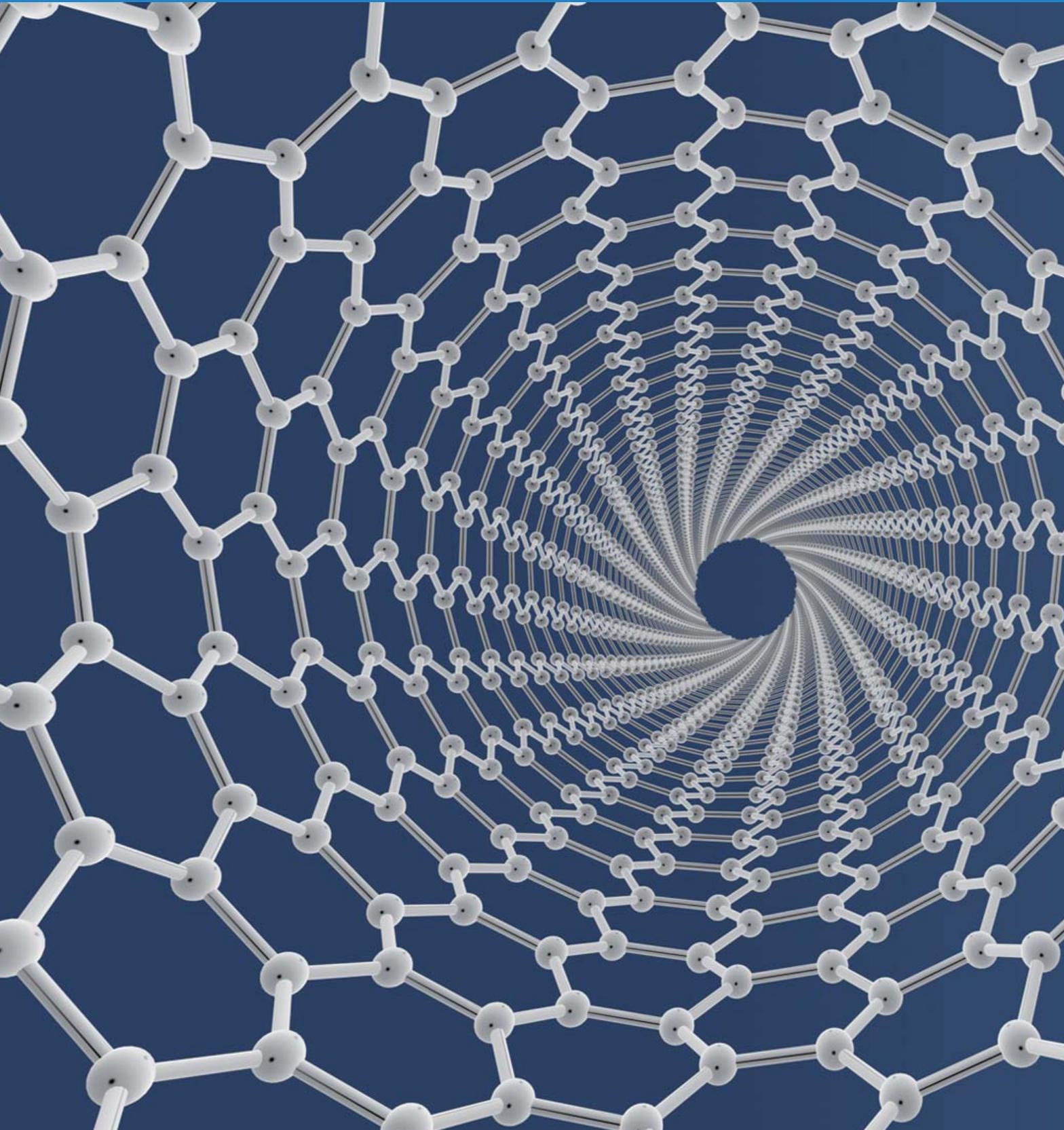


A microscopic image of a biological cell, likely a plant cell, showing a large nucleus with a prominent nucleolus and a dense network of cytoplasmic structures. The cell is surrounded by other cells, creating a textured, blue-toned background.

**FRAUNHOFER –  
INNOVATIONSCLUSTER  
»NANO FOR  
PRODUCTION«**

<b>DAS FRAUNHOFER-INNOVATIONSCLUSTER »NANO FOR PRODUCTION«</b>	<b>2</b>
Kompetenzen bündeln – Vorsprung schaffen	3
Nanotechnologie in Sachsen – eine Hochtechnologieregion setzt weltweite Impulse	4
Organisation und Management	6
Netzwerk	8
Öffentlichkeitsarbeit	9
Aus- und Weiterbildung	10
<b>INHALTLICHE AUSRICHTUNG DES INNOVATIONSCLUSTERS</b>	<b>11</b>
Plattform Nanopartikel	12
Plattform Nanoschichten	22
Plattform Nanostrukturen	30
<b>DIE PARTNER STELLEN SICH VOR</b>	<b>42</b>

# DAS FRAUNHOFER-INNOVATIONS- CLUSTER »NANO FOR PRODUCTION«



# KOMPETENZEN BÜNDELN – VORSPRUNG SCHAFFEN

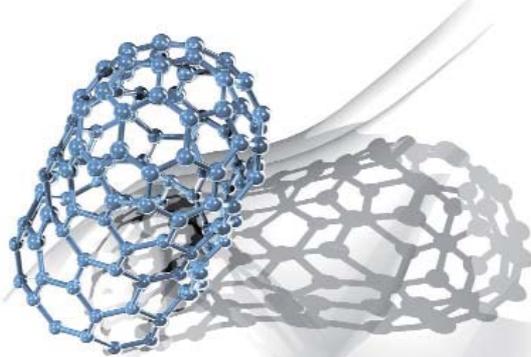
Die zunehmende Komplexität im Innovationsprozess erfordert immer mehr Kooperation und engere Zusammenarbeit. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat dies frühzeitig erkannt und zu einigen ausgewählten Themen Innovationscluster eingerichtet. Eines dieser Cluster, das Innovationscluster »nano for production«, wurde am 27. November 2006 gemeinsam mit führenden Vertretern aus Industrie, Forschung und Politik am Fraunhofer IWS Dresden eröffnet. Exzellenz und Kompetenz in dieser Schlüsseltechnologie werden damit gezielt gebündelt.

Das Innovationscluster »nano for production« hat zum Ziel, die Innovationskraft der Region weiter zu stärken und schnell die produktionstechnische Umsetzung nanoskaliger Effekte zu realisieren, damit Forschungsergebnisse rasch in marktfähige Produkte umgesetzt werden. Auch die Weiterbildung von Fach- und Führungskräften wird unterstützt. In der zielgenauen Einstellung von Strukturen in Größenbereichen von unter 100 nm und in deren industrieller Nutzung liegt eine wesentliche Herausforderung der modernen Werkstoffwissenschaften. Die Technologie mit den winzigen Strukturen hat ein großes Marktpotenzial.

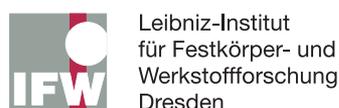
Die bisher mit Unterstützung des Freistaates Sachsen, der Fraunhofer-Gesellschaft und der beteiligten Industriefirmen durchgeführten Projekte im Rahmen des Innovationsclusters demonstrieren eindrucksvoll die Richtigkeit des Ansatzes. Nanotechnologische Entwicklungen werden aus dem Stadium der Grundlagenforschung an die Schwelle zur industriellen Einführung gebracht, um damit die Voraussetzungen für eine breite wirtschaftliche Nutzung zu schaffen. Darüber hinaus werden wesentliche Elemente der Nanoproduktionstechnik entwickelt, erprobt und für einen weiten Anwenderkreis zugänglich gemacht. Damit wird auch dem hohen Informationsbedarf zu Themen der Nanotechnik und Nanoproduktion Rechnung getragen.

Dr. Andreas Leson

Leiter des Innovationsclusters »nano for production«



# nano for production



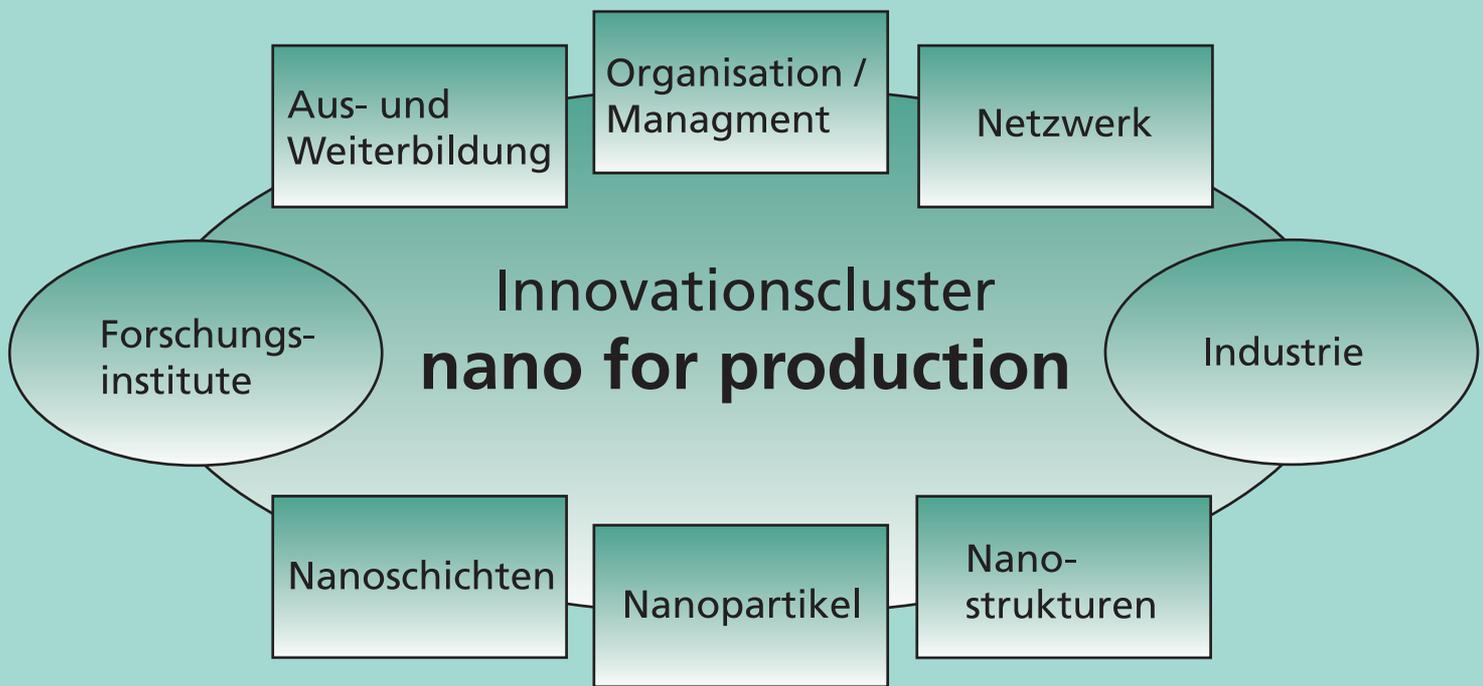
# NANOTECHNOLOGIE IN SACHSEN – EINE HOCHTECHNOLOGIEREGION SETZT WELTWEITE IMPULSE

In den letzten 10 Jahren hat sich Sachsen zu einem führenden Forschungs- und Wirtschaftsstandort der Nanotechnologie entwickelt. Insbesondere die Verknüpfung von Unternehmen und FuE-Einrichtungen sowie die hervorragende Forschungsinfrastruktur der sächsischen Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen tragen zum Erfolg des Freistaates bei und ermöglichen eine nationale und internationale Spitzenstellung. Bereits heute ist Sachsen die stärkste Nanotechnologie-Region in Ostdeutschland und nimmt im bundesweiten Vergleich einen vorderen Rang ein.

Die Landeshauptstadt Dresden ist einer der wichtigsten Hochtechnologiestandorte Europas und eine Hochburg der Materialforschung, ebenso wie der Dünnschicht-, Plasma- und Lasertechnologie. Rund 90 der bundesweit 750 Nanotechnologie-Unternehmen kommen aus der Region Dresden. Schwerpunktbranchen der Akteure sind Maschinen- und Gerätebau, Verfahrenstechnik, Mikroelektronik / IT sowie Werkstoffe. Mit rund 20 Start-ups gehört Dresden auch zu den bundesweit gründungsintensivsten Regionen in Deutschland.

Dresden ist eine Stadt der Wissenschaft mit einem lebendigen Netzwerk aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Hier existiert mit 10 Hochschulen, darunter die TU Dresden, und 19 Instituten und Einrichtungen der Fraunhofer-, Leibniz- und Max-Planck-Gesellschaften die größte Forschungslandschaft im Osten Deutschlands. Alle gemeinsam wollen mit ihrem *DRESDEN*-concept den Aufbau einer Allianz der Spitzenforschung in einem idealen wissenschaftlichen Umfeld vorantreiben.

Mehr als 40 Dresdner Forschungseinrichtungen sowie Universitätsinstitute beschäftigen sich bereits heute mit Nanotechnologie und bündeln ihre Aktivitäten im Innovationscluster »nano for production«. Neben dieser sehr hohen Forschungsdichte trägt die enge Verflechtung und Kommunikation von Forschung und Industrie in zahlreichen themenspezifischen Netzwerken zu einem außerordentlich innovativen Klima bei. Einige ausgewählte Ergebnisse des Innovationsclusters »nano for production« werden im Folgenden vorgestellt.



# ORGANISATION UND MANAGEMENT

Auf Initiative des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden wurde im Jahr 2006 das Innovationscluster »nano for production« ins Leben gerufen. Zahlreiche Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Organisationen vornehmlich aus dem sächsischen Raum sind darin aktiv. Sie sind an Forschungs- und Entwicklungsprojekten auf dem Gebiet der Nanotechnologie direkt beteiligt oder haben gemeinsame Projekte intensiv unterstützt.

Der stark interdisziplinäre Charakter der Nanotechnologie sowie die Breite des Spektrums an möglichen FuE-Themen erfordern eine offene, flexible Organisationsstruktur, die jedem Interessierten den Zugang ermöglicht. Bei seiner strategischen Ausrichtung vertraut das Innovationscluster auf einen Beirat.

Nach wie vor koordiniert das Fraunhofer IWS das Innovationscluster. Dabei kommt dem Cluster die Zusammenarbeit mit anderen Netzwerken zugute. So wird das vom BMBF als bundesweites Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten anerkannte Nano-CC »Ultradünne funktionale Schichten«, in dem sich 51 Unternehmen, 10 Hochschulen, 22 Forschungseinrichtungen und 5 Verbände zu einem Netzwerk zusammengeschlossen haben, vom Fraunhofer IWS Dresden koordiniert. Es ist in der »Arbeitsgemeinschaft der Nanotechnologie-Kompetenzzentren in Deutschland« (AGeNT-D), welche die ganze Spanne der unterschiedlichsten Nanotechnologien repräsentiert, vertreten.

## Kontakt

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

### Leitung des Innovationsclusters

Dr. Andreas Leson

Tel: 0351 / 83391 3317

andreas.leson@iws.fraunhofer.de

[www.iws.fraunhofer.de/innovationscluster](http://www.iws.fraunhofer.de/innovationscluster)

### Netzwerk

Dr. Otmar Zimmer

Tel: 0351 / 83391 3257

otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de

### Öffentlichkeitsarbeit

Dr. Ralf Jäckel

Tel.: 0351 / 83391 3444

ralf.jaeckel@iws.fraunhofer.de



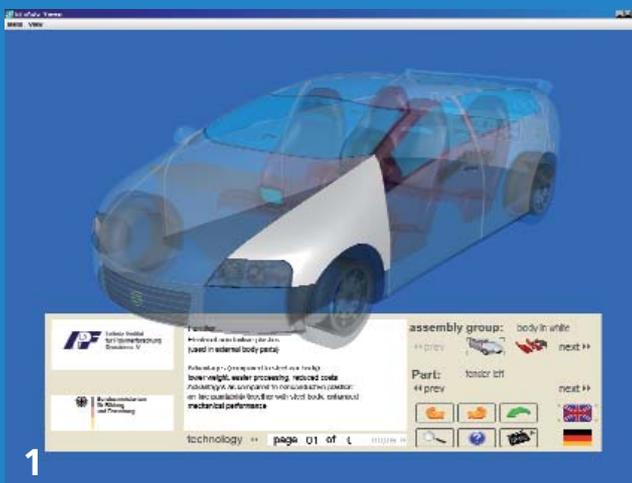
# NETZWERK

Die enge Vernetzung und Kooperation zwischen den forschenden Unternehmen und Einrichtungen sowie den Anwendern und potenziellen Anwendern in Sachsen trägt zu einer raschen Umsetzung von Erkenntnissen in die Praxis bei. Dadurch werden schneller neue Produkte und Märkte erschlossen und hochqualifizierte Arbeitsplätze geschaffen bzw. gesichert.

