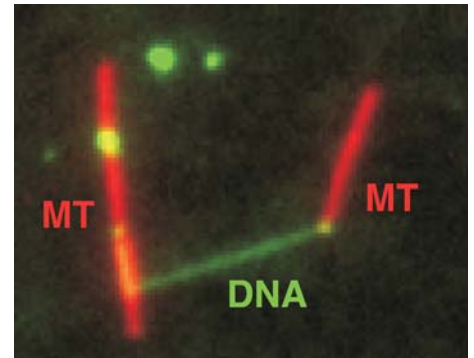


Abb. 2: Positionierung von Nanoelementen: Eine DNA wird durch zwei Mikrotubuli gestreckt und transportiert (Bild: Max-Planck-Institut für Molekulare Zellbiologie und Genetik Dresden und TU Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft)



Abb. 3: Mikroskopierzelle als Basis für einen Nanoassembler (Bild: GeSiM mbH Rossendorf)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

Namos GmbH Bannewitz
Windbergstr. 54
01728 Bannewitz
Dr. Jürgen Hofinger
Tel. 0351 / 4790 610
Fax 0351 / 4790 611
Mail juergen.hofinger@namos.de

Qualitätskontrolle von EUV-Optiken bei der Arbeitswellenlänge mittels Labor-Reflektometer

Aufgabenstellung

Multischichten für EUV-Optiken, wie sie z.B. für Lithographieanlagen der nächsten Generation zum Einsatz kommen sollen, müssen höchsten Anforderungen hinsichtlich Reflektivität, Reproduzierbarkeit, Homogenität bzw. Präzision der Schichtdickenverteilung, Auflösungsvermögen und Temperaturstabilität genügen. Insbesondere müssen diese Eigenschaften auch auf gekrümmten Optikoberflächen realisiert und kontrolliert werden können.

Für den Schichtentwickler und -produzenten stellt deshalb die Kontrolle der erzielten Schichtparameter bei der Arbeitswellenlänge einen wesentlichen Zeitfaktor für die Optimierung der Schichtsysteme dar. Die Kontrolle derartiger Multischichten geschieht vornehmlich durch Auswertung von Reflektometrie-Messungen. Bisher war man für derartige Messungen im EUV-Bereich auf die Nutzung von Synchrotronstrahlung (z.B. am BESSY II in Berlin) angewiesen, was infolge räumlicher Ferne jedoch immer mit einer gewissen Verzögerung im Entwicklungs- und Fertigungsprozess verbunden war.

Lösungsweg

Die Entwicklung eines Labor-Reflektometers mit der Arbeitswellenlänge im EUV-Bereich war deshalb auch ein erklärtes Ziel weltweiter Bemühungen auf dem Wege der EUV-Anwendungen. Aufbauend auf den internationalen Erfahrungen sowie in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), dem Max-Born-Institut (MBI), der Fa. Bestec, der Fa. AIS Automation und der Carl Zeiss SMT AG wurde im Fraunhofer IWS Dresden in einem vom BMBF geförderten Projekt ein solches Labor-Reflek-

tometer aufgebaut. Es gab dabei 4 Schwerpunktaufgaben zu lösen:

- Die Bereitstellung einer geeigneten Strahlungsquelle, die im EUV-Bereich zeitlich und örtlich stabil einen hohen Photonenfluss gewährleistet.
- Die Monochromatisierung der erzeugten EUV-Strahlung.
- Die Realisierung einer geeigneten Proben- und Detektormanipulation für Reflektometrie-Messungen an Spiegeln und Masken, die in ihren Dimensionen auch den Erfordernissen der Halbleiterindustrie gerecht werden.
- Eine Steuer- und Messtechnik, die die erforderlichen Prozessabläufe realisiert.

Ergebnisse

Eine Gesamtansicht des IWS-Labor-EUV-Reflektometers wird in Abb. 1 gezeigt. Wegen der Absorption der EUV-Strahlung an Luft muss das Reflektometer vollständig unter Vakuum arbeiten.

Die EUV-Quelle arbeitet auf der Basis eines kommerziellen Nd:YAG-Lasers mit nachgeschalteter Laserstrahlfokussierung (Laserwellenlänge: 532 nm, Takt: 10 Hz, Pulslänge: 10 ns, Laserstrahlfokus: 10 μm). Der fokussierte Laserstrahl generiert auf einer Goldtargetoberfläche ein Plasma, das im EUV-Bereich ein quasikontinuierliches Spektrum liefert (je Schuss eine frische Targetoberfläche, Quellpunktdurchmesser: ca. 50 μm). Bei einer Laserleistung von 650 mJ beträgt der spektrale Photonenfluss in der EUV-Quelle $11 \cdot 10^{13}$ Photonen / (s sr 0,1nm bw) bei einer Wellenlänge von 13,4 nm.

Der Monochromator, zusammengesetzt aus Eintrittsblende, plan-elliptischem Vorspiegel, sphärischem Gitter mit 1200 Linien / mm, Austrittsspalt, sphärischem Refokussierspiegel, 2 Streulichtblenden und Strahlteiler zur



Abb. 1: Gesamtansicht des EUV-Reflektometers (Bild: Fraunhofer IWS Dresden)

Am Projekt beteiligte Partner:

- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt Berlin
- Max-Born-Institut Berlin
- Bestec GmbH Berlin
- AIS Automation GmbH Dresden
- Carl Zeiss SMT AG Oberkochen

Strahlmonitorierung liefert die gewünschte EUV-Strahlung, einstellbar im Bereich von 10 nm bis 16 nm mit einer Bandbreite von typischerweise 0,03 nm. Bei einer Laserleistung von 250 mJ wird am Monochromatorausgang eine Photonenzahl von $3 \cdot 10^6$ Photonen / Schuss registriert, was für den Routinemessbetrieb ausreichend ist. Der Messfleck auf der Probe beträgt im Durchmesser ca. 2 mm.

Die Goniometerkammer birgt das Probenmanipulationssystem des Reflektometers, das die zu vermessenden Spiegel oder Masken mit einem Durchmesser bis zu 50 cm und einer Dicke bis zu 20 cm sowie einem Gewicht bis zu 30 kg aufnehmen kann (Abb. 2). Der Einfallswinkel des EUV-Strahles kann standardmäßig zwischen 3° und 60° variiert werden.

Eine Gesamtsteuerung gewährleistet und überwacht den Betrieb des Reflektometers.

Mit dem Labor-Reflektometer können nun sowohl ebene als auch gekrümmte Proben vermessen werden. Dabei liegen die Schwankungen der Reflektivitätswerte unterhalb 0,5 % RMS und die der Wellenlänge unterhalb 0,013 % RMS. Bei einem Langzeittest über 3 Monate zeigte sich für die Peak-Reflektivität sogar eine Schwankungsbreite von nur 0,13 % RMS. Die Schwankungsbreite der Wellenlänge blieb dabei unverändert.

Mit einem solchen guten Messgerät kann dann auch die Beschichtung von konvex oder konkav gekrümmten Spiegeln optimiert werden. So müssen z.B. für Optiken in Schwarzschildobjektiven für die EUV-Mikroskopie oder -Spektroskopie stark gekrümmte Substratoberflächen ($R_{\text{Krümmung}} = 35 \text{ mm}$) mit präzisen Gradienten beschichtet werden. Dies erfordert den Einsatz spezieller Masken mit lateral variieren-

der Transmission bei der Beschichtung. Die genaue Beschaffenheit der Masken muß durch einen iterativen Prozeß, in dem sich Beschichtung und Vermessung abwechseln, ermittelt werden.

Dabei gilt es auch, die Arbeitswellenlänge entsprechend den Designvorgaben auf der gekrümmten Spiegeloberfläche richtig zu positionieren. Bei unmittelbarer Verfügbarkeit der Charakterisierung bei der Arbeitswellenlänge ist so eine sehr effektive Optimierung dieser Spiegel möglich.

Außerhalb des Standardmessbetriebes bietet das Labor-Reflektometer für kleinere Proben die Möglichkeit mit streifendem Einfall des EUV-Strahles zu arbeiten. Auf diese Weise können dann Schichteigenschaften z.B. über die Vermessung der Breite der Totalreflektionskante bestimmt werden.

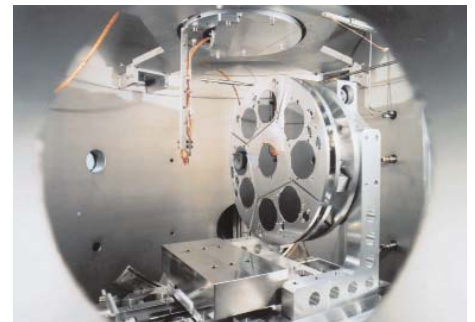


Abb. 2: Probenmanipulationssystem innerhalb der Goniometerkammer
(Bild: Fraunhofer IWS Dresden)



Abb. 3: Präzisionsantrieb für die Gitterbewegung zur Wellenlängeneinstellung am Monochromatorausgang
(Bild: Fraunhofer IWS Dresden)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Dr. Ludwig van Loyen

Tel. 0351 / 2583 422

Fax 0351 / 2583 300

Mail ludwig.vanloyen@

iws.fraunhofer.de

Oxidische Nanokompositschichten

Nanokomposite

Unter Kompositen versteht man Werkstoffe, die aus mindestens zwei unterschiedlichen Stoffen (Phasen) bestehen, welche nicht auf atomarer Ebene vermischt sind oder miteinander eine chemische Verbindung bilden. Eine häufige Form von Kompositen sind Teilchen des einen Stoffes, die in dem anderen Stoff (Matrix) gleichmäßig verteilt sind. Komposite haben oft Eigenschaften, die mit einphasigen Materialien nicht erreicht werden können, beispielsweise eine sehr hohe Festigkeit. Bekannte Kompositwerkstoffe sind Beton (Kiespartikel in Zement-Matrix) oder Hartmetall (Wolframcarbid-Partikel in Cobalt-Matrix).