Ein wichtiger Erfolgsfaktor des Netzwerkes ist die Zusammenarbeit mit Multiplikatoren, wie z. B. der Stadt Dresden, der europäischen Forschungsgemeinschaft »Dünne Schichten« e. V. (EFDS), dem Materialforschungsbund Dresden e. V. (MFD) oder der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH.

Mehrfach beteiligte sich das Innovationscluster maßgeblich an der Vorbereitung und Durchführung von verschiedenen Nanotechnologie-Veranstaltungen mit dem Ziel, die Stärken des Standortes Dresden / Sachsen international bekannt zu machen und für diesen zu werben. So wurde im Oktober 2005 in London ein gut besuchtes Nanotechnologie-Forum durchgeführt, bei dem Ministerpräsident Prof. Dr. Georg Milbradt und FhG-Präsident Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger vortrugen.

Um für den Hochtechnologie-Standort Sachsen zu werben und diesen bekannter zu machen, besuchte eine von Ministerpräsident Prof. Dr. Georg Milbradt geleitete Delegation aus Sachsen im Oktober 2007 Japan. Das am 3. Oktober in Tokio veranstaltete und vom Innovationscluster »nano for production« maßgeblich mit getragene Nanotechnologie-Forum stellte eine hervorragende Plattform für den Erfahrungsaustausch mit der japanischen Wissenschaft, Industrie und Politik dar.



# ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Wesentlicher Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit sind die gemeinsamen Messeauftritte im In- und Ausland, z. B. die jährlichen Besuche der Nanotech in Tokio. Bereits das dritte Mal gab es bei der »Nanotech 2008« eine vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte deutsche Firmengemeinschaftsausstellung im Bereich der Nanotechnologie, zum zweiten Mal mit Beteiligung des Innovationsclusters »nano for production«.

Teilnehmer und Referenten aus ganz Europa, Japan, Nordamerika, Australien sowie Mexiko treffen sich im Rahmen der jedes Jahr im Kongresszentrum Dresden stattfindenden Nanofair zu Fachvorträgen und Diskussionsrunden zum Thema Nanotechnologie. Auch auf der Hannover-Messe 2008 präsentierte »nano for production« gemeinsam mit sechs weiteren Innovationsclustern einem interessierten Fachpublikum die Ergebnisse seiner Arbeit.

Mit Unterstützung der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH entwickelte das Fraunhofer IWS das 3D-Computermodell InFoAuto (Industriennahe Forschung Automobilbau). Es bildet die Leistungen der Mitglieder des Innovationscluster im Bereich Nanotechnologie ab. Damit kann die Breite und Praxisrelevanz der unterschiedlichen Forschungsaufgaben in einer übersichtlichen und modernen Form auf Messen oder Veranstaltungen dem in- und ausländischen Publikum präsentiert werden.

Im Modell hinterlegt sind zahlreiche innovative Detaillösungen, die von den beteiligten Firmen und Forschungseinrichtungen entwickelt wurden. Die Präsentation demonstriert eindrucksvoll, welche Rolle die Nanotechnik bereits heute im Automobil spielt und künftig spielen wird. Auf zahlreichen Messen und Veranstaltungen hat das InFoAuto zur Anbahnung neuer Kontakte und Kooperationen beigetragen.

Informationen zur Arbeit des Innovationsclusters und zum InFoAuto sind auch auf den Internetseiten [www.iws.fraunhofer.de/innovationscluster/index.html](http://www.iws.fraunhofer.de/innovationscluster/index.html) und [www.infoauto-sachsen.de](http://www.infoauto-sachsen.de) zu finden.

112 *3D-Computermodell eines Automobils, mit dem Neuentwicklungen aus dem sächsischen Raum demonstriert werden*



## AUS- UND WEITERBILDUNG

Um den erkennbaren Bedarf an Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen auf dem Gebiet der Nanotechnologie für die sächsische Industrie abzudecken, werden regelmäßig praxisorientierte, interdisziplinäre Kursmodule für die Aus- und Weiterbildung angeboten. So konnte beispielsweise mit den Kursen »Surface engineering and nano technology« (SENT) ein interessiertes Fachpublikum aus den verschiedensten Branchen angesprochen werden.

Zahlreiche universitäre Lehrveranstaltungen zu Themen der Nanowissenschaften wurden in den letzten Jahren etabliert und haben mittlerweile einen festen Platz in der Ausbildung von Wissenschaftlern und Ingenieuren eingenommen. Der Weiterbildung und dem Erfahrungsaustausch dienen darüber hinaus zahlreiche Workshops und Veranstaltungen zu Themen der Nanotechnologie.

Darüber hinaus engagiert sich das Innovationscluster insbesondere für junge Studentinnen und Studenten. So findet jährlich am Rande der internationalen Konferenz Nanofair ein NanoCareer Forum statt, das maßgeblich vom Cluster gestaltet wird und überaus guten Anklang findet. Geschäftsführer und Personalmanager führender Unternehmen aus der Region stellen ihre Unternehmen vor und schildern die Erwartungen an Berufsanfänger. Studentinnen und Studenten erhalten Informationen aus erster Hand und können mit den Firmenvertretern diskutieren.

1 *Sent-Kurs im Fraunhofer IWS*

2 *Nachwuchsforum im Fraunhofer IWS*

# INHALTLICHE AUSRICHTUNG DES INNOVATIONSCUSTERS

Den zentralen Kern des Innovationsclusters bilden besonders zukunftssträchtige FuE-Schwerpunkte, die zu Technologieplattformen entwickelt werden. Diese drei Technologieplattformen sind:

## *Plattform Nanopartikel*

Die Plattform Nanopartikel befasst sich mit der Herstellung und Anwendung von Nanopartikeln wie beispielsweise Carbon-Nanotubes (CNT's) und Pulver. Potenzielle Anwendungen dafür sind z. B. die Herstellung transparenter Keramiken oder künstlicher Muskeln.

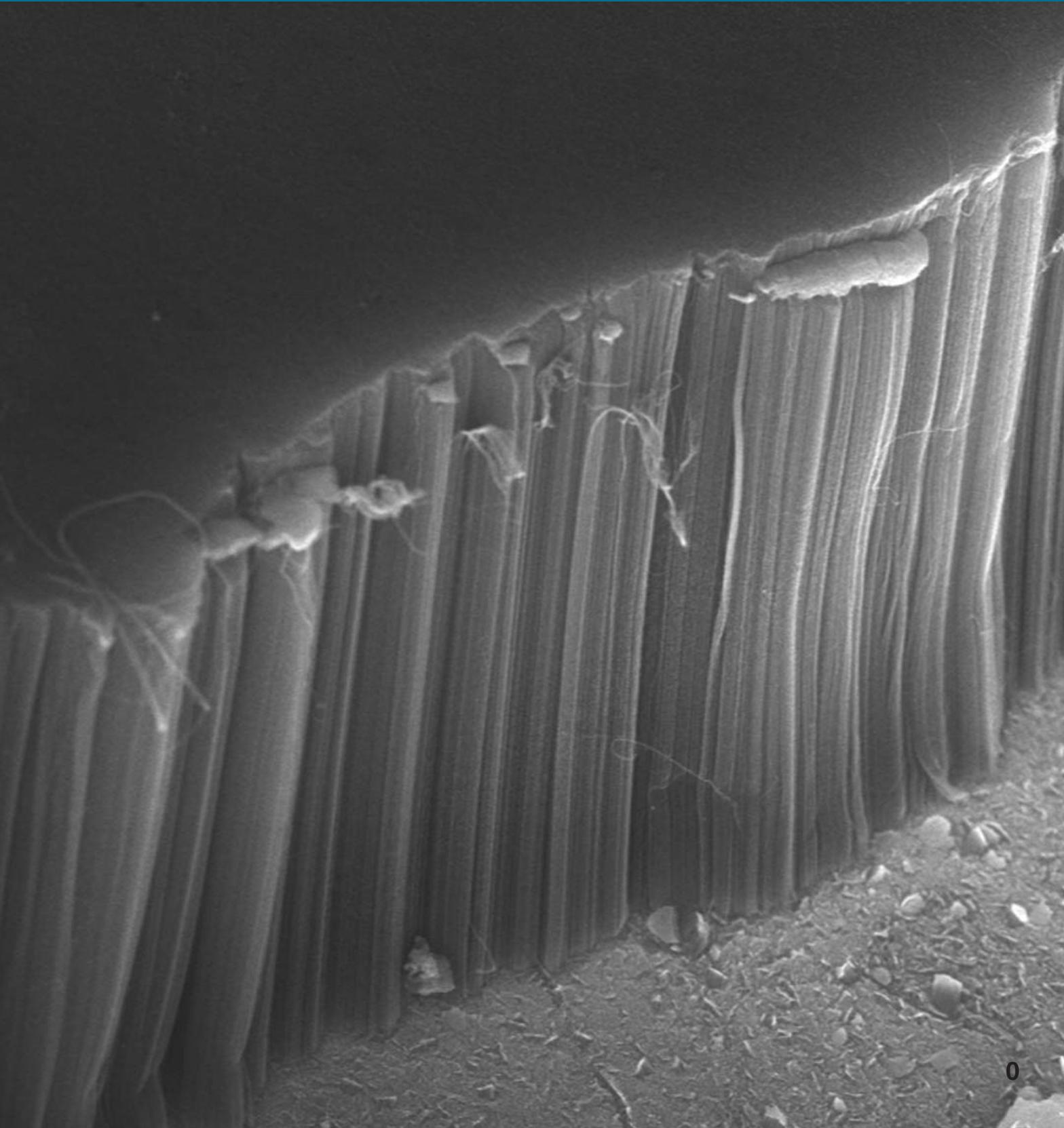
## *Plattform Nanoschichten*

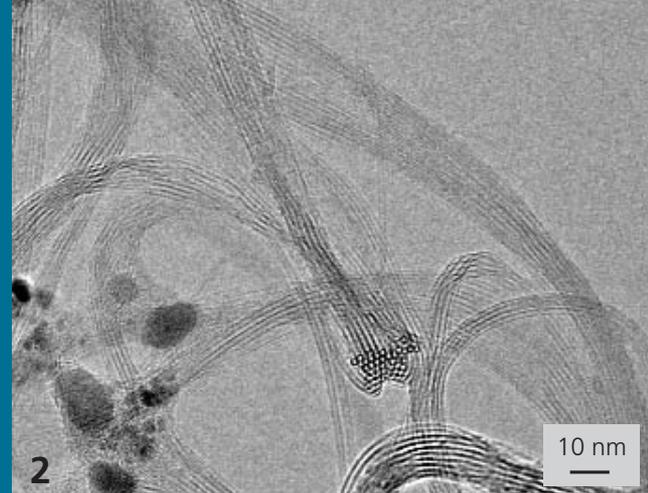
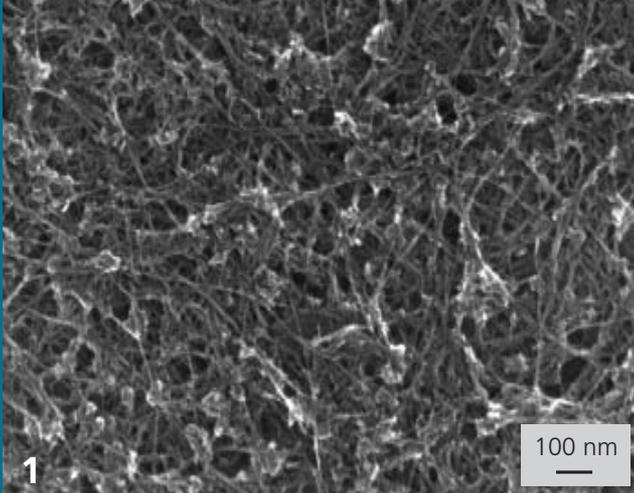
Nanoschichten haben eine herausragende Bedeutung z. B. für optische Anwendungen (Spiegel für Röntgenstrahlen, Warmeschutzverglasungen u. v. a.), für tribologische Beschichtungen oder für die Mikrosystemtechnik.

## *Plattform Nanostrukturen*

Nanostrukturierte Oberflächen können z. B. den Wirkungsgrad von Solarzellen verbessern oder zur Datenspeicherung genutzt werden.

# GELEBTE KOOPERATION – VERBUNDPROJEKTE IN DEN TECHNOLOGIEPLATTFORMEN





## PLATTFORM NANOPARTIKEL

Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nanotubes - CNT's) sind als neue Nanomaterialien für ihre Eigenschaftsweltrekorde (physikalisch, mechanisch und elektrisch) bekannt. Mit Kohlenstoff-Nanoröhren versetzte Polymere, Metalle und Keramiken können z. B. als mechanisch verstärkte Composite, Leichtbaumaterial, transluzente Elektroden, Aktuatoren, Superkondensatoren, Nanoelektronik zum Einsatz kommen. Dies erfordert die Verfügbarkeit von größeren Mengen von Nanoröhren mit genau bekannten Eigenschaften sowie die Modifikation bzw. Funktionalisierung der Nanoröhren, um deren Verarbeitung in diversen Matrixmaterialien mit den gewünschten Eigenschaften zu gewährleisten und darauf aufbauend die Bereitstellung von Halbzeugen zu einem attraktiven Preis zu ermöglichen.

Fraunhofer IWS und IKTS sowie IFW, TU Dresden und H. C. Starck kooperieren im Bereich der Herstellung von CNT's. Im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten steht die Aufskalierung verschiedener Herstellungsprozesse, um kostengünstig qualitativ hochwertige CNT's zu erhalten. Dabei werden sowohl ungebundene CNT's (geeignet z. B. als Füllstoffe für Polymere oder Aktuatoren) als auch substratgebundene CNT's («CNT-Rasen») hergestellt.

Um die besonderen Eigenschaften nutzen zu können, ist es erforderlich, CNT's in Werkstoffverbünde zu integrieren. Besonders interessant ist es, wenn die gewünschten Eigenschaften von Basiswerkstoffen mit geringsten Zugaben von CNT's entscheidend verbessert werden können (z. B. elektrische Leitfähigkeit), während andere Eigenschaften derselben Basiswerkstoffe (z. B. Transparenz) nahezu unverändert bleiben. Die Verarbeitung von CNT's ist deshalb neben deren Herstellung ein weiterer Forschungsschwerpunkt. Beispielsweise können durch Einbringung von CNT's in Klebstoffe deren elektrische Eigenschaften verbessert werden. Andere Anwendungen zielen auf die Herstellung von SuperCaps sowie von Sensoren.

0 *70 µm dicke Schicht aus geordneten SWCNT auf Metallfolie*

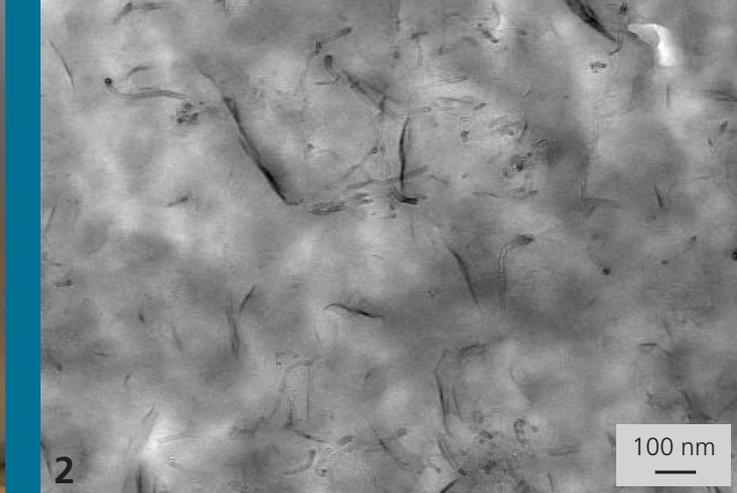
1 *Einwandige CNT's als Dünnschicht (ca. 100 nm) auf Glassubstrat*

2 *Produkt mit mehr als 80 % einwandigen defektarmen Kohlenstoff-Nanoröhren direkt nach dem Syntheseprozess*

# KUNSTSTOFF MIT EINGELAGERTEN KOHLENSTOFF-NANORÖHREN

Das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden (IPF), das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden (IFW), die Daimler AG und Sabic Innovative Plastics GmbH arbeiteten im Rahmen eines BMBF-Projektes (FKZ: 03X3006) daran, mit Hilfe von Nanotechnologie einen Kotflügel-Prototyp zu entwickeln. Als Alternative zu bisherigen Stahlblechkonstruktionen sollte durch die nanoskalige Verteilung von Schichtsilikaten und Kohlenstoffnanoröhren ein elektrisch leitfähiges Kunststoffbauteil mit im Vergleich zu reinem Kunststoff verbesserten Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften und erhöhter Wärmestabilität entstehen.

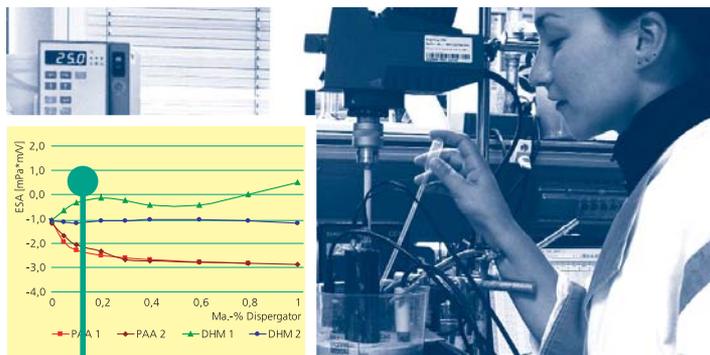
Bauteile aus Polymer / Schichtsilikat-Nanokompositen besitzen bei vergleichbaren Eigenschaften ein deutlich geringeres Gewicht als Metalle und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Energie-Einsparung und zum Umweltschutz. Um solche Bauteile mit dem in der Automobilindustrie gebräuchlichen elektrostatischen Verfahren lackieren zu können, müssen sie außerdem eine bestimmte elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Bisher wurden Kunststoffe entweder durch das vorherige Aufbringen leitfähiger Schichten oder durch den Zusatz von Rußpartikeln leitfähig gemacht. Der Rußzusatz führt allerdings zu einer Verschlechterung der sonstigen Eigenschaften (z. B. Oberflächenqualität, Verarbeitungsverhalten) und zu einer Versprödung des Materials.



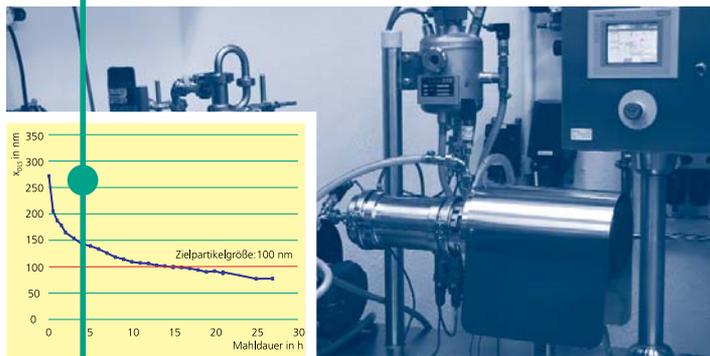
Beim alternativen Zusatz von Kohlenstoffnanoröhren ( $\varnothing$  ca. 2 - 20 nm) erlauben die hohe elektrische Leitfähigkeit und das extrem hohe Füllstoff-Aspektverhältnis (Länge zu Durchmesser) dieser Nanoteilchen eine Leitfähigkeitsausrüstung des Kunststoffes bereits bei sehr geringen Zusatzmengen. Gleichzeitig tragen diese Füllstoffe ebenfalls zur mechanischen Verstärkung der Kunststoffbauteile bei.

In Versuchen auf industriell üblichen Verarbeitungsmaschinen gelang es dem IPF, am IFW maßgeschneidert synthetisierte Nanoröhren so in die Kunststoffmatrix einzuarbeiten, dass die benötigten Zusätze auf unter 2 Ma-% gesenkt werden konnten, im Vergleich zu ca. 8 bis 12 Ma-% bei Rußpartikeln.

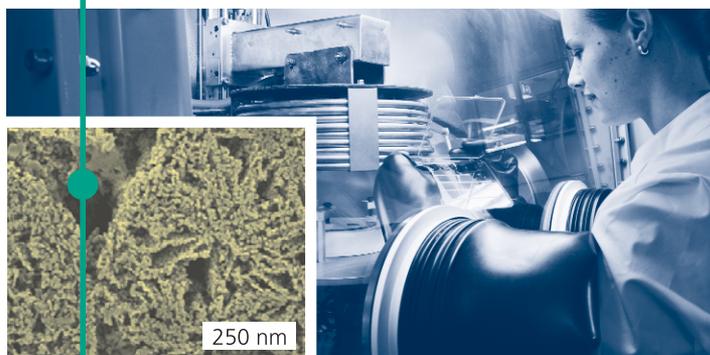
- 1 *Prototyp eines lackierten Kotflügels aus einem Polymer-Nanokomposit mit Schichtsilikat und Kohlenstoffnanoröhrchen*
- 2 *Dem Kotflügel ins Innere geschaut: Fein verteilte Kohlenstoffnanoröhrchen und Schichtsilikate in der Kunststoffmatrix*



## 1 Dispergierung



## 2 Aufbereitung



## 3 Verarbeitung



## 4 Bauteil / Sintern

# NEUE HERAUSFORDERUNGEN BEI DER VERARBEITUNG VON NANOMATERIALIEN

Am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) Dresden liegen langjährige Erfahrungen zur Herstellung, Charakterisierung und Verarbeitung nanoskaliger Pulver vor. Als Materialien stehen dabei Oxidkeramiken wie  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  und  $\text{TiO}_2$  und Nicht-Oxidkeramiken wie TiN und  $\text{Si}_3\text{N}_4$  im Vordergrund der Untersuchungen, die in geschlossenen technologischen Ketten verarbeitet werden.

Parallel zur Werkstoffentwicklung besteht die Notwendigkeit, Nanomaterialien mit prozessrelevanten Parametern zu charakterisieren. Zur Analyse von Partikeleigenschaften wie Größe, Aggregations- bzw. Agglomerationszustand kommen dynamische und statische Lichtstreuung in Kombination mit Elektronenmikroskopie sowie die Bestimmung der Oberflächeneigenschaften zum Einsatz. Zur Verarbeitung müssen die Nanopartikel dispergiert in Form stabiler Suspensionen mit hohen Feststoffkonzentrationen und geringer Viskosität vorliegen. Der messtechnisch unterstützten Auswahl geeigneter Dispergierhilfsmittel kommt dabei besondere Bedeutung zu (Bild 1). Die häufig in mehreren  $\mu\text{m}$  großen Clustern vorliegenden Nanopartikel müssen mit Hilfe hochenergetischer Mahlanlagen deaggregiert werden, wobei zur Vermeidung von Prozessstörungen eine kontinuierliche Überwachung gewährleistet wird (Bild 2).

Insbesondere bei nicht-oxidischen Nano-Werkstoffen muss das Processing so gestaltet werden, dass die Ausbildung von Oxidschichten verhindert wird. Die gesamte technologische Kette von der Partikelherstellung bis zum Bauteil kann daher entweder unter Schutzgasatmosphäre (Bild 3) oder auch konventionell, wenn durch geeignete oberflächenaktive Stoffe eine Passivierung erreicht wird, vorgenommen werden. Um die Vorteile der Verarbeitung nanoskaligen Materials im Bauteil ausnutzen zu können, müssen darüber hinaus Formgebung und Wärmebehandlung angepasst werden. Heißisostatische Pressen und Spark Plasma Sintering stehen zur Verfügung, um z. B. transparente Keramiken auf der Basis von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bzw. Spinell für optische Anwendungen oder nanokristalline  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Werkstoffe mit verbesserten Verschleißigenschaften herzustellen (Bild 4).



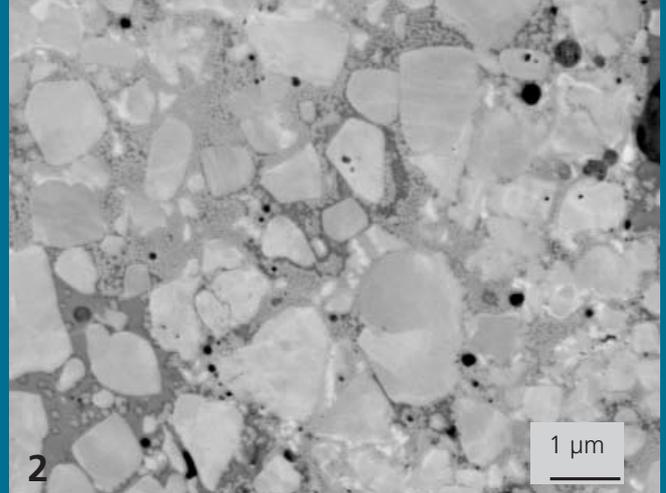
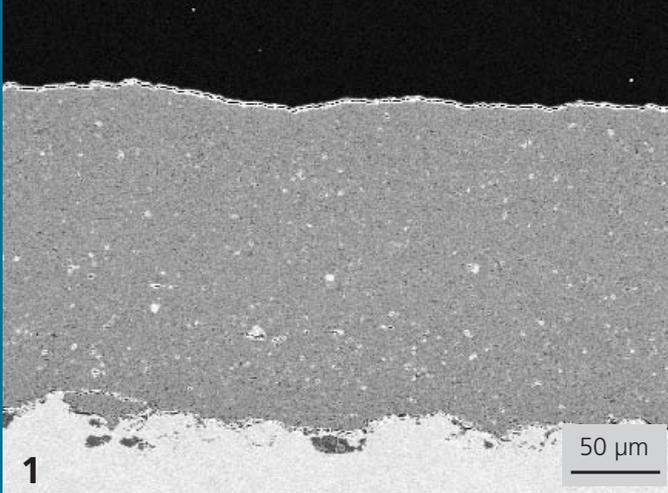
# NANOSTRUKTURIERTE THERMISCH GESPRITZTE SCHICHTEN DURCH SUSPENSIONSSPRITZEN

Üblicherweise werden für die Beschichtungsprozesse aus der Verfahrensgruppe des thermischen Spritzens Pulver oder Drähte als Ausgangswerkstoffe zur Schichtherstellung verwendet. Die Pulver besitzen häufig eine Partikelgröße im Bereich 10 - 45  $\mu\text{m}$  und können durch mehrere Verfahren hergestellt werden. Durch die Verwendung von Sinter- und Schmelzprozessen bei der Pulverherstellung ist es häufig schwierig, nanostrukturierte Ausgangspulver herzustellen. Als Alternative bietet sich die Verwendung von Suspensionen feindisperser und nanostrukturierter Pulver an.

Für die spritztechnische Verarbeitung von Nanopartikeln wurde am Fraunhofer IWS die Technologie des Suspensionsspritzens eingeführt. Das Verfahren eignet sich derzeit für die Herstellung oxidischer Schichten (z.B.  $\text{TiO}_2$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Hier kommen die Vorteile der nanoskaligen Ausgangsstoffe voll zur Geltung. Die Technologie wird im Rahmen mehrerer Projekte gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS und verschiedenen Industriepartnern für die industrielle Anwendung qualifiziert.

Die Herstellung von thermisch gespritzten Schichten durch Suspensionsspritzen erfordert einerseits die Modifizierung der Anlagentechnik inklusive der Entwicklung geeigneter Fördersysteme und andererseits die Herstellung stabiler Suspensionen.

Aus den wässrigen Suspensionen konnten Titanoxid-Schichten mit hoher Dichte hergestellt werden (Bild 1), die sich in der Phasenzusammensetzung wesentlich von den Schichten unterscheiden, die aus konventionellen Pulvern hergestellt werden. Im Vordergrund stehen die photokatalytischen Eigenschaften, die Schichten bestehen überwiegend aus der photokatalytisch aktiveren Phase Anatas.

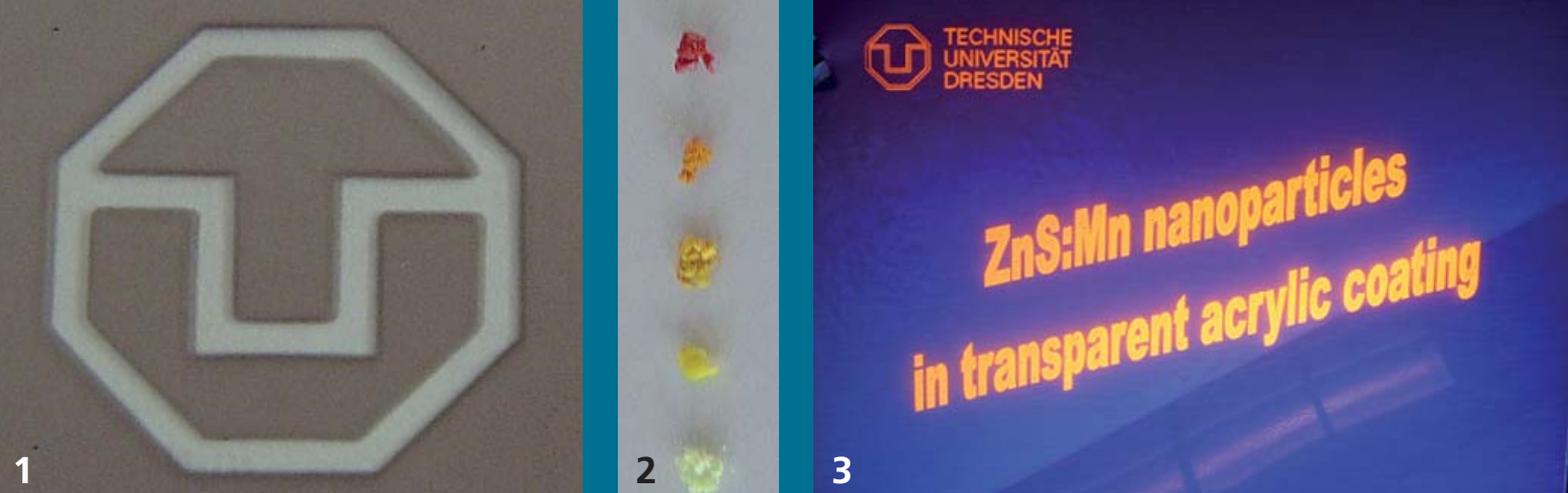


Auch beim Aluminiumoxid unterscheidet sich die Phasenzusammensetzung der suspensionespritzten Schichten von denen, die aus konventionellen Pulvern hergestellt werden. Hier ist es möglich, dichte Schichten herzustellen, die überwiegend aus der stabilen Phase Korund bestehen und so eine Verbesserung insbesondere der Langzeitstabilität der Schichteigenschaften versprechen.

Neben der Verarbeitung von Pulvern oder Suspensionen, die nanoskalige Partikel enthalten, können nanoskalige Strukturen auch durch in-situ-Bildung nanostrukturierter Gefügestände während der thermischen Beschichtungsprozesse erzeugt werden. Dieses Vorgehen ist insbesondere für Hartmetalle interessant, wo die Verwendung nanopartikelhaltiger Ausgangspulver bisher zu keinen Verbesserungen der Eigenschaften führte.

Die Realisierung nanoskaliger oder bimodaler Gefüge in gespritzten und geschweißten Schichten ist eine der Herausforderungen aktueller Forschungsprojekte, darunter eines Projektes der Fraunhofer-internen Programme. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Hartmetallspritzschichten (Bild 2) zeigen das nanostrukturierte Gefüge solcher Schichten. Zukünftige Entwicklungen beschäftigen sich mit der gezielten Einstellung solcher Gefügestände durch kontrollierte Prozessparameter und streng vorgegebene Temperaturregime.

- 1 *Dichte Titanoxidschicht, hergestellt mit Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) aus einer wässrigen Suspension*
- 2 *REM-Aufnahme einer WC-17%Co-Hartmetallspritzschicht*



# NANOPARTIKEL MIT MASSGESCHNEIDERTEN OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN FÜR TRANSPARENTE POLYMERE

Die Synthese anorganischer Nanopartikel mit maßgeschneiderten optischen oder elektrischen Eigenschaften wurde am Institut für anorganische Chemie der TU Dresden bereits für zahlreiche Stoffsysteme erfolgreich realisiert. Für die Synthese von Bismutoxyhalogeniden wurde eine templatgesteuerte Synthese in inversen Mikroemulsionen verwendet, deren Vorteil vor allem in einer guten Kontrolle der Partikelgrößen sowie der Partikelgrößenverteilung liegt. Auf Grund des Größenquantisierungseffekts bei Halbleiternanopartikeln können optische Eigenschaften der Partikel gezielt über die Partikelgröße eingestellt werden. Für BiOI-Nanopartikel resultieren dabei je nach Synthesebedingungen unterschiedlich farbige Partikel, die durch die gezielte Verschiebung der Absorptionsbanden Einsatz in Farbfiltermaterialien finden können.