Die meßbare Härte kristalliner Hartstoffe liegt meist deutlich unter ihrer theoretischen Härte, die man aus den Bindungskräften berechnen kann. Ursache sind Kristalldefekte, die sich bei der Herstellung nicht vermeiden lassen. Reduziert man nun aber die Größe von Hartstoffpartikeln auf wenige Nanometer, so können die Defekte an die Partikel-Oberfläche wandern und damit unwirksam werden. Bildet man aus solchen Partikeln ein Komposit, können sich extreme makroskopische Härtewerte ergeben. Wichtig ist, daß der Matrixanteil sehr klein ist (wenige Prozent) und daß die Matrix in amorpher Form vorliegt (d. h. nicht kristallin), wodurch die Rißausbreitung behindert wird. Derartige Nanokomposite wurden vor einiger Zeit in Form dünner Schichten hergestellt, beispielsweise aus Titanitridpartikeln in einer Siliziumnitrid-Matrix und aus Zirkonitridpartikeln in einer Kupfer-Matrix (Abb. 1). Bei diesen Schichten wurden extreme Härten von 50 bzw. 54 GPa gemessen (die Härte der entsprechenden einphasigen Schichten beträgt 25 bzw. 16 GPa).

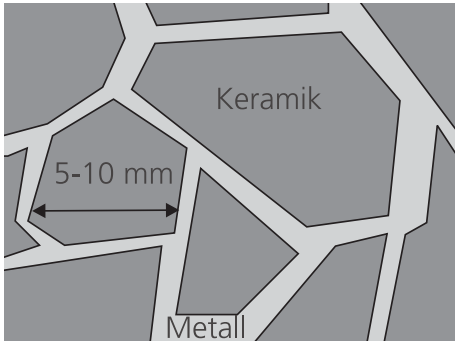


Abb. 1: Struktur eines Nanokomposites (schematisch)
(Bild: Fraunhofer IST Braunschweig)

Am Projekt beteiligte Partner:

- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST Braunschweig
- Robert Bosch GmbH Stuttgart
- Volkswagen AG Wolfsburg

Wenn es um Verschleißminderung geht, ist die Härte einer Schicht der wichtigste Parameter. Meist sind jedoch weitere Größen fast ebenso wichtig, und zwar das Reibverhalten, die Duktilität, die chemische und die thermische Beständigkeit. Gerade hinsichtlich chemischer und thermischer Beständigkeit sind bestimmte Oxide den Nitriden meist überlegen. Daher lag die Zielsetzung in dem hier beschriebenen Projekt in der Herstellung oxidischer Nanokomposite mit extremer Verschleißbeständigkeit unter dem Einfluß mehrfachartiger Belastungen.

Schichtherstellung

Das Gebiet der Nanokompositschichten ist noch sehr jung und es liegen bisher nur wenig Informationen über geeignete Materialkombinationen und Herstellungsverfahren vor. Daher wurden für die Partikel Materialien ausgewählt, die hochschmelzend und besonders hart sind, und zwar Aluminiumoxid (Korund) und Titandioxid. Als Matrix wurden verschiedene Metalle untersucht, vor allem Kupfer, daneben Wolfram, Zink und Zinn.

Die Herstellung der Schichten erfolgte mittels Gasflußsputtern (GFS), einem PVD-Verfahren, das auf einer Hohlkathodenglimmentladung und einem gasstromgeführten Materialtransport beruht. Aufgrund des Arbeitsdruckes (ca. 0,5 mbar) und des spezifischen Transportmechanismus können mittels GFS bereits in der Gasphase nicht-agglomerierte Nanopartikel hergestellt werden (Abb. 2). Die Schichtabscheidung erfolgte teils mit zwei unabhängigen Quellen für Partikel und Matrix (Co-Deposition), teils aus einer Quelle mit einem zusammengesetzten Target.

Schichtstruktur

Die härtesten Oxidschichten wurden auf der Basis von TiO_2 hergestellt. Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und Röntgenbeugungs-Untersuchungen (XRD) zeigten für das System TiO_2 / Cu überraschenderweise, daß sich das Kupfer nicht in den Partikel-Zwischenräumen anlagert, sondern sich als kristalline Säulen ausscheidet. Das entstehende Nanokomposit wird dagegen primär durch kristallines TiO_2 in Rutil-Struktur und durch amorphes TiO_2 als Matrix gebildet (Abb. 3). Schichten dieser Struktur, auch ohne Kupfer, zeigten Härten bis zu 25 GPa, was die Härte gewöhnlicher Titan-dioxidschichten deutlich übersteigt (11 - 15 GPa).

Schichteigenschaften

Das Verschleißverhalten der Schichten wurde mittels des Stift-Scheibe-Tests untersucht, bei dem ein Gegenkörper unter Last auf einer kreisförmigen Schleifspur auf der Schicht bewegt wird. Als Gegenkörper wurde eine harte, fest eingespannte Keramik-Kugel (Al_2O_3) mit 4 mm Durchmesser verwendet. Die Last betrug 2 N, die daraus resultierende Flächenpressung 900 N mm^{-2} . Unter diesen Bedingungen ergab sich ein sehr geringer Verschleiß im Bereich von $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$. Für den praxistypischen Fall der geschmierten Reibung war der Verschleiß nicht meßbar (Meßgrenze: $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$). Überraschenderweise war auch der Verschleiß des Gegenkörpers kaum wahrnehmbar. Der Reibwert zeigte im ungeschmierten Fall eine leichte Zunahme mit dem Reibweg und erreichte schließlich den Wert 0,4. Im

geschmierten Fall wurde eine geringe Abnahme beobachtet und es ergaben sich Werte um 0,1. Im Salzsprühnebeltest nach DIN 50021 SS zeigten die Schichten ein sehr gutes Korrosionsverhalten. Nach 240 h wurden noch keine Veränderungen beobachtet, was für PVD-Schichten sehr untypisch ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich bei dünnen Oxidschichten durch gezielte Struktureinstellung im Nanometerbereich hervorragende Materialeigenschaften darstellen lassen. Da dieses Gebiet bisher sehr wenig untersucht ist, kann noch mit einigen nützlichen Überraschungen gerechnet werden.

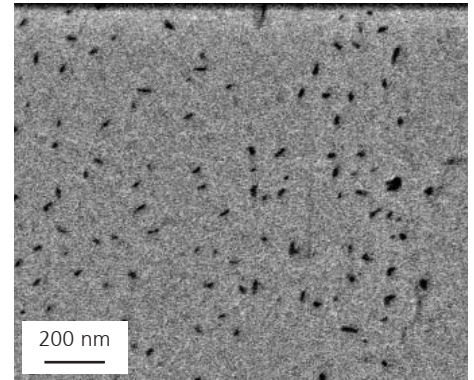


Abb. 2: TEM-Aufnahme von Nanopartikeln aus Wolfram (Die Größenverteilungsfunktion hat ihren Schwerpunkt bei 18,7 nm und eine Breite von 11,0 nm.)
(Bild: Fraunhofer IST Braunschweig)

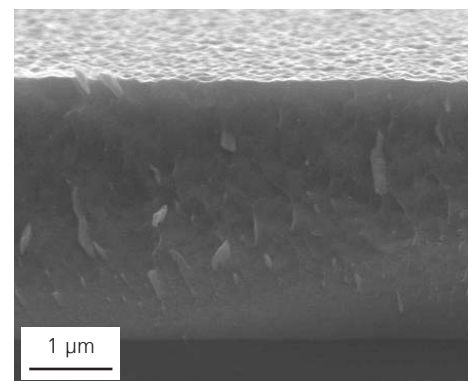


Abb. 3: REM-Aufnahme der Bruchkante einer TiO_2 -Nanokompositschicht
(Bild: Fraunhofer IST Braunschweig)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST Braunschweig
Bienroder Weg 54e
38108 Braunschweig
Dr. Thomas Jung
Tel. 0531 / 2155 616
Fax 0531 / 2155 900
Mail thomas.jung@ist.fraunhofer.de

Innovative Reaktoren und In-situ-Analytik für Nano-Schutzschichten

Hintergrund

Das permanente Wachstum der Computer-Industrie und der Aufbruch in das digitale Informationszeitalter erzeugen einen enormen, stetig zunehmenden Bedarf an Speicherkapazität. Magnetische Festplattenspeicher (HDD = Hard Disk Drive) dominieren bis heute die Speichertechnologie, wenn die jährlich umgesetzte Speichermenge zugrunde gelegt wird. Diese Vorrangstellung wird sich auch in den nächsten Jahren nicht ändern. Der große Vorteil der magnetischen Datenspeicherung gegenüber anderen Technologien ergibt sich aus einer sehr hohen Steigerungsrate der Speicherdichte auf den Datenträgern.