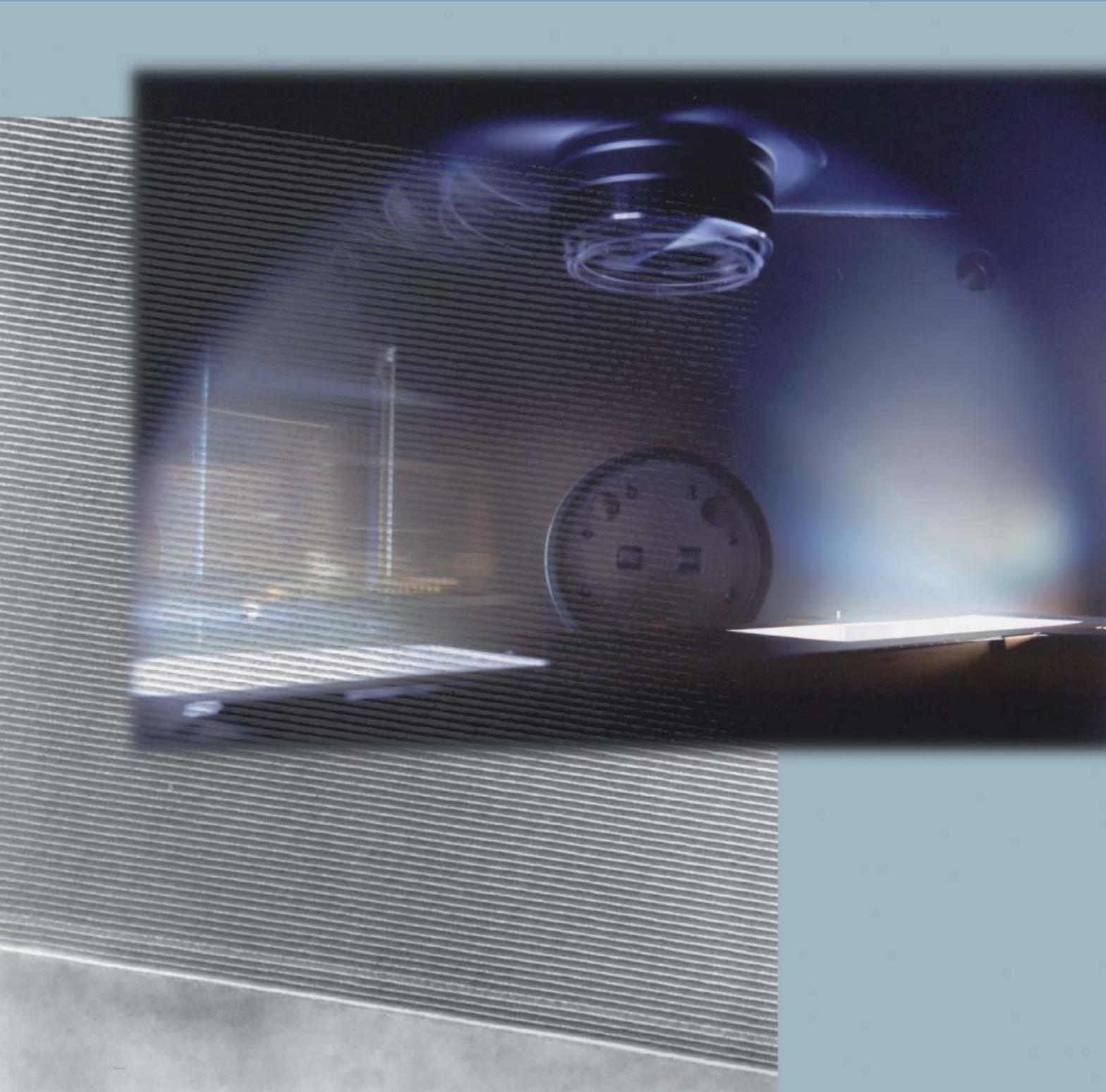
Über eine in-situ-Polymerisation der partikelhaltigen Mikroemulsionen können hochtransparente Polymerkomposite erhalten werden. Solche BiOI-haltigen Kompositmaterialien zeigen einen reversiblen photochromen Effekt, der unter UV-Bestrahlung eine Färbung der Nanokomposite von gelb / orange zu schwarz bewirkt, sowie deren Rückfärbung unter Sauerstoffeinwirkung. Der Effekt kann ausgenutzt werden, um vorübergehende Strukturierungen im Material zu erzeugen. Industrielle Anwendungen finden solche photochromen Materialien z. B. auch in Sauerstoffsensoren.

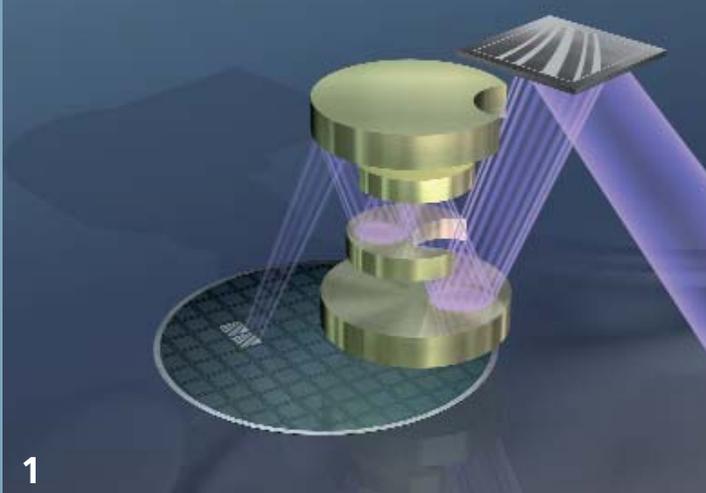
Ein weiterer Schwerpunkt wird auf der Synthese von lumineszierenden Nanopartikeln als Füllstoff für transparente Polymere gelegt. Eine große Bedeutung kommt dabei der Oberflächenmodifikation der anorganischen Partikel zu, um diese homogen in Polymere zu integrieren und Aggregation zu vermeiden. Eine elegante Methode ist hierbei die Stabilisierung der Partikel in koordinierenden Monomeren. Stabile Monomerdispersionen erhält man z. B. für Mangan-dotierte Zinksulfidnanopartikel in Acrylsäure. Die Acrylsäure adsorbiert an der Oberfläche der Partikel, durch anschließende in-situ-Polymerisation werden die Leuchtstoffe direkt in das resultierende Polymer eingebettet. Die lumineszierenden Composite erreichen hervorragende Quantenausbeuten von bis zu 30 %. Die gute Prozessierbarkeit der Dispersionen ermöglicht auch das Bedrucken von Folien mit anschließender Fixierung durch Photopolymerisation.

Komposite mit weiteren Leuchtstoffsysteme wie ZnO, ZnS:Cu oder  $\text{YVO}_4\text{:Eu}$  wurden entwickelt. Die Integration solcher Partikel in elektrolumineszierende Bauteile ist Gegenstand aktueller Forschungen am Institut.

- 1 *Strukturierung eines BiOI / PLA-Komposits mit Hilfe eines photochromen Effektes*
- 2 *Farbänderung bei BiOI-Nanopartikeln mit steigender Partikelgröße*
- 3 *Fotoaufnahme einer Folie bedruckt mit ZnS:Mn-Dispersion unter UV-Anregung*

# PLATTFORM NANOSCHICHTEN



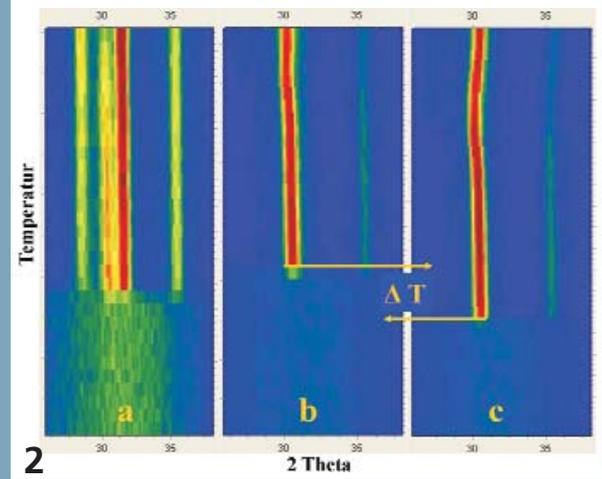
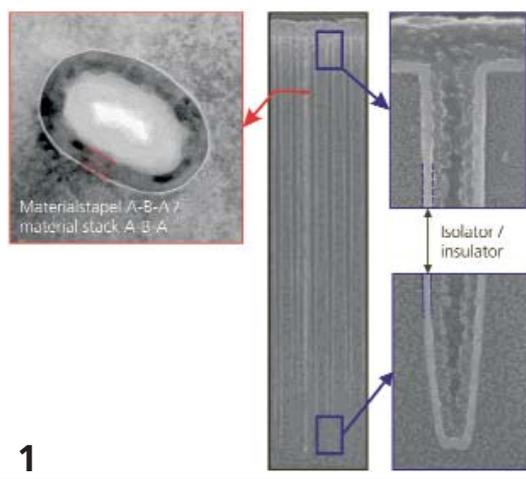


# NANOMETER-EINZEL- UND MULTISCHICHTEN

Nanometer-Einzel- und Multischichten werden in der EUV- und Röntgenoptik zur Strahlformung und Monochromatisierung eingesetzt. An die Schichtsysteme werden höchste Anforderungen hinsichtlich der Dickengenauigkeiten, Rauheiten, chemischen Reinheiten, lateralen Homogenitäten und Reproduzierbarkeiten gestellt.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, kooperieren die Firmen AXO und Carl-Zeiss seit Jahren eng mit dem Fraunhofer IWS Dresden. Neue, immer komplexere Bauelemente können im IWS reproduzierbar und mit einer in Deutschland einmaligen Qualität beschichtet werden. Gemeinsam mit der Firma Roth & Rau wurde die Technologie nunmehr auf eine Produktionsanlage für Großbauteile übertragen und erfolgreich im industriellen Einsatz getestet.

Nanometer-Multischichten für die Fokussierung von Röntgenstrahlen bilden auch einen Schwerpunkt des in Dresden angesiedelte BMBF-Spitzenclusters »Cool Silicon - energieeffiziente Elektronik«. Zusammen mit einer Vielzahl industrieller Partner und Forschungseinrichtungen, wie z. B. AMD, FHR, FZD, IKTS u. a. werden hier Technologien für die Herstellung energieeffizienter elektronischer Schaltkreise entwickelt und zur Produktionsreife geführt. Weitere Informationen dazu sind auch unter [www.cool-silicon.de](http://www.cool-silicon.de) zu finden.



# ATOMLAGENABSCHIEDUNG VON ZIRKONIUM-, HAFNIUM- UND TITAN-BASIERTEN DIELEKTRIKA FÜR ANWENDUNGEN IN DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE

Die zunehmende Miniaturisierung integrierter Schaltkreise erfordert für zahlreiche Anwendungen in der Mikro- und Nanoelektronik die Einführung neuer Materialien. Ein wesentliches Gebiet der Forschungsarbeiten am Fraunhofer CNT stellt die Entwicklung neuartiger Dielektrika dar, die beispielsweise in DRAM-Speichern Verwendung finden. Hier gilt es, dreidimensionale Grabenstrukturen (engl. »Deep Trench«) mit einem Aspektverhältnis (Tiefe:Breite) von bis zu 100:1 konform zu beschichten, was nur durch die Technologie der Atomlagenabscheidung (atomic layer deposition, ALD) gewährleistet ist. Dabei werden sehr dünne Schichten Atomlage für Atomlage in einem selbstlimitierenden Wachstumsprozess abgeschieden.

Ein ALD-Zyklus zur Abscheidung einer Atomlage eines Metalloxid-Dielektrikums umfasst folgende Schrittfolge: Puls des metall-organischen Precursors – Inertgasspülen – Puls der sauerstoffhaltigen Komponente – Inertgasspülen. Die gewünschte Schichtdicke wird durch Wiederholen der Sequenz erreicht. Mit unterschiedlichen Ausgangskomponenten können die Zusammensetzung bzw. die Eigenschaften des Schichtstapels (z. B. durch Dotierung) präzise eingestellt werden.

- 1 *Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Grabenstrukturen mit sehr hohem Aspektverhältnis*
- 2 *Die Hochtemperatur-Röntgenanalyse von ALD-HfO<sub>2</sub>-Schichten mit Si- bzw. Y-Dotierung bestätigt sowohl die Phasenstabilisierung als auch das Potenzial zur Verringerung des thermischen Budgets*
  - a) *amorph-monokliner Übergang bei HfSiO mit niedrigem Si-Gehalt*
  - b) *amorph-tetragonaler Übergang des mit erhöhtem Si-Gehalt ausreichend stabilisiertem HfSiO*
  - c) *Temperaturerniedrigung des amorph-tetragonalen Übergangs durch Y-Dotierung des HfSiO*



Der Einsatz neuer Materialien wird im Folgenden am Beispiel von DRAM-Kondensatoren näher erläutert.

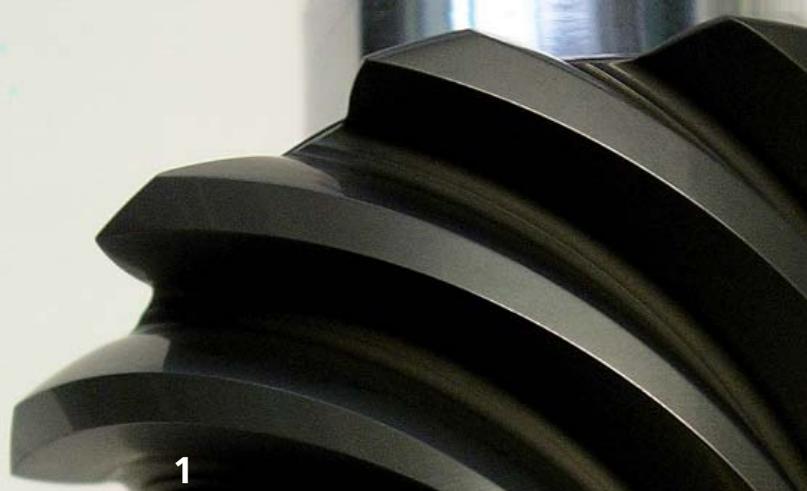
Die zunehmende Miniaturisierung erfordert zur Kapazitätserhöhung einerseits eine Vergrößerung der Kondensatorfläche, wie sie beispielsweise in Deep-Trench-Strukturen erreicht wird, andererseits die Verwendung von Materialien mit erhöhter Dielektrizitätskonstante. Dabei gilt Zirkoniumoxid ( $ZrO_2$ ) als aussichtsreiches Material, das geeignete elektrische Eigenschaften aufweist und sich sehr konform mittels ALD in solchen Strukturen abscheiden lässt (Bild 1).

Diese positiven Eigenschaften des reinen  $ZrO_2$  (Dielektrizitätskonstante, Leckstromverhalten) bleiben jedoch während der weiteren Prozessierung zur Herstellung vollständiger Bauelementstrukturen nicht stabil, da sich durch nachfolgende thermische Behandlungen die kristalline Struktur der Schicht ändert. Ein ähnliches Verhalten wurde auch an Hafnium- und Titan-basierten Dielektrika beobachtet. So liegt die Dielektrizitätskonstante von  $HfO_2$  mit monokliner Struktur bei 23 und für die tetragonale Phase bei etwa 40. Allerdings lässt sich die Phase mit höherer Dielektrizitätskonstante durch Dotierungen in Form von Mischoxiden oder Laminaten stabilisieren. Während die Addition von Silizium zur Stabilisierung der tetragonalen Phase führt, bewirkt die Beimischung von Yttrium eine Senkung der Kristallisationstemperatur (Bild 2).

Neben der Materialentwicklung bildet die Weiterentwicklung der ALD-Technologie einen weiteren Forschungsschwerpunkt am Fraunhofer CNT. Diese umfasst sowohl die Erprobung neuer metall-organischer Precursoren als auch die Verbesserung der ALD-Abscheideanlagen (Bild 3). Beispielsweise wurde am Fraunhofer CNT eine Forschungsanlage durch ein Flüssigkeitsdosiersystem ergänzt, mit dem es möglich ist, auch Precursoren mit relativ niedrigem Dampfdruck zur Schichtherstellung nutzen zu können (Bild 4). Desweiteren sind Anlagenmodifikationen geplant, um zusätzliche Anwendungsfelder für das ALD-Verfahren zu erschließen.