Mit der Einführung von Dünnschicht-Speichermedien und den ersten magneto-resistiven Leseköpfen (MR-Leseköpfe) ist die jährliche Erhöhung der Speicherdichte auf 60 % gestiegen. Durch die Entwicklung von GMR-Köpfen (Giant Magneto Resistive) wurde diese sogar auf 90 - 100 % pro Jahr erhöht.

Die Forderung nach immer höheren Flächenspeicherdichten (Produkt aus Bit- und Spurdichte) auf den verwendeten Dünnschichtplatten (Hard Disks) impliziert eine Reduzierung des magnetischen Abstandes zwischen Kopf und Platte.

Neben der Verringerung der Flughöhe des Kopfes über der Magnetspeicherplatte besteht in der Dickenverminderung der magnetisch inaktiven, kohlenstoffbasierten Schutzschichten ein wesentlicher Ansatz zur Verkleinerung des magnetischen Abstandes. Die Schutzschichten müssen beispielsweise für die Realisierung zukünftiger Spei-

cherdichten von über 100 Gbits / in² unter Aufrechterhaltung ihrer Funktionalität auf 1 - 2 nm Dicke reduziert werden. Bei der Beschichtung von Kopf und Platte mit amorphem Kohlenstoff wird der oberflächennahe Bereich der magnetischen Funktionselemente durch das Eindringen der schichtbildenden Kohlenstoffspezies zerstört. Dieser sog. "Dead Layer" (magnetisch "toter" Bereich) darf für die angestrebten Speicherdichten maximal 0,5 - 1,0 nm dick sein. Weiterhin werden RMS-Rauigkeitswerte von 0,1 - 0,2 nm für Schutzschichten auf Kopf und Platte gefordert.

Gegenwärtig kommen unterschiedliche Schichttypen für Kopf und Platte zum Einsatz. Zum Schutz des Schreib-Lese-Elementes des Kopfes werden wasserstoffhaltige Kohlenstoffschichten (bezeichnet als a-C:H- oder CH_x-Schichten) mittels Ionenstrahlverfahren (IB-CVD = Ion Beam Chemical Vapor Deposition) in einer Argon-Methan-Atmosphäre abgeschieden. Die Magnetspeicherplatte dagegen wird durch eine Schicht aus amorphem Kohlenstoffnitrid (bezeichnet als a-C:N oder CN_x) geschützt. Diese wird durch reaktives Magnetronspütern eines Graphittargets in einem Argon-Stickstoff-Plasma auf die darunterliegende magnetische Legierung aufgebracht. Nach derzeitigen Erkenntnissen ist zu bezweifeln, dass die verwendeten Schichttypen eine ausreichende Funktionalität, insbesondere hinsichtlich ihrer korrosionsschützenden Wirkung, bei Dicken < 3 nm gewährleisten.

Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund wurden folgende Ziele für das durchgeführte Gesamtvorhaben definiert:

- Systematische Entwicklung, Optimierung und Hochskalierung von innovativen Plasmabeschichtungsreakto-



Abb. 1: IBM-Microdrive, eines der kleinsten der derzeit im Handel befindlichen Laufwerke (Kapazität: 1 GB, Gewicht: nur 16 g, Größe: 42,8 · 36,4 · 5 mm³) Seine Speicherdichte beträgt 15,2 Gbit in⁻². (Bild: IBM Deutschland E&TS GmbH Mainz)

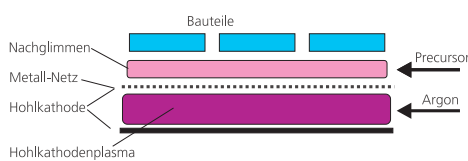


Abb. 2: PACVD-Beschichtung mit MHC-Quelle (schematisch) (Bild: Fraunhofer IST Braunschweig)

Am Projekt beteiligte Partner:

- CCR GmbH Rheinbreitbach
- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST Braunschweig
- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
- IBM Deutschland E&TS GmbH Mainz
- IFU GmbH Lichtenau
- Sentech Instruments GmbH Berlin
- Technische Universität Chemnitz, Institut für Physik
- Unaxis Deutschland GmbH
- Universität Cambridge, Department of Engineering
- Universität Mainz, Physik

ren, die für eine industrielle Produktion und Herstellung von funktionalen ultradünnen Schutzschichten im 2 nm-Bereich als geeignet einzuschätzen sind.

- Bereitstellung von geeigneten ex- und in-situ-Analyseverfahren zur Charakterisierung von Schicht- und Plasmamparametern.
- Funktionale Schichtcharakterisierung durch anwendungsnahe Tests, die eine Qualifikation der Reaktoren und Schichten sicherstellen.

Diese Aufgaben wurden in einem Verbund von Industriepartnern, Forschungsinstituten und Universitäten bearbeitet:

- CCR GmbH Rheinbreitbach
- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST Braunschweig
- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
- IBM Deutschland E&TS GmbH Mainz
- IFU GmbH Lichtenau
- Sentech Instruments GmbH Berlin
- Technische Universität Chemnitz, Institut für Physik
- Unaxis Deutschland GmbH
- Universität Cambridge, Engineering
- Universität Mainz, Physik.

Als informeller Partner konnte zusätzlich die TFH Wildau (FB Ingenieurwesen) gewonnen werden.

Ergebnisse und Fortschritte

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden verschiedene Reaktortypen zur Erzeugung funktionaler, ultradünner Kohlenstoff-Schutzschichten untersucht und in Teilschritten bei den jeweiligen Reaktor-Herstellern optimiert.

Hierzu zählen:

- Copra-Quelle (CCR Technologie)
- Carbon-Gun (Unaxis)
- Hochstrombogenquelle (Fraunhofer IWS)
- Hohlkathoden-Reaktor (Fraunhofer IST)
- Penning-Magnetron (TU Chemnitz)

Als vielversprechende Technologie zur Erzeugung funktionaler, ultradünner Kohlenstoff-Schutzschichten hat sich der vom Fraunhofer IWS Dresden entwickelte gepulste Hochstrombogen herausgestellt. Mit dieser Reaktortechnologie sind korrosionsschützende Kohlenstoffschichten bis zu einer Dicke von nur 1,7 nm möglich. Für den Einsatz in einer industriellen Festplattenfertigung wurde ein Prototyp der Hochstrom-Bogenquelle zur Herstellung ultradünner Kohlenstoff-Schutzschichten entwickelt und in einer Prozessumgebung untersucht und hinsichtlich eines späteren Dauereinsatzes optimiert.

Die RMS-Oberflächenrauigkeit (AFM) der Kohlenstoffschichten, die mit den vorgestellten Quellen erzeugt wurden, liegen bei etwa 0,1 bis 0,15 nm (Ausnahme Penning-Magnetron, 0,5 nm). Die Massendichte (XRR) der bei Raumtemperatur abgeschiedenen DLC-Schichten variiert zwischen $1,8 \text{ g / cm}^3$ (Copra-Quelle) und $2,7 \text{ g / cm}^3$ (HCA-Quelle).

Prinzipiell eignen sich alle der untersuchten und hier vorgestellten Quellentypen zur Herstellung ultradünner, harter Kohlenstoffschichten. Im Hinblick auf die für den Verschleiß- und Korrosionsschutz wichtigen Schichtparameter zeigen sich die HCA-Schichten als besonders geeignet, gefolgt von den mittels CVD-Verfahren abgeschiedenen Schichten.

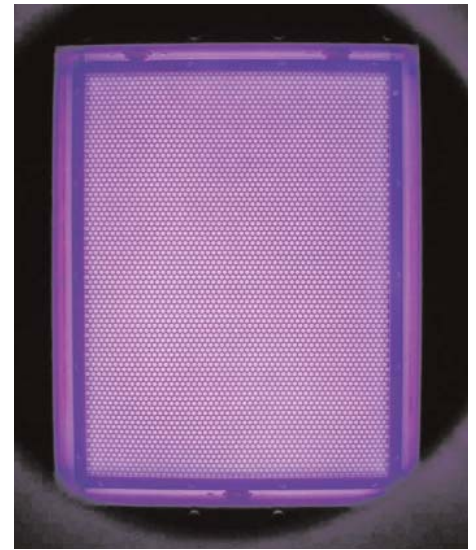


Abb. 3: MHC-Plasmaquelle in Betrieb (aktive Fläche: $150 \cdot 200 \text{ mm}^2$, Leistung: 1000 W, Prozeßdruck: 0,2 mbar) (Bild: Fraunhofer IST Braunschweig)

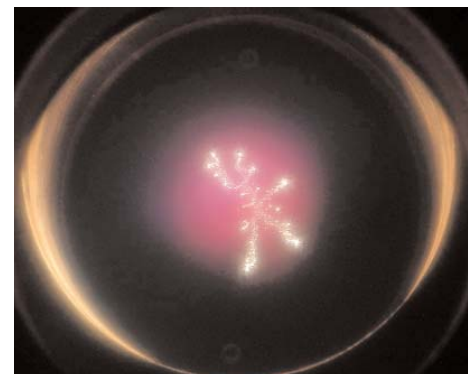


Abb. 4: Gepulste Bogenentladung auf Kohlenstoff als Quelle hochangeregten Plasmas für die Abscheidung superharter diamantähnlicher Deckschichten auf Festplatten und Schreibleseköpfen (Bild: Fraunhofer IWS Dresden)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

IBM Deutschland E&TS GmbH
Mainz
Hechtsheimer Str. 2
55131 Mainz
Dr. Heinz Hilgers
Tel. 06131 / 842 041
Fax 06131 / 846 810
Mail hilgers@de.ibm.com

Dünne funktionale Polymerschichten für die Nanoanalytik und Reaktorik

Motivation

Dünne ($10 \text{ nm} < d < 100 \text{ nm}$) und ultradünne ($d < 10 \text{ nm}$) polymere Schichtsysteme eröffnen vielseitige potentielle Anwendungen in der Nanoanalytik, in der Steuerung zellulärer Wachstumsprozesse sowie in der Nanoreaktorik. Die mikrostrukturierbaren Schichtsysteme sollten stabil auf Oberflächen haften, im Inneren mit biofunktionalen Einheiten (z.B. Enzyme, Antikörper, Oligo-DNA) modifizierbar sein und sie sollten als Transportsysteme wässriger Reaktanden dienen können.

Stand der Technik

Die mikrostrukturierte Oberflächenfunktionalisierung kann zum einen durch Übertragung geeigneter niedermolekularer Einheiten auf Oberflächen mittels eines Mikrostampelprozesses (Softlithographie) erfolgen, zum anderen lassen sich dünne molekulare Schichten im Sinne molekularer Resistssysteme auch mittels Elektronenstrahlolithographie chemisch funktionalisieren.

Die Anwendung der Elektronenstrahlolithographie zur Oberflächenanbindung und Vernetzung eines geeigneten Polymersystems wurde kürzlich erstmals in der Literatur beschrieben.

Lösungsweg

Die elektronenstrahlolithographische Strukturierung ultradünner Polyethylenoxidschichten (PEO) stellt sich als ausgezeichnete Methode zur Herstellung ultradünner PEO-Hydrogelschichten dar, die bis in den Submikrometerbereich strukturierbar sind (Abb. 1). Der Vernetzungsgrad und damit das Quellvermögen sind durch die Elektronendosis variierbar. Wie in Abb. 2 a,b dargelegt, führt die unterschiedliche Dickenzunahme der verschieden stark vernetzten PEO-Filme zu unterschiedlichen Interferenzfarbenänderungen im reflektierten Licht.

Die zur weiteren Funktionalisierung der Schicht notwendige Reaktivität in der Schicht kann durch die Endgruppen der PEO-Moleküle erreicht werden. So lässt sich durch aminospezifische Fluoreszenzfärbung (Koop. Dr. Opitz / Max-Bergmann-Zentrum) eindeutig die Präsenz reaktiver Aminoendgruppen in der strukturierten Hydrogelschicht nachweisen (Abb. 3). Damit ist die Voraussetzung zur weiteren Funktionalisierung der Gelschichten gegeben. Die weiterführende chemische Umsetzung der Schicht mit aldehydischen Gruppen ermöglicht die reduktive Silberabscheidung innerhalb der PEO-Gelschicht.

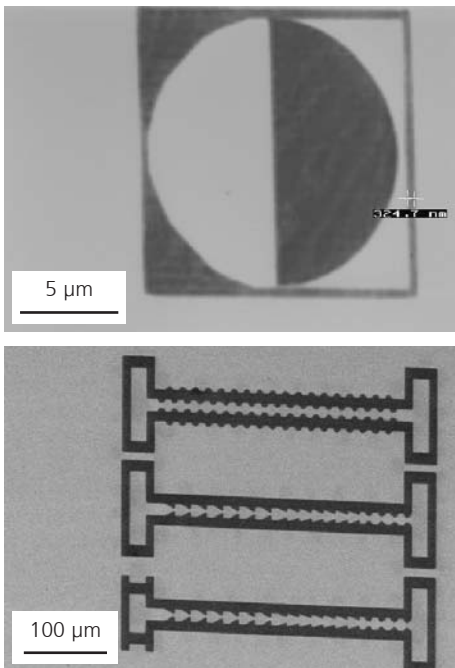


Abb. 1: REM-Aufnahmen elektronenstrahlvernetzter PEO-Strukturen ($d < 400 \text{ nm}$) (Bild: Max-Bergmann-Zentrum für Biomaterialien Dresden)

Am Projekt beteiligte Partner:

- Max-Bergmann-Zentrum für Biomaterialien Dresden

Die zur Silberreduktion angewandte chemische Grundreaktion ist die seit langem bekannte und in der Silber-spiegelherstellung genutzte Aldehyd-reduktion einer ammoniakalischen Silbernitratlösung. Im Gegensatz zur großflächigen Abscheidung einer kontinuierlichen Silberschicht werden bei der Silberreduktion in aminoterminierten PEO-Schichten isolierte nanoskopische Silberpartikel erzeugt, die in der Hydrogelphase immobilisiert sind.

Ziele

Nachdem die Strukturierung, Oberflächenanbindung und Reaktivität der PEO-Hydrogelschichten demonstriert werden konnte, wird die Integration biofunktionaler Moleküle in die Schicht verfolgt. Besonderes Interesse im Sinne einer reaktiven Schichtgestaltung als Teil eines Nanoreaktionssystems gilt dabei Enzymen, wie z.B. Peroxidasen. Die enzymatische Aktivität in den Schichten wird durch analytische Detektion mittels Chemolumineszenz der Schicht nachzuweisen sein.

Die Biotinylierung der Schicht wird als vielseitig anwendbare Modifizierung zur Immobilisierung biofunktionaler Einheiten angesehen. Hierzu gehören Oligo-DNA-Sequenzen ähnlich wie Avidin gelabelte Antikörper, die als Basiselemente molekularer Erkennungsprozesse dienen.

Die Beladung der mikrofluidischen Gelschichten an vordefinierten Orten, der diffusive Stofftransport in den Schichten und die Erzeugung materialwissenschaftlich interessanter Komponenten (kontrollierte Partikelbildung, diffusionsgesteuerte Strukturbildung) durch gesteuerte Reaktion in den Schichtsystemen werden weitere Ziele zukünftiger Arbeiten sein.

Die Kombination der strukturierten Schichtsysteme mit Elektroden-systemen, die eine aktive Steuerung der Transportprozesse ermöglichen können, wird technologisch ebenso bedeutend sein, wie die Kopplung mit neuartigen mikrofluidischen Transportprinzipien wie beispielsweise der Flüssigkeitstransport durch oberflächenakustische Wellen.

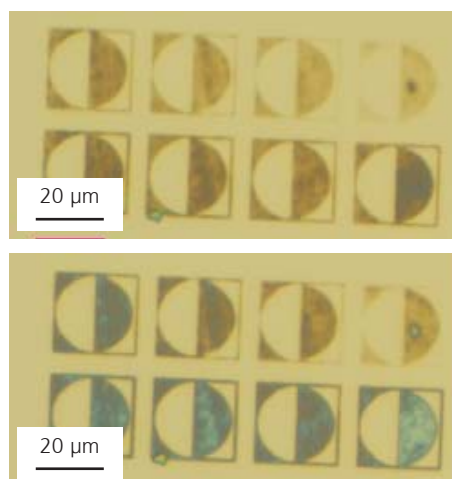


Abb. 2: Schichtdickenänderung (Farbänderung) strukturierter PEO-Schichten unterschiedlicher Vernetzung bei Quellung mit Wasser (Bild: Max-Bergmann-Zentrum für Biomaterialien Dresden)

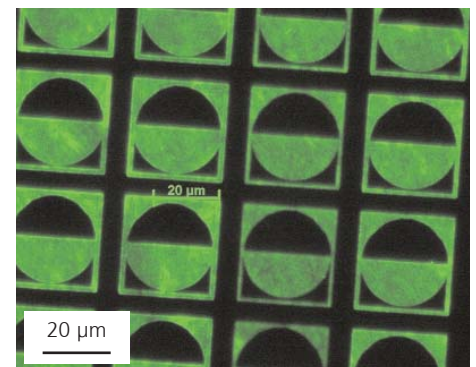


Abb. 3: Spezifische Anlagerung fluoreszenzmarkierter DNA-Moleküle (Dr. Opitz, MBZ) an aminoterminale Gruppen des strukturierten PEO-Hydrogels (Bild: Max-Bergmann-Zentrum für Biomaterialien Dresden)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

Max-Bergmann-Zentrum für Biomaterialien Dresden
Hohe Str. 6
01069 Dresden
Dr. Hans-Georg Braun
Mikrostrukturgruppe
Tel. 0351 / 4658 548
Fax 0351 / 4658 533
Mail braun@ipfdd.de

Nanotemplate aus Blockcopolymeren mit supramolekularer Struktur

Das Ziel: Nanostrukturierte Materialien

Die aktuelle Entwicklung der Technologien in Richtung Miniaturisierung und Vergrößerung der Strukturichte erfordert neue Lösungswege und die Anwendung neuer Herstellungsprinzipien. Obwohl die Photolithographie gegenwärtig in der Lage ist, Strukturgrößen bis hinunter zu 100 nm herzustellen, steigen die Herstellungskosten dafür stark an, da die Prozesse bei niedrigeren Wellenlängen (Röntgen- oder Elektronenstrahlen) durchgeführt werden müssen.