3 Gesamtansicht einer ALD-Forschungsanlage im Fraunhofer CNT-Reinraum

4 Installiertes Dosiersystem für flüssige metall-organische Precursoren



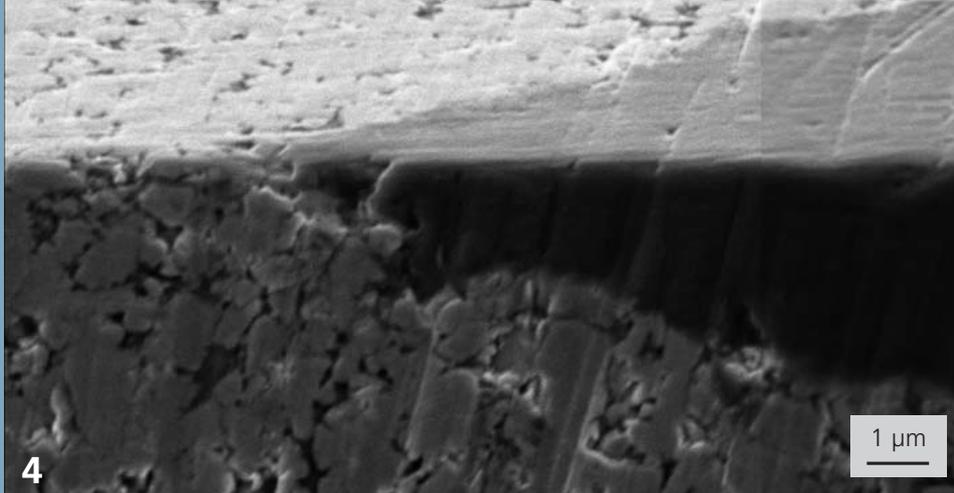
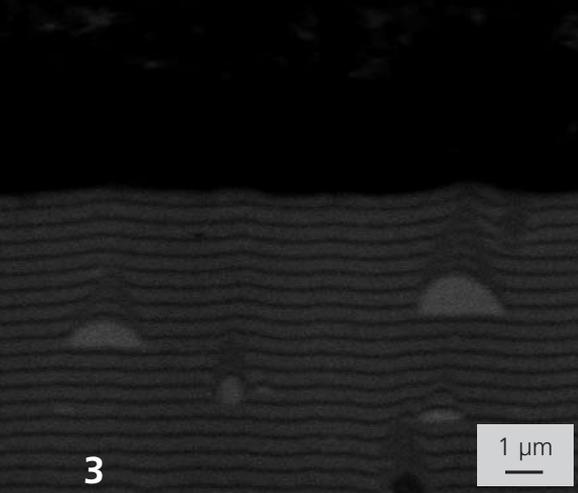
# HOCHBELASTBARE DIAMANTARTIGE SCHICHTSYSTEME

Diamantartige Kohlenstoffschichten (ta-C) sind für ihre einzigartige Kombination von hoher Verschleißfestigkeit und niedriger Reibung bekannt. Sie sind daher für zahlreiche Werkzeuge und Gleitkomponenten bereits im industriellen Einsatz.

In Kooperation mit der TU Dresden (Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik) konnten klassische ta-C-Schichten durch nanoskalige Multilagenschichten deutlich in ihrem Anwendungsspektrum erweitert werden. Die Optimierung solcher Schichtsysteme erfolgte mit Unterstützung der Simulation von kritischen Spannungen im Schicht-Substrat-Verbund. Anhand der berechneten Spannungsverteilungen in verschiedenen vorgegebenen Schichtarchitekturen wurden bei vorgegebener Belastung Schichtvarianten mit minimierten kritischen Spannungen herausgefunden.

Durch die Stapelung von harten und duktilen ta-C-Schichten mit Schichtdicken im Bereich einiger Nanometer wurden die Eigenspannungen von ta-C-Schichten erheblich reduziert. In der Folge sind deutlich bessere Haftfestigkeiten am Bauteil realisierbar. Gemeinsam mit der Firma VTD sowie weiteren sächsischen Unternehmen wird im Rahmen eines von der SAB geförderten Projektes die Anlagentechnik für die Schichtabscheidung von ta-C weiter verbessert. Daraus ergibt sich für die Zukunft ein hohes Anwendungspotenzial der Schichten für Bauteile mit Verzahnung, beispielsweise zur Reibungs- und Verschleißminderung im Automobilbereich.

- 1 *Mit einem optimierten ta-C / a-C-Mehrlagenschichtsystem beschichtetes Zahnrad*
- 2 *Laserakustische Prüfung eines GaAs-Wafers*



## HARTSTOFFSCHICHTEN MIT ANSCHLIFF

Eine neue Technologie zur Herstellung von Werkzeugen für die Mikrobearbeitung wird derzeit in Kooperation zwischen dem ITW Chemnitz, dem FTZ der Westsächsischen Hochschule Zwickau, der Gesau Werkzeuge GmbH, der CPT GmbH und dem IWS entwickelt. Dabei werden bis zu 100 µm dicke Hartstoffschichten aus 4 bis 10 nm dicken Einzellagen aufgebaut. Die so entstehenden Schichten sind haftfest, mechanisch stabil, bearbeitbar (schleifbar), und wesentlich härter und verschleißfester als klassisch beschichtete Hartmetallwerkzeuge. Ziel des Projektes ist die industrielle Einführung derart hergestellter Werkzeuge.

Für die Charakterisierung der Eigenschaften dünner Schichten (z. B. Schichtdicke, E-Modul) hat sich der im IWS entwickelte LAwave-Messplatz bewährt. Das Messgerät wurde in Zusammenarbeit mit dem IFW Dresden für Schichtanalysen mit deutlich verbesserter Präzision weiterentwickelt. Derzeit wird ein Messgerät für die Charakterisierung von Halbleitermaterialien und von thermischen Spritzschichten entwickelt.

3 *Erfolgreiche Defekteinbettung und nachfolgende Schichteinebnung im System CrN / TiN*

4 *Durch Schleifen hergestellte Kante im beschichteten Probekörper*

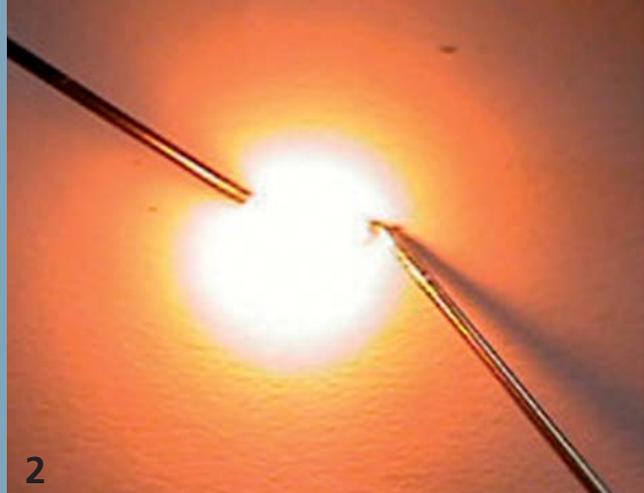


# PLASMAGESTÜTZTE CVD BEI ATMOSPHÄRENDRUCK (PECVD)

Ein wesentlicher technologischer Schwerpunkt des Innovationsclusters ist die Weiterentwicklung eines Atmosphärendruck-PECVD-Verfahrens sowie der dazu notwendigen Beschichtungsköpfe. Ein potenzielles Anwendungsgebiet ist das Beschichten von Bauteilen mit verschleißbeständigen, farbabweisenden Schichten oder die Abscheidung polymerartiger oder photokatalytischer Schichten. Stattet man eine Anlage mit mehreren oder einem beweglichen Beschichtungskopf aus, ist mit diesem Verfahren auch die Beschichtung von großen Bauteilen wirtschaftlich möglich.

In den folgenden Jahren soll eine Prototypanlage zur Prozessierung von Solarzellen mittels AP-PECVD aufgebaut werden. Gemeinsam mit industriellen Partnern wie Centrotherm und Q-Cells wurden im Rahmen mehrerer Projekte Schichtsysteme für die Photovoltaik ( $\text{SiN}_x\text{:H}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiC}$ ) untersucht. Die notwendige anlagentechnische Aufskalierung erfolgt in Zusammenarbeit mit dem sächsischen Industriepartner ALOtec.

Wissenschaftlich angearbeitet wurden auch neue Verfahren zur Herstellung von transparenten, kratzfesten Schichten sowie Schichtsystemen für die Beleuchtung. Dieser Thematik sind mehrere laufende Verbundprojekte gewidmet.



# NANOMETER-REAKTIVMULTISCHICHTEN ALS PRÄZISE KONTROLLIERBARE ENERGIESPEICHER

Nanometer-Multischichten, die aus Materialien bestehen, bei deren chemischer Verbindung Energie freigesetzt wird, bieten eine äußerst kontrollierbare Möglichkeit der Energiespeicherung und -freigabe. Durch den konkreten Aufbau der Multischicht kann die freiwerdende Energiemenge präzise gesteuert und auf die jeweilige Anwendung ausgerichtet werden.

Seit 2007 beschäftigt sich das Fraunhofer IWS Dresden mit der Herstellung derartiger, auch Reaktivmultischichten (RMS) genannter, Schichten. RMS bestehen aus mehreren hundert bis zu einigen tausend 10 - 100 nm dicken Einzelschichten von mindestens zwei unterschiedlichen exotherm miteinander reagierenden Materialien. Zu ihrer Herstellung werden physikalische Gasphasenabscheidungsverfahren wie Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition genutzt. Die RMS können dabei direkt auf die entsprechenden Bauteile beschichtet oder als freistehende Folien erzeugt werden.

Durch das Design der RMS können Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Reaktionsfront, freigesetzte Wärmemengen und maximal erreichbare Temperaturen gezielt beeinflusst werden. Zur Erforschung des Potenzials dieser Folien zum Fügen in der Mikrotechnik sowie zur Entwicklung einer effektiven Herstellungstechnologie arbeiten das IWS, die TU Chemnitz sowie weitere Forschungseinrichtungen zusammen.

1 *Reaktivfolien aus 1000 Einzelschichten*

2 *Wärmeausbreitung nach Aktivierung*

# PLATTFORM NANOSTRUKTUREN





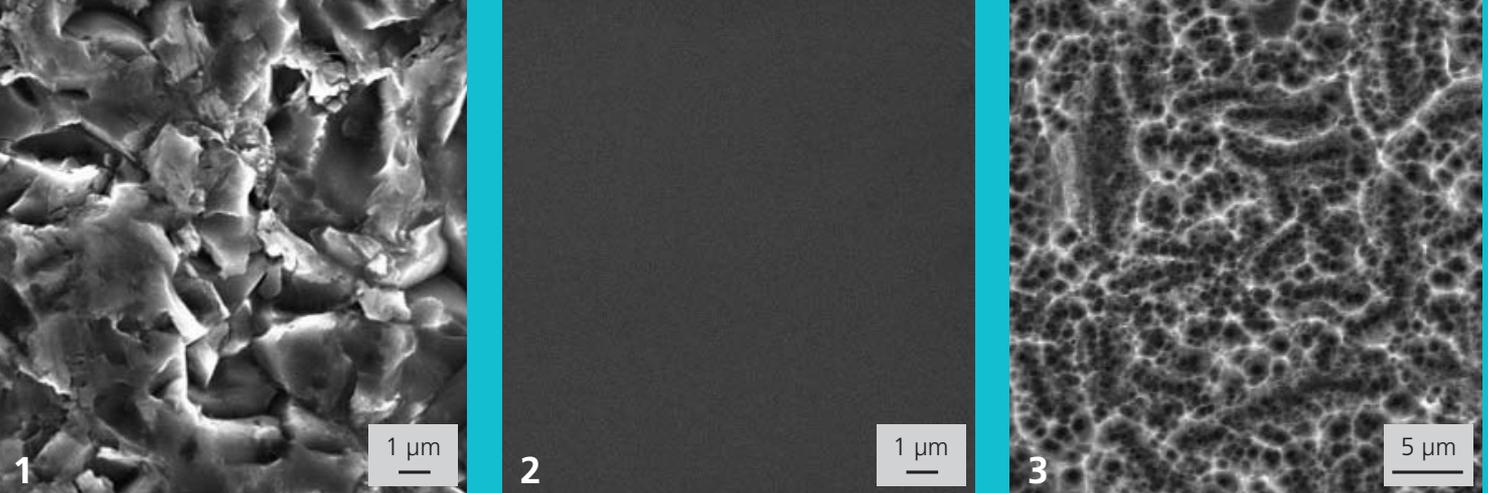
# NANOSTRUKTURIEREN VON KOHLENSTOFFSCHICHTEN

Gemeinsam mit dem IFW arbeitete das Fraunhofer IWS Dresden an der Fragestellung, ob und wie eine Grafitisierung von ta-C-Schichten im Nanometerbereich zur Informationsspeicherung nutzbar ist. Mit Hilfe eines STM wurden die im IWS hergestellten ta-C-Schichten strukturiert und anschließend Analysemöglichkeiten der nanostrukturierten Oberflächen evaluiert. Mit dem Verfahren können Strukturen erzeugt werden, die deutlich kleiner als 10 nm sind. Eine solch hohe Strukturauflösung ist derzeit mit keiner anderen Methode möglich.

Neue Anwendungen für nanostrukturierte ta-C-Schichten ergeben sich auch im Bereich Sensorik (beispielsweise für Biochips). Diese Thematik wird in Kooperation mit sächsischen Firmen (u. a. Biotype) sowie der TU Dresden im Rahmen eines BMBF-Projektes verfolgt.

Aktuelle Fragestellungen sind der Langzeitstabilität der Strukturen sowie der Verkürzung der Strukturierungs- und Analysezeiten gewidmet.

- 0 *Cu<sub>2</sub>Al-Ausscheidungen in einer Al-Cu-Si-Gusslegierung*
- 1 *Ausschnitt eines Fotos, welches*
- 2 *in eine Schwarz-Weiss-Darstellung transformiert und auf 200 x 250 Punkte skaliert und anschließend*
- 3 *mit Hilfe eines Raster-Tunnelmikroskop (STM) in eine ta-C Schicht geschrieben wurde, die Bildfläche beträgt nur ca. 1 μm<sup>2</sup>, Schreibgeschwindigkeit = 0,2 s / Punkt = 10.000 s ≈ 3 h*



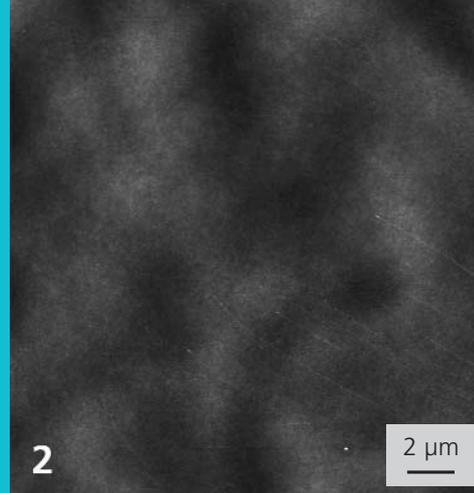
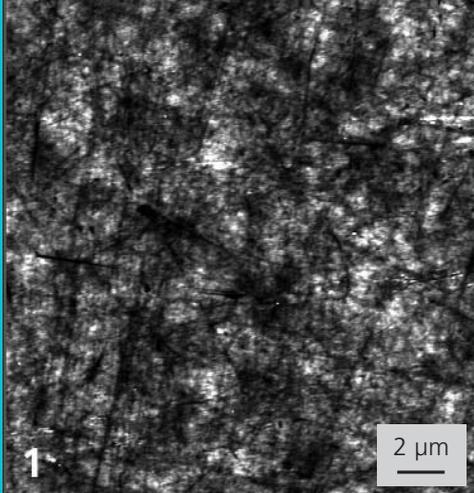
# PLASMACHEMISCHES ÄTZEN BEI ATMOSPÄRENDRUCK

In enger Kooperation mit Unternehmen aus dem Bereich Photovoltaik (Centrotherm, Q-Cells, Deutsche Solar) wurde die Technologie des Plasmaätzens bei Atmosphärendruck umfangreich untersucht und bis zur Vorserienfertigung qualifiziert. Im Rahmen des im Innovationscluster definierten Meilensteinprojektes »Industrielle Prototypanlage zum in-line-Nanostrukturieren von Solarzellen mit Atmosphärendruck-Plasmaverfahren« wurde eine erste Anlage zum kontinuierlichen Plasmaätzen von Solarwafern bei Atmosphärendruck entwickelt, konstruiert und aufgebaut.

Die Anlage ist prinzipiell für alle bei der Fertigung von kristallinen Solarzellen benötigten Ätzschritte geeignet. Die Machbarkeit des Sägeschadenätzens, der Plasmatexturierung, der Kantenisolation durch Rückseitenätzen und der Entfernung der Phosphorsilikatglasschicht wurden demonstriert. Dabei wurden sowohl mono- als auch multikristalline Wafer mit einer Dicke von unter 180 µm eingesetzt. Der potenzielle Durchsatz der im Moment mit einer Plasmaquelle ausgestatteten Anlage beträgt pro Stunde 1000 Wafer der Größe 156 x 156 mm<sup>2</sup>.