Deshalb hat das Prinzip der Selbstorganisation mittels chemischer oder physikalischer Triebkräfte als alternativer Weg zum Aufbau periodischer Nanostrukturen mit Strukturgrößen im Bereich von einigen nm bis in den sub-Mikrometer-Bereich erhebliches Interesse geweckt. Selbstgeordnete nanostrukturierte anorganische und organische Materialien öffnen die Möglichkeit zur Herstellung periodischer Arrays. Sie müssen untersucht werden, um sie als Template für eine weitere Strukturierung nutzen zu können.

Obwohl das Phänomen der Selbstorganisation in Block-Copolymeren seit den 60er Jahren bekannt ist, haben die Anforderungen der modernen Technologie zu einer Renaissance dieses Gebietes geführt. Seit 1995 hat das Interesse an Selbstorganisation in ultradünnen (10 - 100 nm) Block-Copolymerfilmen zu einem erheblichen Wachstum auf diesem Forschungsfeld geführt.

Selbstorganisation und molekulare Anordnung

In der Abteilung Nanostrukturierte Materialien des Institutes für Polymerforschung Dresden wird die Anwendung eines speziellen Ansatzes zur Herstellung nanostrukturierter Oberflächen unter Verwendung der Selbstorganisation in Block-Copolymeren untersucht. Er basiert auf der molekularen Anordnung eines der Blöcke mit aktiven Additiven. Die Moleküle der Additive sind relativ beweglich im System und nur mittels Wasserstoffbrücken mit den Monomeren verbunden.

Dies hat zwei wichtige Folgen: Erstens wird die mittels Selbstorganisation erreichte Ordnung verbessert, gut geordnete Strukturen können innerhalb weniger Minuten erhalten werden. Und zweitens können die Additive nachfolgend durch Waschen in einem geeigneten Lösungsmittel entfernt werden, wodurch sie Hohlräume oder Kanäle in hexagonaler Anordnung mit Periodizitäten im Bereich von 10 bis 100 nm hinterlassen. Typische Beispiele derartiger Muster sind in den Abbildungen gezeigt.

Anschließend werden die Zylinder mit Metallen, elektrisch leitfähigen Polymeren usw. gefüllt, um ein Array aus Stäbchen / Punkten nanostrukturierter Materials zu erhalten. Z. B. wurde mit Chrom und Gold besputtert, um zu zeigen, wie Metallnanopunkte oder -nanostäbchen hergestellt werden können. Mittels Elektroablagerung durch Nanomembranen wurden auch Nanostäbchen aus Ni erzeugt.

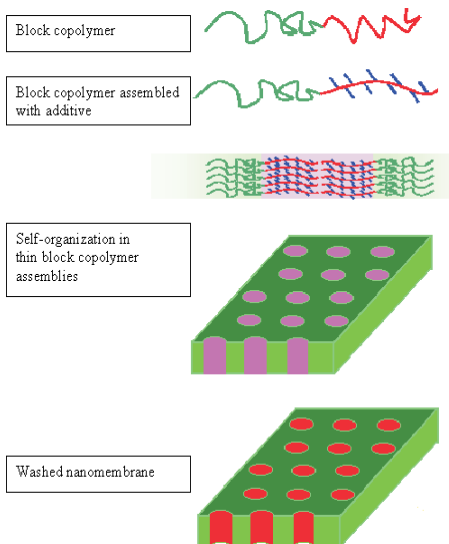


Abb. 1: Selbstorganisation in Block-Copolymeren
(Bild: Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden)

Am Projekt beteiligte Partner:

- Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Es lohnt sich, die ideale Datenspeicherdichte solcher Materialien mit den bekannten Speichermedien zu vergleichen. Dabei enthält unsere Ni-Probe $1,2 \cdot 10^{10}$ Punkte pro mm^2 . Wenn man jeden Punkt als ein Bit einer Information ansieht und die Dichte mit der Informationsdichte einer CD-R vergleicht (700 MByte auf $9\,790\,\text{mm}^2$, entspricht $570\,000\,\text{Bit cm}^{-2}$), bekommt man eine um 21 000 höhere Dichte auf der neuen "Nanofloppy".

In Zusammenarbeit mit Prof. D. Schmeisser von der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus wurden hochinteressante Experimente mit Röntgen-Photoemissionselektronenmikroskopie (XPEEM) mit Synchrotronstrahlung am BESSY durchgeführt. Die Probenherstellung vereint Photolithographie und Mikrophasentrennung in dünnen selbstorganisierten Block-Copolymerfilmen. Während die photolithographisch aufgetragenen Strukturen einer Isolierschicht eine Periodizität von $12\,\mu\text{m}$ haben, liefert der Block-Copolymerfilm Strukturen von $24\,\text{nm}$. Schließlich erzeugt die elektrolytische Abscheidung von Nickel in zwei Strukturebenen Nickelnanopunkte.

Die nächsten Ziele

Unsere nächsten Forschungsziele beinhalten u. a. die Herstellung geordneter Arrays von Nanodrähten, Nanostäbchen und Nanoröhrchen aus magnetischen und elektro-optischen Materialien. Außerdem sollen grundlegende Eigenschaften der molekularen Ordnung von Block-Copolymeren untersucht werden, um damit die Morpho-

logie von Nanotemplaten steuern zu lernen und die geordneten, kristallartigen Domänen bis in den Millimeterbereich ausweiten zu können. Es wird erwartet, dass man auf diese Weise neue nanostrukturierte Materialien mit langreichweitiger Ordnung (Makroskala) erhält.

Die Verwendung neuer selbstorganisierter Materialien auf der Grundlage von Block-Copolymer-Strukturen öffnet neue Horizonte in der modernen Technologie. Natürlich müssen noch viele grundlegende und technische Probleme auf dem langen Weg vom Laborexperiment zur Anwendung gelöst werden. Die Gruppe in der Abteilung Nanostrukturierte Materialien des Instituts für Polymerforschung Dresden beschäftigt sich mit anwendungsorientierter Grundlagenforschung auf diesem und anderen hochinteressanten Gebieten der Polymerphysik, -chemie und Materialwissenschaft.

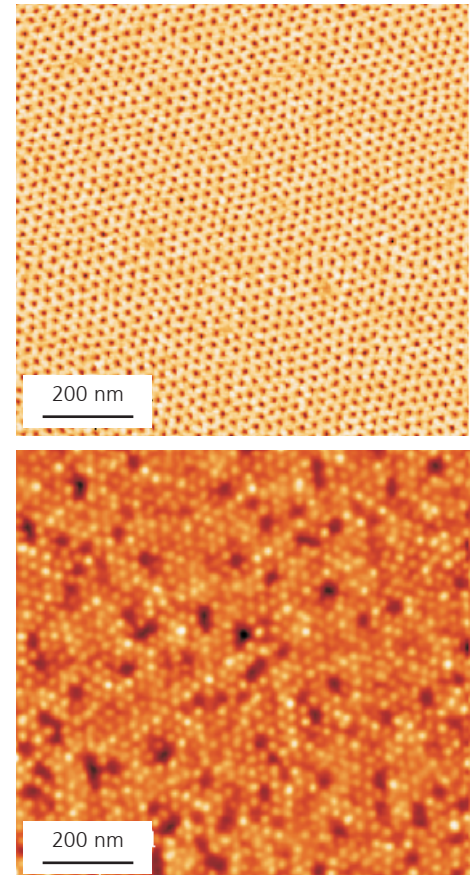


Abb. 2: Nanotemplat (oben) und nanostrukturiertes Material (Ni-Nanostäbchen, unten), hergestellt mittels eines selbstgeordneten Block-Copolymeren (Bild: Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

Leibniz-Institut für Polymerforschung
e.V. Dresden
Hohe Str. 6
01069 Dresden
Dr. Alexander Sydorenko
Tel. 0351 / 4658 271
Fax 0351 / 4658 281
Mail sydorenko@ipfdd.de

Herstellung und Charakterisierung ultradünner nanostrukturierter Diffusionsbarrieren auf Tantal- und Wolfram-Basis für Metallisierungen in der < 0,15 µm-Technologie

Zielsetzung

Das Ziel des Projektes besteht in der Evaluierung potentieller ultradünner (≤ 10 nm), elektrisch leitfähiger Barrierschichten auf Ta- und W-Basis für die Anwendung in künftigen höchstintegrierten mikroelektronischen Schaltungen ($\leq 0,15$ µm-Technologie). Die Herstellung erfolgt mittels PVD- und CVD-Verfahren.

Die Herabskalierung der Schichtdicke von Diffusionsbarrieren in die Nähe des atomaren Bereichs stellt sowohl an die Werkstoffauswahl / Herstellung als auch an die Barrierencharakterisierung neue und bisher noch nicht gelöste Aufgaben. Es existieren bis heute weder Werkstoffe noch Verfahren, die es erlauben, nur wenige Monolagen dicke und thermodynamisch stabile metallische Dünnschichten reproduzierbar herzustellen. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollen denkbare Lösungsansätze verfahrens- und werkstoffseitig betrachtet und für eine industrielle Umsetzung vorbereitet werden. Durch Zulegieren von Elementen zu den Basismaterialien Ta bzw. W soll eine Nanostruktur mit Kristallitgrößen von nur wenigen Nanometern bis hin zur Amorphisierung, mit möglichst geringer Defektdichte erzielt werden. Die Vor- und Nachteile der PVD- und CVD-Abscheidungsverfahren für diese Dünnschichten sollen bewertet werden. Dazu ist es erforderlich, die Barrierschichten sowohl strukturell als auch funktionell zu charakterisieren.

untersucht. Als Barrierematerial kam PVD Ta-Si und Ta-Si-N mit unterschiedlichem Stickstoffanteil zum Einsatz.

Im Ausgangszustand nach Abscheidung sind alle untersuchten Barrierschichten amorph. In Abhängigkeit von Barrierestruktur und Wärmebehandlung kann es zur Bildung kristalliner Phasen, zum Kornwachstum sowie zur Cu-Diffusion in bzw. durch die Barriere kommen. Mit einer Erhöhung des Stickstoffgehaltes erhöhen sich auch die thermische Stabilität und der elektrische Widerstand der ultradünnen Diffusionsbarrieren. Tabelle 1 gibt eine exemplarische Auskunft über die gefundenen Ergebnisse.

Für die industrielle Anwendung in Cu-Mehrlagenmetallisierungen wird TaSiN (2 sccm N₂) favorisiert, da hier ein Optimum zwischen Barriestabilität, spezifischem elektrischen Widerstand von ca. 200 µΩcm, intrinsischen Druckspannungen von < (-400 MPa) und sehr niedriger Schichttrauhigkeit von R_{nms} ~ 0,15 nm gefunden werden konnte. Abb. 1 zeigt dieses Barrierematerial auf SiO₂ mit Kupfer als abschließender Schicht nach einer Temperung von 450 °C / 1 h bzw. 600 °C / 1 h. In beiden Fällen bleibt die amorphe Struktur der Diffusionsbarriere erhalten. Setzt man die Temperaturbelastung bei 600 °C über 8 h fort, sind mittels Röntgenbeugung erste Reflexe von kristallinen Ta₂N-Bereichen festzustellen, eine einsetzende Kupferdiffusion ist jedoch nicht nachzuweisen.

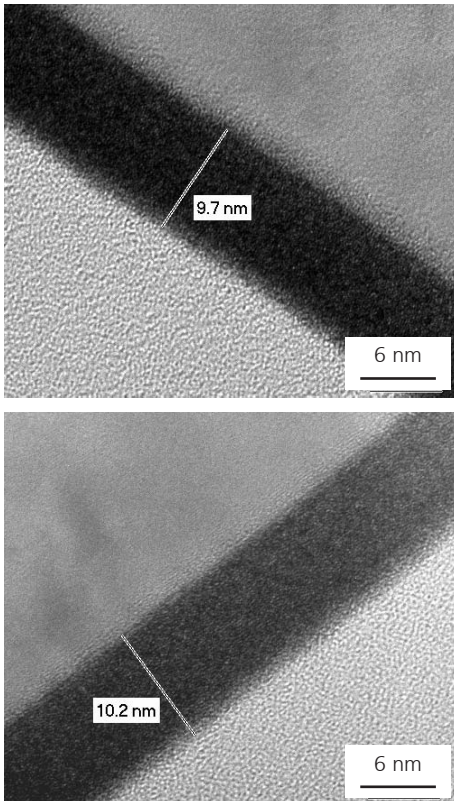


Abb. 1: 10 nm TaSiN-Diffusionsbarriere auf SiO₂ nach unterschiedlichen thermischen Belastungen
oben: 450 °C / 1 h
unten: 600 °C / 1 h
(Bild: AMD Saxony LLC & Co. KG)

Am Projekt beteiligte Partner:

- AMD Saxony LLC & Co. KG
- TU Dresden, Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik
- TU Chemnitz, Zentrum für Mikrotechnologien
- IFW Dresden, Institut für Festkörperanalytik und Strukturforschung

Bisherige Ergebnisse

Ternäre Diffusionsbarrieren auf Ta-Basis

Struktur und thermische Stabilität von kupferbedeckten Barrierschichten mit 10 nm Schichtdicke auf SiO₂ wurden mit röntgenographischen, spektroskopischen und chemischen Methoden

Barriere-schichten	untersuchte Proben	Gefügezustand der Barriere	Cu-Diffusion in die Barriere / SiO ₂ -Schicht
Ta	600 °C / 16 h 600 °C / 100 h	kristallin / amorph kristallin / amorph	nicht nachgewiesen ja
TaSi	500 °C / 1 h	kristallin / amorph	ja
TaSiN (1 sccm N ₂)	600 °C / 16 h 600 °C / 100 h	amorph kristallin / amorph	nicht nachgewiesen ja
TaSiN (2 sccm N ₂)	600 °C / 100 h	kristallin	nein
TaSiN (3 sccm N ₂)	600 °C / 100 h	kristallin	nein
TaSiN (4 sccm N ₂)	600 °C / 100 h 900 °C / 1 h	amorph amorph	nein nein
TaN	600 °C / 100 h 900 °C / 1 h	amorph kristallin	nein nein

Tab. 1: Experimentelle Ergebnisse ternärer Diffusionsbarrieren auf Ta-Basis

Diffusionsbarrieren auf W-Basis

Zur Abscheidung der WN_x-Schichten wird ein PECVD-Verfahren (plasma-enhanced CVD) mit einer WF₆(Ar) / H₂ / N₂-Gas Mischung verwendet. Durch Variation des WF₆ / N₂-Gasverhältnisses und Änderung des Gesamtgasflusses wurden 3 verschiedene Schichten hinsichtlich des W / N-Verhältnisses (15 - 25 at% N) hergestellt. Im Ausgangszustand haben die WN_x-Schichten einen Schichtwiderstand im Bereich von 200 - 220 μΩcm und sind röntgenamorph. Erst nach einer Temperung bei 600 °C im Vakuum sind Unterschiede zwischen den Schichten zu erkennen. WN_x1 (x ~ 0,18) und WN_x2 (x ~ 0,33) kristallisieren bei 600 °C / 1 h in α-W und β-W₂N. WN_x3 (x = 0,25) zeigt erst nach 600 °C / 4 h kleine Peaks der (100)-Ebenen von α-W und β-W₂N auf dem amorphen Sockel. Die verzögerte Kristallisation bei WN_x3 kann auf einen höheren Amorphisierungsgrad der Schichten zurückgeführt werden, der durch eine extreme Erhöhung des Gesamtflusses durch Argon erreicht wird.

Die strukturellen Untersuchungen zur Stabilität der im Ausgangszustand amorphen WN_x-Barrieren zeigen, dass

bis zu einer Wärmebehandlung von 550 °C / 1 h keine Kristallisation auftritt. Abb. 2 zeigt die Schicht WN_x3 nach einer Temperung 400 °C / 100 h im Vakuum. Es sind keine strukturellen Veränderungen im Vergleich zum Ausgangszustand zu erkennen. Ab 600 °C werden β-W₂N und b.c.c.-W beobachtet, ohne dass eine nachweisbare Cu-Diffusion einsetzt.

Es wurden weiter Abscheidungen zu ternären Schichten W-Si-N vorgenommen. Dabei wird dem Gasgemisch Silan (SiH₄ / WF₆ = 0,5 bis 9) zugegeben. Die Ergebnisse der Röntgenuntersuchung zeigen, daß auch diese Proben im Ausgangszustand röntgenamorph sind. Nach einer Wärmebehandlung (600 °C im Vakuum) kristallisieren diese Proben mit den Verhältnissen 0,5; 1 und 1,5 vorwiegend in α-W, es sind lediglich geringe Anzeichen für β-W₂N vorhanden, die für SiH₄ / WF₆ = 0,5 noch am deutlichsten sind.

Höhere Verhältnisse führen zur Bildung eines Zweischichtsystems, wobei sich zuerst eine SiON-Schicht bildet und danach erst eine WN_x-Schicht. Die SiON-Schicht kann sich während der langen Inkubationszeit des WN_x-Prozesses bilden, und ist auch um so dicker je höher der Silanfluss ist.