Erste Testserien der bei Atmosphärendruck prozessierten Wafer bei einem industriellen Endnutzer (Q-Cells) zeigten für den Prozessschritt der Kantenisolation durch Rückseitenätzen einen deutlichen Gewinn im Wirkungsgrad (bis zu 1,6 % relativ). Mit finanzieller Unterstützung durch die SAB und die EU werden in den kommenden Jahren gemeinsam mit der Firma ALOtec erste Plasmaätzanlagen für den Einsatz bei Industriepartnern gebaut.

- 1 *Monokristalliner Si-Wafer mit Sägeschaden (ca. 5,5 µm tief)*
- 2 *Siliziumwafer nach dem Plasmaätzen (ca. 6 µm Ätzabtrag)*
- 3 *Plasmachemisch texturierter Si-Wafer*



# NANOSTRUKTURIERUNG DURCH IONENSTRAHLSPUTTERN

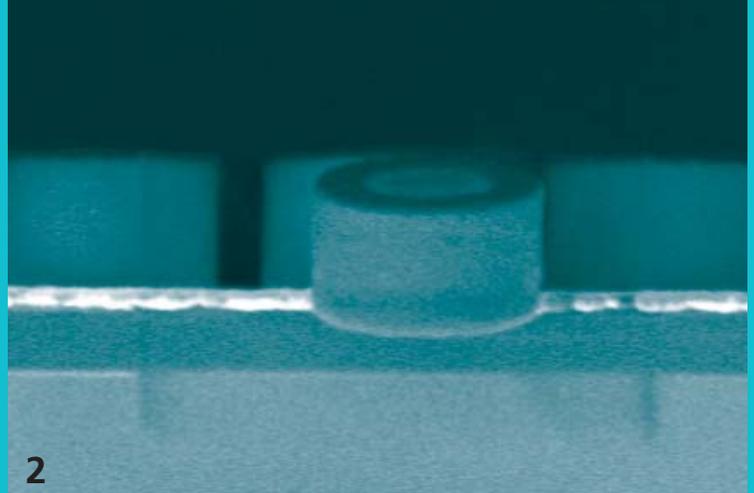
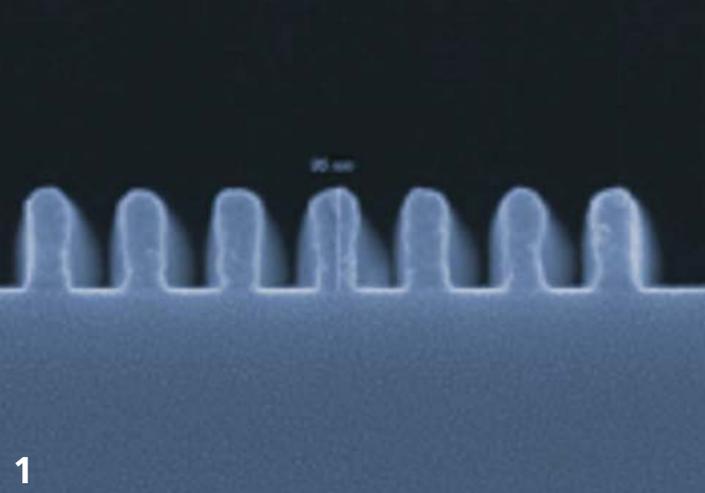
Ionenstrahlen eignen sich wegen ihrer definierten und reproduzierbaren Wechselwirkung mit Festkörpern, bei gleichzeitig geringer Eindringtiefe, in besonderer Weise für die Bearbeitung von optischen Oberflächen. Dabei reichen die Möglichkeiten vom formgebenden Abtrag (Konturierung) über die Oberflächenpolitur und -reinigung bis hin zu ionenstrahlgestützter Beschichtung.

In enger Zusammenarbeit mit den Firmen Roth & Rau sowie AXO wurde die Technologie des Ionenstrahl-sputterns zum Glätten und Konturieren von Oberflächen im Nanometerbereich sowie zur Erzeugung von Nanostrukturen weiterentwickelt. Mit dieser Technologie lassen sich zweidimensional gekrümmte Oberflächen erstmals kostengünstig mit einer Oberflächengüte herstellen, die die Entwicklung und Herstellung von leistungsfähigen strahlformenden Röntgenoptiken erlaubt.

Darüber hinaus wird die Technologie angewendet, um konventionell polierte Oberflächen mit Rauheiten im Bereich von 0,2 - 0,5 nm rms in superpolierte Oberflächen zu überführen, die Rauheiten von  $\leq 0,1$  nm rms aufweisen. Neben der Leistungssteigerung bestehender Röntgenoptiken wird damit auch der Zugang zur Nutzung von hochauflösenden Röntgenoptiken eröffnet. In diesem Fall müssen Multischichten mit Einzelschichtdicken unterhalb von 1 nm abgeschieden werden. Diese weisen nur dann eine hohe Performance auf, wenn die zu beschichtende Oberfläche superpoliert ist.

1/2 AFM-Aufnahmen (ca.  $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ ) der Quarz-Oberfläche vor (1) und nach der Ionenstrahlbearbeitung (2)

3 Beschichteter Spiegel (Schwarzschildobjektiv)



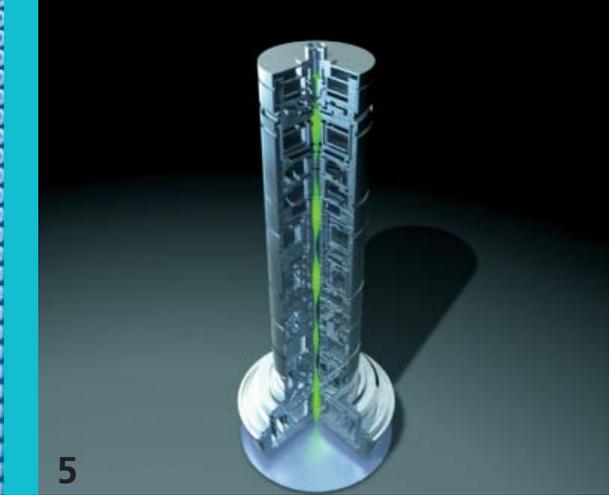
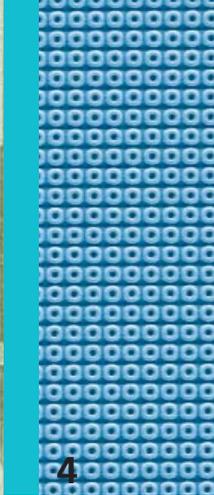
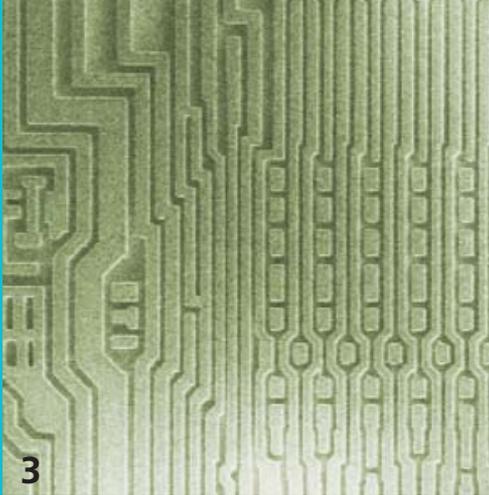
# NANOSTRUKTURIERUNG DURCH E-BEAM LITHOGRAPHIE

Die Elektronenstrahlithographie ist ein sehr flexibles Verfahren zur Herstellung äußerst feiner Strukturen mit Auflösungen von bis zu 32 nm für integrierte Schaltkreise auf 200- und 300-mm-Wafern. Dabei wird ein Wafer mit einem elektronenempfindlichen Lack (Fotoresist) beschichtet und ein Elektronenstrahl rastert dessen Oberfläche mit einer Energie von 50 keV ab.

Durch diesen Prozess wird an den bestrahlten Stellen der Lack chemisch verändert und ein latentes Bild im Lack erzeugt. Dieser Lack wird anschliessend entwickelt - abhängig davon, ob der zumeist chemisch verstärkte Lack negativ oder positiv ist, bleibt entweder Material stehen oder wird entfernt. Die gewünschte Struktur wird somit fixiert und es können weitere Bearbeitungsschritte wie Ätzen oder Implantation erfolgen.

Das Fraunhofer CNT verfügt über einen Formstrahlelektronenschreiber («Variable Shaped Beam») mit der elektronenoptischen Säule SB3050DW der Vistec Electron Beam GmbH sowie über ein TEL CleanTrack ACT-12 zur Belackung und Durchführung verschiedenster Temperaturschritte und Entwicklungen.

- 1 *Mit E-Beam-Lithographie geschriebene Struktur – 40 nm Linienbreite in Fotoresist*
- 2 *Ringstrukturen in Resist für MEMS Applikation*



Die maskenlose Lithographie für den Einsatz in der Volumenfertigung weiterzuentwickeln, ist Ziel des dreijährigen EU-Projektes MAGIC. Zurzeit wird sie aufgrund der sequentiellen Belichtung und des limitierten Durchsatzes hauptsächlich in der Grundlagenforschung, Vorfeldentwicklung und zur Maskenproduktion für optische Lithographieverfahren eingesetzt.

Die Unternehmen MAPPER und IMS Nanofabrication haben zwei E-Beam-Litho-Pilotanlagen entwickelt, die nach dem Multi-Beam-Prinzip funktionieren. Dabei wird der Elektronenstrahl in tausende von Teilstrahlen zerlegt, welche parallel Strukturen in einen Fotolack belichten können. Jeder Strahl kann individuell abgelenkt bzw. ausgeschaltet werden. Die Pilotanlagen sollen im Projektverlauf weiterentwickelt und das erfolgversprechende Konzept zu einem produktionstauglichen Prototyp fortentwickelt werden.

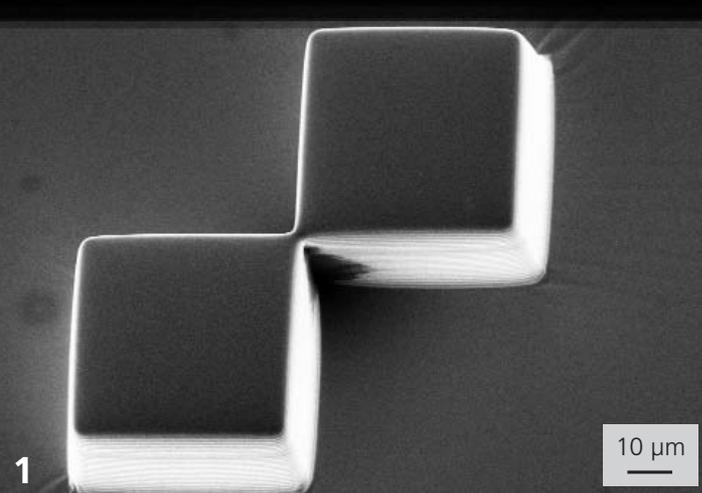
Das Fraunhofer CNT arbeitet dafür an der Bereitstellung und Optimierung von Prozessen mit. Am eigenen hochauflösenden E-Beam-Schreiber in Dresden werden die Rückstrahleffekte (Proximity-Effekt) im Fotoresist mittels Tests und Simulationen erforscht. Anhand von mathematischen Modellen versuchen die Wissenschaftler diesen dabei auftretenden Proximity-Effekt zu minimieren.

Für die Weiterentwicklung der Arbeiten wird ein reger Austausch mit Einrichtungen wie IMS Chips, Stuttgart und LETI, Grenoble als anderen Partnern nationaler und europäischer Förderprojekte gepflegt.

3 *Mit E-Beam-Lithographie geschriebene Struktur (Leiterbahnen in Aluminium für DRAM)*

4 *Ringstrukturen in Resist für MEMS Applikation*

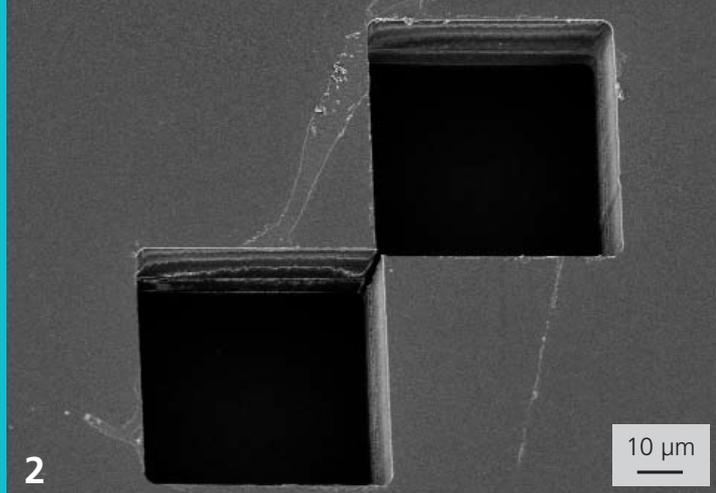
5 *Querschnitt durch die Vistec SB3050DW Elektronensäule*



# DIE NANO-IMPRINT TECHNOLOGIE UND DAS MICRO CONTACT PRINTING ( $\mu$ -CP)

Ein hoher Grad an Miniaturisierung hält immer mehr Einzug in den unterschiedlichsten Wirtschaftszweigen. Das bekannteste Beispiel sind Prozessoren und Controller. Doch auch im Bereich der optischen Technologien, der Materialwissenschaften und der Biotechnologie werden immer kleiner Strukturen angestrebt. Die kleinsten Dimensionen für verschiedene Teilelemente, Strukturen, Sensoren und Aktoren liegen im Bereich weniger  $\mu\text{m}$  bis  $\text{nm}$ . Diese Dimensionen werden oft nur mit der aufwendigen und kostenintensiven Lithographie umgesetzt. Eine kostengünstige Alternative stellt die Nanoimprint- / micro contact printing Technologie ( $\mu$ -CP Technologie) dar. Diese basiert auf dem Ansatz, Oberflächenstrukturierung / -funktionalisierung mit einem Stempel zu erzeugen. Bei dieser Replikatechnik wird der Stempel von einem Master abgeformt und zur Strukturierung von Substraten verwendet. So kann eine Vielzahl an Stempeln permanent nachgefertigt werden. Standardmaterial für diese ist z. B. Polydimethylsiloxan (PDMS), ein weiches Polymer.

Das  $\mu$ -CP wird im Rahmen laufender Biotechnologie-Projekte zum ortsselektiven Funktionalisieren von Multiparameterbiochips angewendet. Hierbei sollen Proben mit einem optischen Messgerät auf verschiedene Inhaltsstoffe untersucht werden. Das dabei angewendete Messprinzip ist die Oberflächenplasmonenresonanz (SPR), wobei der Substanznachweis nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip erfolgt. Auf einer gereinigten Goldoberfläche wird eine chemische Kopplungsschicht aufgebracht, die mit den Rezeptoren für die nachzuweisende Substanz aktiviert wird. Die Signalzuweisung für einzelne Substanzen erfolgt ortsaufgelöst auf der Sensoroberfläche. Mit Hilfe des  $\mu$ -CP können durch Einsatz einiger  $\mu\text{l}$  bis weniger  $\text{nl}$  Substanzvolumen sehr kleine Messflächen von einigen 10 bis 100  $\mu\text{m}$  auf dem Biochip realisiert werden. Beispielhafte Anwendungsgebiete sind die Leukämiediagnostik oder der Nachweis von Kartoffelviren.



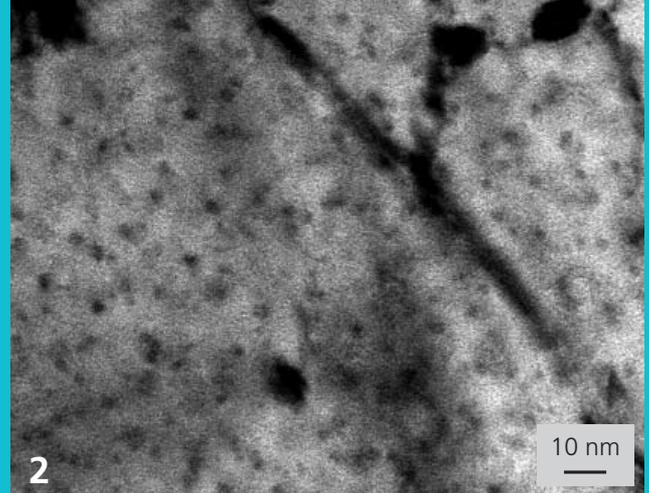
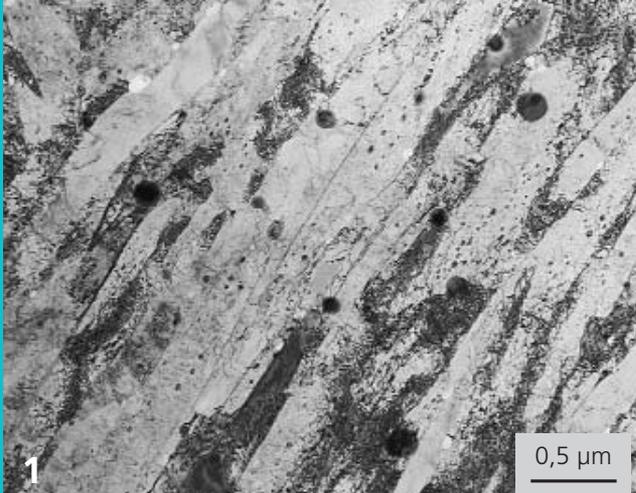
Strukturierung von Metallen:

Mit dem Nanoimprint soll am Fraunhofer IWS Dresden eine alternative Technik zur Oberflächenstrukturierung von Metallen und Halbleitern neben der reinen Laserbearbeitung und Lithographie umgesetzt werden. Hierbei werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt. Bei der ersten Variante werden die Strukturen des Stempels mit einer elektrisch leitenden Schicht versehen. Wird der Stempel innerhalb eines nichtleitenden Mediums nahe an die Werkstückoberfläche heran geführt, kommt es durch das angelegte elektrische Feld zum Funkenüberschlag. Das Substratmaterial wird dabei aufgeschmolzen oder verdampft.