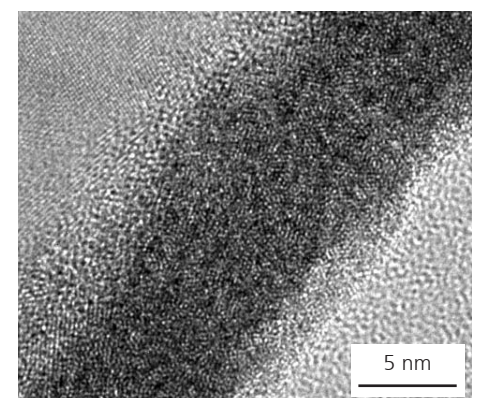
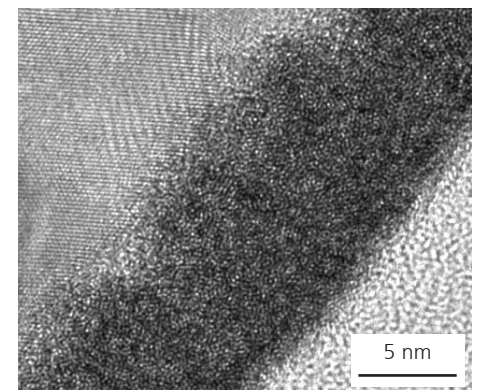


Abb. 2: Amorphe Struktur der Barriere im Ausgangszustand (oben) und nach Temperung 400 °C / 100 h (unten)
(Bild: AMD Saxony LLC & Co. KG)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

TU Dresden
Institut für Halbleiter- und Mikro-systemtechnik
Postfach
01062 Dresden
Dr. Christian Wenzel
Tel. 0351 / 463 364 13
Fax 0351 / 463 370 21
Mail wenzel@ihm.et.tu-dresden.de

Ein neues zertifiziertes Referenzmaterial für die Analyse von Oberflächenstrukturen im Nanometerbereich

Problemstellung

Mit der Entwicklung der Nanotechnologie werden Mess- und Analysemethoden für den Nanometerbereich in immer stärkerem Umfang in der Industrie benötigt. Quantitative Informationen über die Oberflächentopographie, die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften von nanoskaligen Strukturen sind von zentraler Bedeutung für eine stabile Fertigung. Damit verbunden sind wachsende Anforderungen an die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Messergebnissen und die Einbindung der entsprechenden Messverfahren in Qualitätssicherungssysteme. Für diese Aufgaben werden geeignete Referenzmaterialien benötigt.

Stand der Technik

Die laterale Auflösung der Messinstrumente ist ein Kernpunkt für die Analyse von nanoskaligen Strukturen und dementsprechend werden Referenzmaterialien für die Bestimmung und regelmäßige Kontrolle der lateralen Auflösung sowie als Justier- und Einstellhilfe benötigt. Aber bisher gab es keine Referenzmaterialien mit regelmäßigen Strukturen im Bereich zwischen den Abmessungen des Kristallgitters ($d < 1 \text{ nm}$) und lithographischen Strukturen ($d > 150 \text{ nm}$). Genau in dieser Lücke liegt die laterale Auflösung der meisten Geräte, die mit Elektronenstrahlen oder Ionenstrahlen die Oberfläche analysieren.

Lösungsweg

Im Rahmen des Projektes "Qualitätssicherung in der Nanoanalytik" wurde an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ein neuer Typ von Referenzmaterial entwickelt und zertifiziert. Das zertifizierte Referenzmaterial BAM-L002 "Streifenmuster für die Längskalibrierung und die Bestimmung der lateralen Auflösung im Nanometerbereich" ist der Querschliff eines Halbleiterschichtsystems. Die $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} - \text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} - \text{GaAs}$ -Schichten wurde mit Metallorganischer-Gasphasen-Epitaxie (MOCVD) am Institut für Festkörperphysik der Technischen Universität Berlin hergestellt. Der Querschliff des Schichtsystems (Abb. 1) zeigt Streifenbreiten zwischen 0,4 und 500 nm.

Ergebnisse

Das Referenzmaterial ermöglicht die Kalibrierung der Längenskala und die Bestimmung bzw. Abschätzung verschiedener Geräteparameter wie laterale Auflösung, Strahlprofil (Halbwertsbreite und 16 % - 84 % - Anstieg an einer Stufe) und kleinste nachweisbare Struktur. Dazu enthält das Streifenmuster eine Kalibrierstrecke, Gitter mit verschiedenen Streifenbreiten, sehr schmale Streifen (δ -Streifen) und breite Streifen mit Stufenübergängen (Abb. 1).

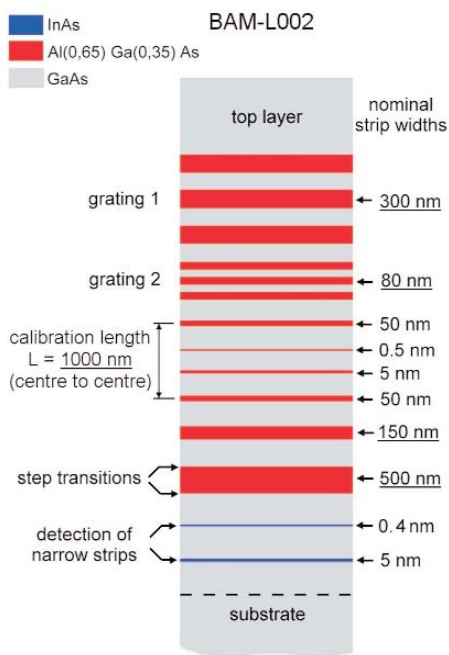


Abb. 1: Schema des Streifenmusters in der Oberfläche des Referenzmaterials BAM-L002 (Bild: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM))

Am Projekt beteiligte Partner:

- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Die Zertifizierung der Streifenbreiten und Abstände (unterstrichene Werte in Abb. 1) erfolgte durch Messungen mit dem Transmissionsrasterelektronenmikroskop (TEM). Dazu wurden an verschiedenen Stellen des Halbleiterwafers mit einem fokussierten Ionenstrahl (FIB) TEM-Lamellen herausgeschnitten und anschließend mit einem kalibrierten TEM vermessen.

Bei den durch Einbetten, Schleifen und Polieren präparierten Proben werden die zertifizierten Werte für die Kalibrierstrecke mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) überprüft (Abb. 2).

Das zertifizierte Referenzmaterial BAM-L002 wurde erfolgreich im Rahmen eines Ringversuchs zur Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) eingesetzt. Dabei wurde die laterale Auflösung der Geräte ermittelt und ihre Längskalibrierung überprüft. Die Abbildung des Streifenmusters mit einem Time of Flight-Sekundärionen-Massenspektrometer ist in Abb. 3 dargestellt. Das Profil durch die Aluminiumverteilung zeigt, dass ein Gitter mit 80 nm-Streifen gerade noch aufgelöst wird. Die Indiumverteilung zeigt den deutlichen Nachweis eines InAs-Streifens mit einer Breite von ca. 0,4 nm.

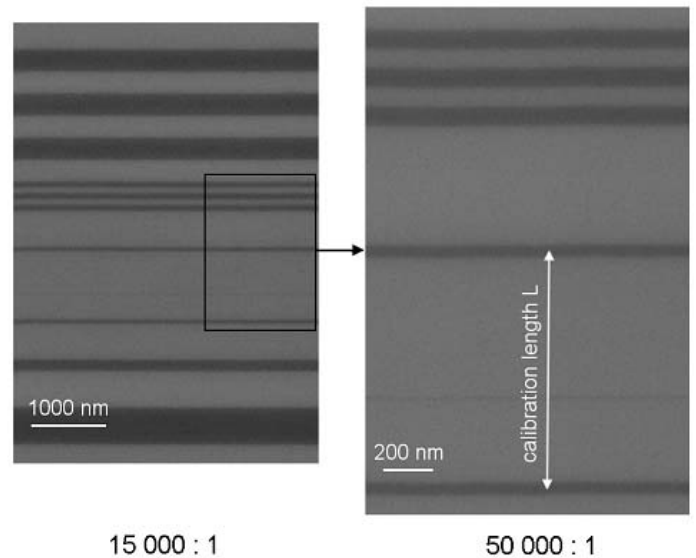


Abb. 2: Aufnahmen von BAM-L002 mit dem Rasterelektronenmikroskop bei zwei verschiedenen Vergrößerungen (Bild: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM))

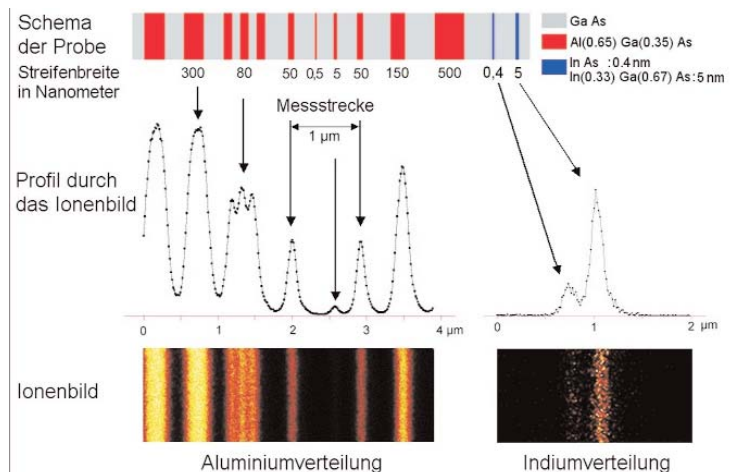


Abb. 3: ToF-SIMS-Messungen an BAM-L002 (Bild: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM))

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)
Postfach
12200 Berlin
Dr. Mathias Senoner
Labor VIII.23
Tel. 030 / 810 435 64
Fax 030 / 810 418 27
Mail mathias.senoner@bam.de



01: Agfa-Gevaert N.V.