Der zweite Strukturierungsansatz basiert auf der Technik des Laser Assisted Direct Imprint (LADI), welche von Stephen Chou erstmals publiziert wurde. Dabei wird das Substratmaterial mit einem einzelnen Laserpuls aufgeschmolzen und durch Eindrücken des nanostrukturierten Stempels das Oberflächenprofil übertragen. Durch Auswahl materialangepasster Laserquellen und Prozessparameter werden tiefer liegende Substratebenen nicht geschädigt. Das Stempelmaterial muss für die verwendete Laserwellenlänge transparent sein und sich vom wieder erstarrten Material einfach ablösen.

1 *Quadratischer PDMS Stempel*

2 *Siliziummaster als Replikavorlage für Stempel*



# RANDSCHICHTAUSHÄRTUNG DURCH LOKALES ERZEUGEN VON NANO- SKALIGEN AUSSCHIEDUNGEN

Ausscheidungshärtbare Legierungen bilden eine sehr wichtige Werkstoffklasse für technisch anspruchsvolle oder High-tech-Anwendungen in Luft- und Raumfahrt, der Energietechnik, dem chemischen Apparatebau u. ä.. Typische Vertreter sind z. B. ausscheidungshärtbare Stähle, Maraging-Stähle, Al-, Ti-, Cu- oder Mg-Legierungen. Bis vor kurzem gab es für diese wirtschaftlich bedeutsame Werkstoffklasse kein Randschicht-  
härtungsverfahren, das einem abtragenden Verschleiß bei gleichzeitig hoher zyklischer Beanspruchung ausreichend standhält. Solche Belastungen treten z. B. an den Turbinenschaufeln des Niederdruckteiles von Dampfturbinen auf.

Zur Lösung dieses generellen Problems wurde am IWS ein neues lasergestütztes Verfahren zur lokalen Randschichtaushärtung entwickelt.

Bei dem Verfahren, mit dem sich erstmalig bei ausscheidungshärtbaren Werkstoffen das Prinzip harte Randschicht – zäher Kern realisieren lässt, werden in einem ersten Schritt durch eine Wärmebehandlung ein zähes, überaltertes Gefüge mit einer ausgewogenen Festigkeits-Zähigkeits-Relation im gesamten Bauteil eingestellt. Das Gefüge enthält hier typischerweise relativ grobe ausgeschiedene Partikel (Bild 1).

- 1 TEM-Aufnahme des Gefüges im konventionell ausscheidungsgehärteten Zustand, angelassener Martensit mit Cu-Ausscheidungen (Durchmesser ca. 20 - 50 nm), Werkstoff: Stahl 16.4 PH
- 2 TEM-Aufnahme der Realstruktur in der randschichtausgehärteten Zone, gering angelassener Martensit mit einer hohen Dichte feinsten Cu-Cluster mit Durchmessern von 1 - 5 nm

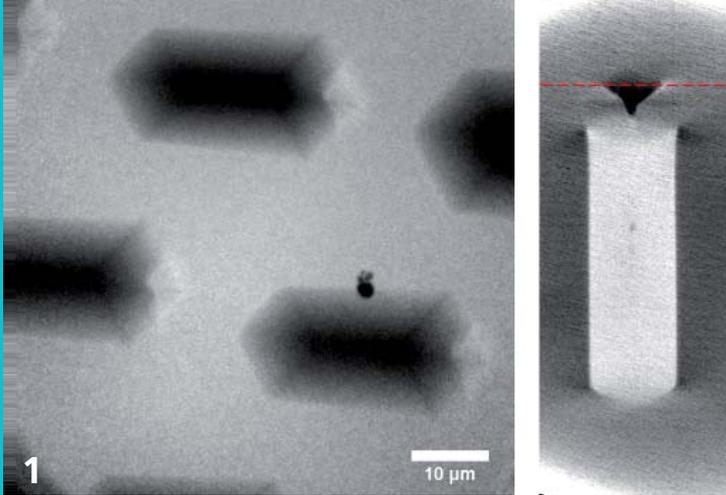


In einem zweiten Schritt wird dieser Ausscheidungszustand lokal in der vor Verschleiß zu schützenden Zone durch ein Laserlösungs-glühen aufgelöst und durch Selbstabschreckung schnell abgekühlt. Dadurch bleiben alle ausscheidungsbildenden Elemente in fester Lösung. Anschließend wird das gesamte Bauteil einer durchgreifenden Erwärmung auf etwa Peakhärte-Temperatur unterworfen. Dadurch entsteht in der laserlösungsgeglühten Randschicht ein sehr feindisperses Gefüge mit nanoskaligen Clustern, neuen Phasen oder extrem feinen Ausscheidungen (Bild 2). Aufgrund ihres sehr geringen Abstandes im nm-Bereich und der durch sie erzeugten lokalen Gitterverspannung stellen diese nanaoskaligen Partikel ein effektives Hindernis für Versetzungsbewegung dar. Das führt zu einer deutlich erhöhten Randschichthärte bei gleichzeitig weitgehendem Erhalt der Bauteilzähigkeit.

In ersten industriellen Anwendungsfällen wurde die Technologie zur Lebensdauersteigerung der Turbinenschaufeln des Niederdruckteiles von großen Dampfturbinen entwickelt (Bild 3) und in die Nutzung überführt. So ausgerüstete Turbinenläufer (Bild 4) haben eine längere Lebensdauer, sind einfacher im mechanischen Aufbau und weisen einen höheren elektrischen Wirkungsgrad auf.

3 *Laserstrahl-Wärmebehandlung der Eintrittskanten von Turbinenschaufeln*

4 *Niederdruckläufer mit randschichtausgehärteten Endstufenschaufeln*



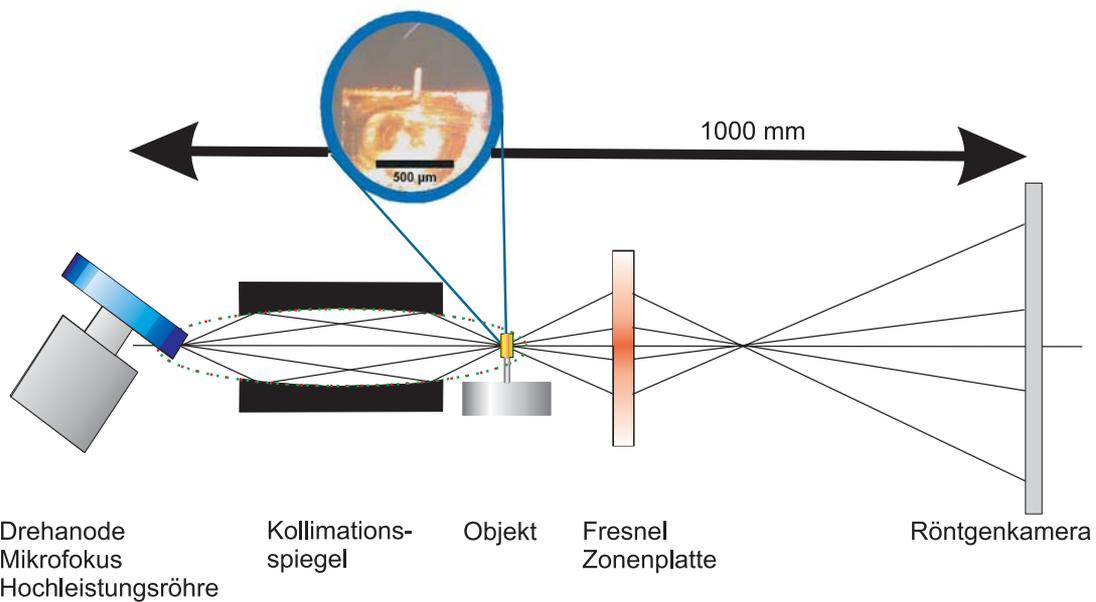
# RÖNTGEN-NANOTOMOGRAPHIE FÜR DIE 3D-INTEGRATION MIKRO-ELEKTRONISCHER BAUELEMENTE

Die 3D-Integration auf Waferebene mit der Silizium-Durchkontaktierung (Through Silicon Vias, TSV) ermöglicht höchste Integrationsdichten für moderne elektronische Systeme. Die vertikale Anordnung von Chips mittels metallischer Kontakte mit einem Querschnitt von einigen Quadratmikrometern stellt eine Herausforderung für die Technologie aber auch für Analytik dar. Sowohl die Prozesskontrolle als auch die physikalische Fehleranalyse benötigen eine schnelle und zuverlässige Lokalisierung und Abbildung von sub-Mikrometer-Strukturen, bevor mit Elektronen- und Ionenmikroskopie eine detailliertere Analyse von Features und Defekten erfolgen kann.

Die Entwicklung von leistungsfähigen Röntgenquellen und Röntgenoptiken sowie von präzisen Positioniersystemen hat in den letzten Jahren die Leistungsfähigkeit der Röntgenmikroskopie und -tomographie wesentlich erhöht. Insbesondere neue refraktive Röntgenlinsen (Fresnel-Zonenplatten) mit Strukturbreiten bis 30 nm und hohem Aspektverhältnis sowie Hochleistungsrohren mit sehr großen Leistungsdichten im Brennfleck des Elektronenstrahls haben die Röntgen-Nanotomographie massiv vorangetrieben.

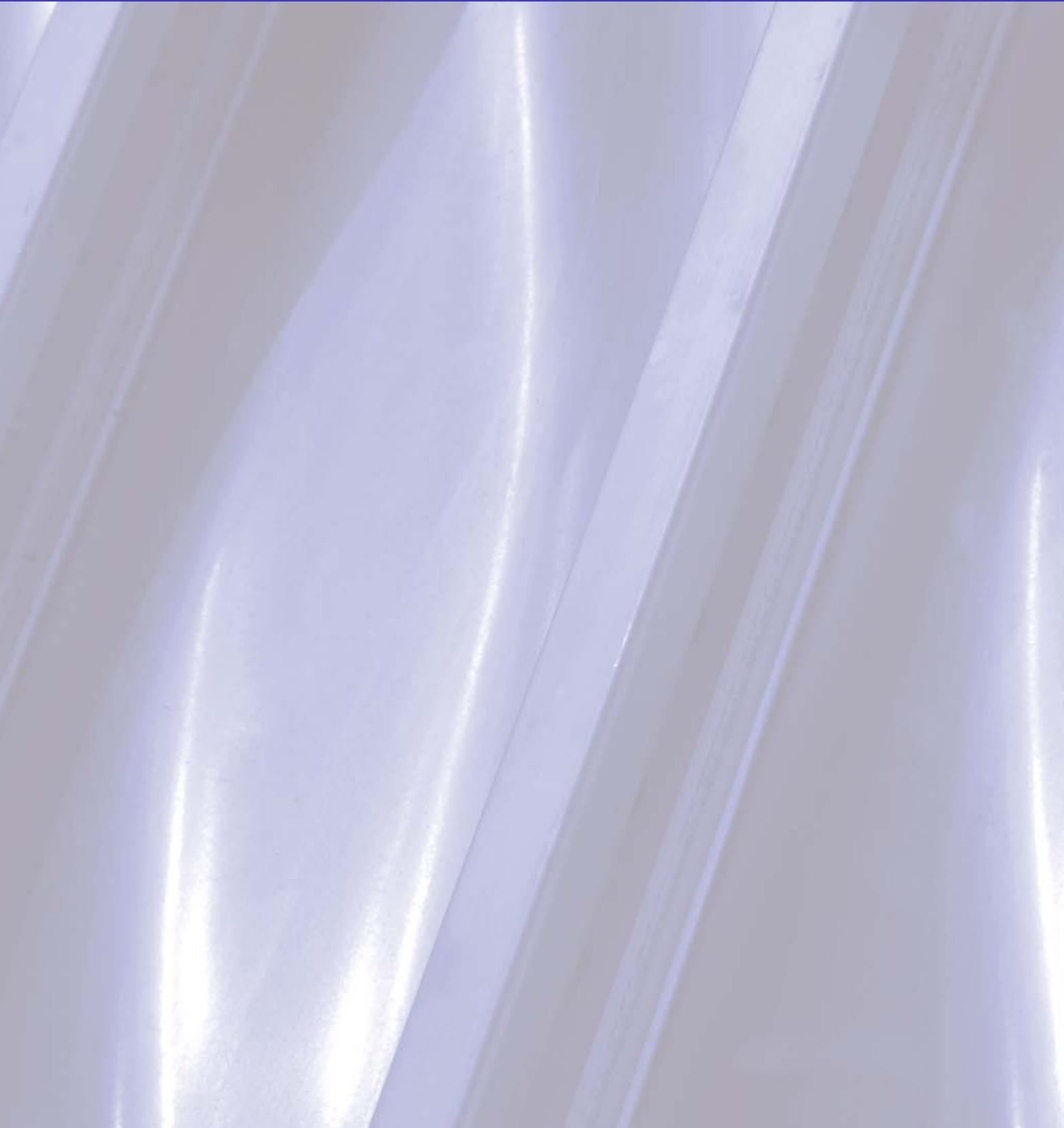
Die leistungsfähigsten Röntgenmikroskope, schematisch in Bild 1 dargestellt, sind soweit optimiert worden, dass mit multi-keV-Laborquellen eine Auflösung von 50 nm erreicht werden kann. Um die Auflösung weiter zu erhöhen, sind alternative Röntgenoptiken, z. B. Multi-Layer-Laue-Linsen (MLL) in der Entwicklung.

Bild 2 zeigt erste Ergebnisse an TSV-Teststrukturen für die 3D-Integration, die mit einem Xradia nanoXCT-System aufgenommen worden sind. Für Kupfer-Strukturen mit einem Querschnitt von  $2 \times 2 \mu\text{m}^2$  (hergestellt bei SEMATECH) können Fertigungsfehler wie Poren mit sub-100 nm Abmessung mittels tomographischer Abbildungen mit bis zu 35 nm Voxelsize dreidimensional dargestellt und identifiziert werden.



- 1 Radiographie und Tomographie eines TSV-Arrays
- 2 Schematische Darstellung eines Röntgenmikroskops

# DIE PARTNER STELLEN SICH VOR





## LANDESHAUPTSTADT DRESDEN

»Global orientieren - lokal handeln.« Nach diesem Motto fördert die Landeshauptstadt gezielt die Wachstumsbedingungen für eine international wettbewerbsfähige und nachhaltige Entwicklung von Wirtschaft, Bildung und Forschung vor Ort. Dabei arbeitet sie eng mit verschiedenen Partnern zusammen und geht beispielhafte Wege. So ziehen im Kommunalforum für Wirtschaft und Arbeit Politik, Unternehmer und Wissenschaft gemeinsam die Fäden und treiben den wirtschaftlichen Aufschwung der Stadt voran. Neben der intensiven Kooperation mit Wirtschaftsverbänden sowie der TU Dresden engagiert sich die Stadt darüber hinaus in verschiedenen branchenspezifischen Netzwerken und fördert maßgeblich die effektive Zusammenarbeit der lokalen Akteure.

Die Wirtschaftsförderung der Stadt stellt gezielt die Weichen für die Sicherung und den Ausbau des Hochtechnologiestandorts. Angebotsorientierte Entwicklung von Gewerbeflächen, Neu- und Ausbau von Gründer- und Technologiezentren, Modernisierung und Ausbau der Infrastruktur, schnelle Genehmigungszeiten und individuelle Beratung sind nur einige Beispiele für die optimalen Rahmenbedingungen, die Unternehmen jetzt und in Zukunft hier erwarten. Die Wirtschaftsförderung wirbt regional und überregional für den Standort Dresden, z. B. auf der Nanotech in Tokio sowie auf weiteren branchenbezogenen Messen. Fraunhofer IWS und Amt für Wirtschaftsförderung bilden seit 2002 ein gemeinsames Team für die Organisation der Nanofair – einem internationalen Nanotechnologie-Kongress, der jährlich in Dresden stattfindet.