Septestraat 27
B - 2640 Mortsel, Belgien

02: ALOtec Angewandte Laser- und Oberflächensystemtechnik GmbH

Winterbergstraße 28
01277 Dresden

03: AMD Saxony LLC & Co. KG

Postfach 11 01 10
01330 Dresden

04: AMTEC GmbH

Anwendungszentrum für Mikrotechnologien Chemnitz
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz

05: AMTEC Analysenmeßtechnik GmbH

Wachsmuthstraße 3
04229 Leipzig

06: Applied Materials Europe GmbH

Buchenstraße 16
01097 Dresden

07: AXO Dresden GmbH

Siegfried-Rädel-Straße 31
01809 Heidenau

08: Bestec GmbH

Carl-Scheele-Straße 14
12489 Berlin

09: Biomet Merck BioMaterials GmbH

Frankfurter Straße 250
64271 Darmstadt

10: Bruker AXS GmbH

Östliche Rheinbrückenstraße 49
76187 Karlsruhe

11: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Postfach
12200 Berlin

12: Capital Stage Nanotech GmbH

Domstraße 17
20095 Hamburg

13: Carbo Tec - Gesellschaft für nano- und biotechnische Produkte mbH

Arnold-Sommerfeld-Ring 2
52499 Baesweiler

14: Centrotherm Elektrische Anlagen GmbH + Co. KG

14a: Hauptsitz
Johannes-Schmid-Straße 3
89143 Blaubeuren

14b: Niederlassung Dresden
Manfred-von-Ardenne-Ring 20
01099 Dresden

15: CeWOTec gGmbH

Lassallestraße 14
09117 Chemnitz

16: CreaPhys GmbH

Schmiedeberger Straße 38
01768 Reinhardtsgrimma

17: DAS Dünnschicht-Anlagen-Systeme GmbH

Gostritzer Straße 61 - 63
01217 Dresden

18: 3D-Micromac AG

Max-Planck-Straße 22b
09114 Chemnitz

19: Dresdner Transferstelle für Vakuumtechnik e.V.

Löbtauer Straße 71
01159 Dresden

20: Europäische Forschungsgesellschaft "Dünne Schichten" e.V.

Gostritzer Straße 61 - 63
01217 Dresden

21: Feinchemie AG Sebnitz

Höhenweg 9
01855 Sebnitz

22: Feinmess Dresden GmbH

Am Promigberg 22
01108 Dresden

23: Fidura Capital Consult GmbH

Sendlingerstraße 24
80331 München

24: Forschungszentrum Rossendorf e.V.

Postfach 51 01 19
01314 Dresden

25: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Wiener Straße 12
28359 Bremen

26: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe IKTS

Winterbergstraße 28
01277 Dresden

27: Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS

Grenzstraße 28
01109 Dresden

28: Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Bienroder Weg 54e
38108 Braunschweig

29: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Winterbergstraße 28
01277 Dresden

30: Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP Saarbrücken

Außenstelle für Akustische Diagnose und Qualitätssicherung EADQ Dresden
Krügerstraße 22
01326 Dresden

31: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM Berlin

31a: Branchlab Chemnitz, Abteilung
Micro Devices and Equipment
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

31b: Micro Materials Center Chemnitz
Otto-Schmerbach-Straße 19
09117 Chemnitz

32: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM Berlin

Institutsteil München
Hansastraße 27d
80686 München

33: Freudenberg Forschungsdienste KG

Höhnerweg 2 - 4
69465 Weinheim

34: Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer mbH

Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

35: Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien GMBU e.V.

Arbeitsgruppe Funktionelle Schichten
Postfach 52 01 65
01317 Dresden

36: GeSIM GmbH

Bautzner Landstraße 45
OT Rossendorf
01454 Radeberg

37: Hitachi High-Technologies Europe GmbH

Europark Fichtenhain A12
47807 Krefeld

38: Hochschule für Technik und Wirtschaft Mittweida

Technikumplatz 17
09648 Mittweida

39: IBM Deutschland E&TS GmbH
Hechtsheimer Straße 2
55131 Mainz

40: iLF Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft Lacke und Farben mbH

Fichtestraße 29
39112 Magdeburg

41: Incoatec - Innovative Coating Technologies GmbH

Max-Planck-Straße 2
21502 Geesthacht

42: Infineon Technologies AG München

42a: Abteilung Forschung
Otto-Hahn-Ring 6
81730 München

42b: Abteilung Marketing
St.-Martin-Straße 76
81609 München

43: Infineon Technologies Dresden GmbH & Co. OHG

Königsbrücker Straße 180
01099 Dresden

44: Institut für Lacke und Farben e.V. Magdeburg

Fichtestraße 29
39112 Magdeburg

45: Interessenverband Chemnitzer Maschinenbau e.V.

Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz

46: Kayser-Threde GmbH

Wolfratshauser Straße 48
81379 München

47: Laserinstitut Mittelsachsen e.V.

Technikumplatz 17
09648 Mittweida

48: Laser-Zentrum Hannover e.V.
Hollerithallee 8
30419 Hannover

49: Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung e.V. Dresden

Postfach 27 01 16
01171 Dresden

50: Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V. Leipzig

Permoserstraße 15
04318 Leipzig

51: Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V. Dresden

Hohe Straße 6
01069 Dresden

52: Leica Microsystems Semiconductor GmbH

Ernst-Leitz-Straße 17 - 37
35578 Wetzlar

53: Leybold Systems GmbH

Wilhelm-Rohn-Straße 25
63450 Hanau

54: Meier Vakuumtechnik GmbH

Vennweg 18
46395 Bocholt

55: Namos GmbH

Windbergstraße 54
01728 Bannewitz

56: Nanocraft

Innovationszentrum Engen
78234 Engen

57: Nanoparc GmbH

Bautzner Landstraße 45
OT Rossendorf
01454 Radeberg

58: Naturwissenschaftliches und Medizinisches Institut an der Universität Tübingen
Markwiesenstraße 55
72770 Reutlingen

59: Papiertechnische Stiftung
Heßstraße 134
80797 München

60: Photonics MZD GmbH
Grenzstraße 28
01109 Dresden

61: Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
Postfach 33 45
38023 Braunschweig

62: PicoRapid Technologie GmbH
Fahrenheitstraße 1
28359 Bremen

63: PINK GmbH Vakuumtechnik
Postfach 15 09
97865 Wertheim

64: Raith GmbH
Hauert 18, Technologiepark
44227 Dortmund

65: Robert Bosch GmbH
Postfach 10 60 50
70049 Stuttgart

66: ROTECH GmbH
Bautzner Landstraße 45
OT Rossendorf
01454 Radeberg

67: Roth & Rau AG
Gewerbering 3
OT Wüstenbrand
09337 Hohenstein-Ernstthal

68: Sachsen LB - Corporate Finance Holding GmbH
Postfach 10 02 06
04002 Leipzig

69: SENTECH Instruments GmbH
Carl-Scheele-Straße 16
12489 Berlin

70: Sick AG
Sebastian-Kneipp-Straße 1
79183 Waldkirch

71: Siemens AG Berlin
Siemensdamm 50
13629 Berlin

72: SURFACE
Rheinstraße 7
41836 Hückelhoven

73: SUSS MicroTec Testsystems GmbH
Süss-Straße 1
01561 Sacka

74: TU Chemnitz, Institut für Physik
Postfach
09107 Chemnitz

75: TU Chemnitz, Institut für Chemie
Postfach
09107 Chemnitz

76: TU Chemnitz, Zentrum für Mikrotechnologien
Postfach
09107 Chemnitz

77: TU Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft
Postfach
01062 Dresden

78: TU Dresden, Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik
Postfach
01062 Dresden

79: TU Dresden, Institut für Angewandte Photophysik
Postfach
01062 Dresden

80: TU Dresden, Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie
Postfach
01062 Dresden

81: TU Dresden, Institut für Makromolekulare Chemie und Textilchemie
Postfach
01062 Dresden

82: Triple-O Microscopy GmbH
Behlertstraße 26
14469 Potsdam

83: Unaxis AG
PO Box 1000
FL - 9496 Balzers, Liechtenstein

84: Universität Hannover, Institut für Halbleiterbauelemente und Werkstoffe
Appelstraße 11a
30167 Hannover

85: Universität Hannover, Institut für Festkörperphysik
Abteilung Oberflächen
Appelstraße 2
30167 Hannover

86: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
Postfach 71 08 64
60528 Frankfurt

87: Wacker Siltronic AG
Postfach 11 40
84479 Burghausen

88: Zentrum Mikroelektronik Dresden AG
Postfach 80 01 34
01101 Dresden

Die Internetadressen aller Mitglieder finden Sie unter <http://www.nanotechnology.de/..../ger/s04/s04-ext.cgi> .

Impressum

Redaktion: Dr. Ralf Jäckel

Koordination
/ Gestaltung: Dr. Ralf Jäckel

Ein Teil der in dieser Broschüre vorge-
stellten Ergebnisse wurde in Projekten
erarbeitet, die vom Bundesministerium
für Bildung und Forschung BMBF oder
der Deutschen Forschungsgemein-
schaft DFG gefördert wurden.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der
Redaktion erforderlich.

© Nano-CC-UFS Oktober 2003