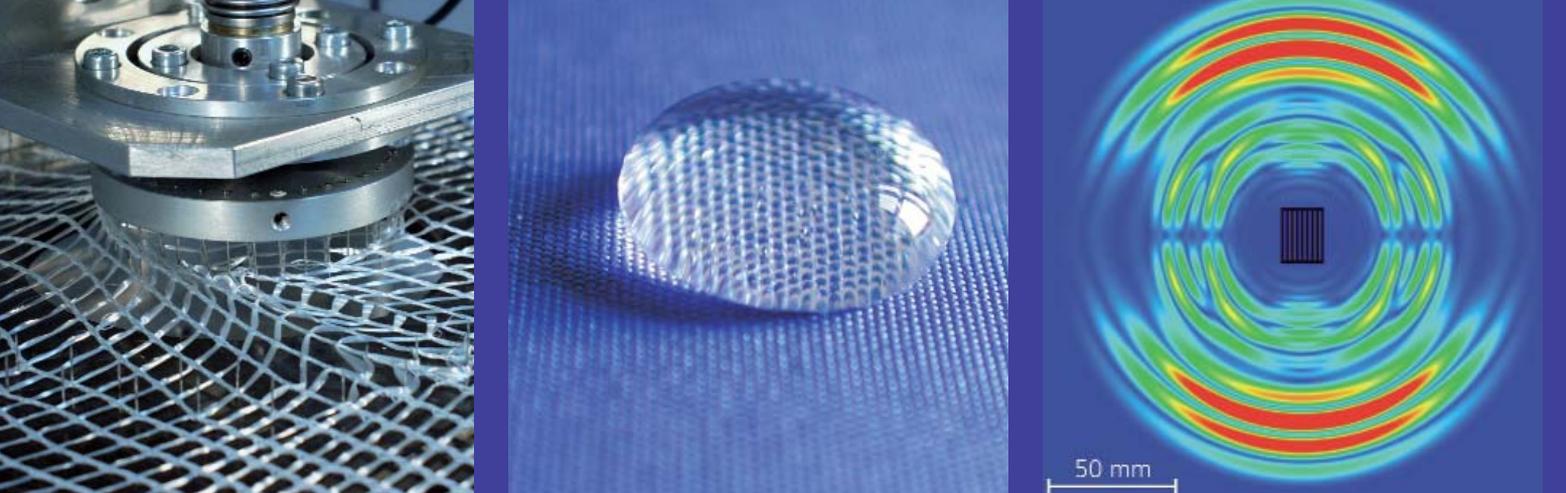
Sprechen Sie uns an:

Landeshauptstadt Dresden  
Amt für Wirtschaftsförderung  
Kompetenzfeldmanagerin Neue Werkstoffe/Nanotechnologie/Photovoltaik  
Sabine Lettau-Tischel

Postfach 120020  
Tel.: +49 (0) 351 488 27 29  
SLettau-Tischel@dresden.de

01001 Dresden  
Fax: +49 (0) 351 488 24 43  
[www.dresden.de/wirtschaft](http://www.dresden.de/wirtschaft)





# MATERIALFORSCHUNGSVERBUND DRESDEN (MFD) E. V.

Der 1993 gegründete Materialforschungsverbund Dresden (MFD) e. V. bündelt die werkstoffwissenschaftliche Kompetenz von über 20 universitären, außeruniversitären und Industrie-Forschungseinrichtungen des Dresdner Raums. Er dient der gemeinsamen Forschung, fördert die Zusammenarbeit in Verbundprojekten sowie bei Großinvestitionen. Darüber hinaus unterstützt der MFD die Institute in ihren Bemühungen um den wissenschaftlichen Nachwuchs und beim Transfer von Forschungsleistungen in die Praxis. Und nicht zuletzt soll er die Öffentlichkeit über herausragende Vorhaben und Ergebnisse der Dresdner Materialforschung informieren.

Mit seinen Aktivitäten will der MFD aber auch darauf aufmerksam machen, dass Dresden eines der führenden Materialforschungszentren Deutschlands ist. Wie kaum an einem anderen Standort bündeln sich hier Kompetenz und Spitzentechnologien in außergewöhnlicher Vielfalt. Das Forschungsspektrum umfasst nahezu alle Materialklassen – von den verschiedensten Metallen und Legierungen, über die Polymere bis hin zu Keramik und Verbundwerkstoffen. Tiefe Temperaturen und hohe Magnetfelder kommen ebenso zum Einsatz wie beispielsweise Oberflächen-, Schicht- und Leichtbautechnologien. Dabei werden nicht nur Grundlagen erforscht, sondern Entwicklungen oft bis zum prototypischen Bauteil vorangetrieben.

Materialforschungsverbund Dresden (MFD) e. V.

c/o IFW, PF 27 01 16

Tel.: +49 (0) 351 4659 283 / 217

Dr. Kerstin Dittes

info@mfd-dresden.de

01171 Dresden

+49 (0) 351 4659 452

Geschäftsführung

www.mfd-dresden.de



Materialforschungsverbund  
Dresden

Vorstandsvorsitzender des MFD

Prof. Dr. Jürgen Eckert

Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung IFW Dresden



# EUROPÄISCHE FORSCHUNGS- GESELLSCHAFT DÜNNE SCHICHTEN E. V.

Die Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS) ist ein wissenschaftlich gemeinnütziger Verein der Vakuum- und Plasmaoberflächentechnik und führt u. a. als Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e. V. (AiF) Projekte der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) durch. Im Bereich der Oberflächenmodifikation, -beschichtung, -charakterisierung und zunehmend der -funktionalisierung nimmt die Plasmaoberflächentechnik eine herausragende Rolle als Schlüsseltechnologie ein. Die EFDS vertritt mit ihren ca. 180 Mitgliedern aus Deutschland und dem Europäischen Ausland eine Reihe von Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die mit dieser Schlüsseltechnologie unter anderem auf dem Gebiet der Nanotechnologie aktiv sind. Die Anwendungsbereiche der Plasmatechnologie werden durch die EFDS-Fachausschüsse aktiv bearbeitet. Neueste Innovationen werden auf den durch die EFDS veranstalteten Workshops und Kongressen präsentiert und diskutiert. Eine der wesentlichen Aufgaben der EFDS ist somit die Förderung der engen Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen und Institutionen dieser Branche.

Hierfür ist unser Angebot im Bereich der Oberflächentechnik breit aufgestellt:

- Organisation von Workshops, Konferenzen und Industrieausstellungen,
- Projekte zur Industriellen Gemeinschaftsforschung der AiF gefördert durch das BMWi,
- Ingenieurtechnische Beratung und spezifische Weiterbildung,
- Gutachten und Studien zu neuen Produkten und Märkten der Dünnschicht-Anwendungen,
- Projekt- und Netzwerkmanagement.



Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V.  
European Society of Thin Films

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V.

Gostritzer Straße 63

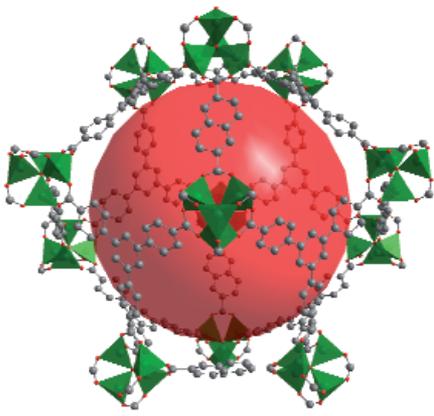
Tel.: +49 (0) 351 8718 370

Dr. Frank Böger

01217 Dresden

Fax: +49 (0) 351 8718 431

tos@efds.org, www.efds.org



# TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN - INSTITUT FÜR ANORGANISCHE CHEMIE

Das Institut für Anorganische Chemie der TU Dresden entwickelt neuartige nanoporöse und nanostrukturierte Materialien. Im Mittelpunkt stehen dabei hochporöse Feststoffe, welche in der Gasreinigung, Abgaskatalyse und Gasspeicherung eingesetzt werden können. Mesoporöse Materialien mit Porengrößen zwischen 2 und 50 nm können maßgeschneidert zur Immobilisierung von Enzymen eingesetzt werden. Durch Nanochemie konnten so bereits Materialien mit extrem hohen spezifischen Oberflächen von bis zu 5000 m<sup>2</sup> / g synthetisiert werden. Sie finden Anwendungen in den Gebieten:

- Erdgasspeicherung,
- Wasserstoffspeicherung,
- Gasreinigung,
- Adsorption.

Einen weiteren Schwerpunkt bilden anorganische Nanopartikel und nanostrukturierte Schichten mit maßgeschneiderten optischen oder elektrischen Eigenschaften. Sie werden über Gasphasenprozesse oder aus Lösung hergestellt und finden Anwendung in den Feldern:

- Beleuchtungstechnik,
- Solarzellen,
- Kunststoffadditive,
- Transparente Polymere.

Institut für Anorganische Chemie  
Fritz-Förster Bau  
Mommsenstr. 6  
Prof. Dr. Stefan Kaskel  
Tel.: +49 (0) 351 4633 3632

01069 Dresden

[www.chm.tu-dresden.de/ac1](http://www.chm.tu-dresden.de/ac1)



# TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN - INSTITUT FÜR OBERFLÄCHEN- UND FERTIGUNGSTECHNIK

Am Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik der TU Dresden werden die Grundlagen der wichtigsten Gebiete der Fertigungstechnik untersucht, erarbeitet und die entsprechenden Fertigungsverfahren weiter entwickelt. Diese Gebiete reichen von der Oberflächenbehandlung bis zur Nanotechnik, sowie von der Füge-technik bis zur Montage. So werden Verfahren der Physikalischen Dampfab-scheidung (PVD = Physical Vapor Deposition) entwickelt, die die Abscheidung hochwertiger tribologischer und funktioneller Schichten im Dickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen zehn Mikrometern erlauben. Dazu stehen Ver-fahren von der Hochrate-Bedampfung bis hin zu hochaktivierten Plasmaverfahren sowie deren Kombination zur Verfügung. Einen besonderen Schwerpunkt bildet die umfassende Nutzung von Bogenentladungen als der effektivsten Quelle energiereicher Dampfstrahlen.

Die Forschungsarbeiten der TU Dresden sind häufig grundlagenorientiert angelegt. Darüber hinaus werden zahlreiche Projekte in enger Zusammenarbeit mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchgeführt. Nanotechnologische Fragestellungen gewinnen dabei zunehmend an Bedeutung.

Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik

Zeunerbau

George-Bähr-Str. 3c

01069 Dresden

Prof. Dr. Eckhard Beyer

Tel.: +49 (0) 351 4633 1993

Fax: +49 (0) 351 4633 7755

[www.tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_maschinenwesen/iof](http://www.tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/iof)



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**



# FRAUNHOFER-CENTER NANO-ELEKTRONISCHE TECHNOLOGIEN (CNT)

Das Fraunhofer CNT steht modellhaft für eine enge Kooperation von Forschung und Fertigung. In unmittelbarer Umgebung befinden sich die Halbleiterhersteller GLOBALFOUNDRIES und Infineon. Dazu bietet Dresden, eingebettet in Silicon Saxony, ausgezeichnete Standortbedingungen für eine partnerschaftlich betriebene Forschungsplattform für Nanoelektronik, die offen ist für die Zusammenarbeit von Forschungsinstituten mit Material- und Geräteherstellern.

Für das Fraunhofer CNT stehen auf dem Gelände von Qimonda Dresden ca. 800 m<sup>2</sup> Reinraumfläche (Reinraumklasse 1000) sowie eine Infrastruktur zur Verfügung, die Industriestandard entspricht. Schwerpunktthemen sind die Bearbeitung ausgewählter Prozessschritte für die Fertigung von high-density-Speicherbausteinen sowie high-performance-Transistoren.

Das Fraunhofer CNT wird durch die Kompetenzbereiche Analytics, Functional Electronic Materials, Patterning mittels Elektronenstrahlolithographie sowie Devices & Integration repräsentiert. Zusätzlich zu den Anlagen im Reinraum können umfangreiche Analyse- und Metrologieverfahren für die Forschung und Entwicklung sowie die Bausteincharakterisierung genutzt werden. Das Fraunhofer CNT greift dabei auf ein breites Know-how von Wissenschaftlern und Doktoranden zurück.

Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologien (CNT)

Königsbrücker Straße 180

Tel.: +49 (0) 351 2607 3001

Prof. Dr. Peter Kücher

contact@cnt.fraunhofer.de

01099 Dresden

www.cnt.fraunhofer.de



**Fraunhofer**  
CNT

# SAXONY!

A Place in Motion



## WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG SACHSEN

Die Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH ist in vielen Bereichen Ansprechpartner für Unternehmen aller Größen und Branchen, die von den Standortvorteilen Sachsens profitieren wollen. Insbesondere in der Akquisition / Ansiedlung, Absatzförderung / Kooperation sowie Unterstützung bei EU-Projekten liegen unsere Stärken. Wir bieten Ihnen jedoch noch viel mehr: angefangen bei Marktinformationen nach Branchen, Beratung sächsischer Firmen zu Besonderheiten der Märkte, Erstellung von Kooperationsangeboten bis hin zu Business-Matching.

Somit bauen wir Brücken: zwischen sächsischen Unternehmen und auswärtigen Kooperationspartnern, zwischen potenziellen Investoren und den sächsischen Regionen und Kommunen, zwischen Forschung und Praxis, zwischen Unternehmensideen und wirtschaftlichem Erfolg. Zu nationalen und internationalen Messen organisieren wir mit Partnern Firmengemeinschaftsstände und den sächsischen Landesinformationsstand mit umfangreichem Service sowie Unternehmenspräsentationen. Für Unternehmen, die sich in Sachsen engagieren möchten, veranstalten wir Präsentationen und Workshops.

Je genauer wir Ihre Ziele und Ansprüche kennen, um so mehr können wir für Sie tun. Im Mittelpunkt all unserer Aktivitäten stehen die Bedürfnisse Ihres Unternehmens. Wir arbeiten nicht mit standardisierten Lösungen, sondern gehen individuell auf Ihre Wünsche ein.



WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG  
SACHSEN

Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH (WFS)

Bertolt-Brecht-Allee 22

01309 Dresden

Tel. +49 (0) 351 2138 0

Fax +49 (0) 351 2138 399

Karin Heidenreich

Karin.Heidenreich@wfs.saxony.de

www.invest-in-saxony.de



# FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHOTONISCHE MIKROSYSTEME (IPMS)

Das Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS realisiert mit 232 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ein Forschungsvolumen von knapp 24 Millionen Euro. Über 40 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet das Fraunhofer IPMS mit Aufträgen aus der Industrie. Im Fokus steht die Entwicklung und Fertigung von elektronischen, mechanischen und optischen Komponenten und ihre Integration in winzigste, »intelligente« Bauelemente und Systeme. Die Leistungen richten sich an industrielle Auftraggeber, die durch den Einsatz von Organischen Leuchtdioden (OLEDs) und Mikrosystemen (MEMS, MOEMS) mit innovativen Systemeigenschaften und immer kleineren Abmessungen innovative Produkte im Markt etablieren.

Das Fraunhofer IPMS deckt eine breite Palette industrieller Anwendungen ab. Das Leistungsangebot reicht von der Konzeption über die Produktentwicklung bis zur Pilotserienfertigung in eigenen Labor- und Reinräumen – vom Bauelement bis zur kompletten Systemlösung.

Fraunhofer-Institut Photonische Mikrosysteme  
Maria-Reiche-Str. 2 01109 Dresden  
Tel.: +49 (0) 351 8823 249  
Moritz Fleischer  
info@ipms.fraunhofer.de www.ipms.fraunhofer.de

 **Fraunhofer**  
IPMS



# AXO DRESDEN GMBH

Die AXO DRESDEN GmbH – Applied X-ray Optics – Röntgenoptik und Präzisionsbeschichtung – beschäftigt sich mit der Entwicklung und Herstellung von Röntgenoptiken sowie komplexer röntgenoptischer Systeme höchster Qualität auf der Grundlage von Nanometer-Einzel- und Multischichten für ein breites Anwendungsfeld im Bereich harter und weicher Röntgenstrahlung. Unter Einsatz flexibler und effizienter Beschichtungstechnologien werden den weltweiten Kunden Serienprodukte und maßgeschneiderte Einzellösungen für Röntgenanalytik, Lithographie, Astronomie, Spektroskopie und Medizin, sowohl im industriellen als auch im wissenschaftlichen Sektor zur Verfügung gestellt.

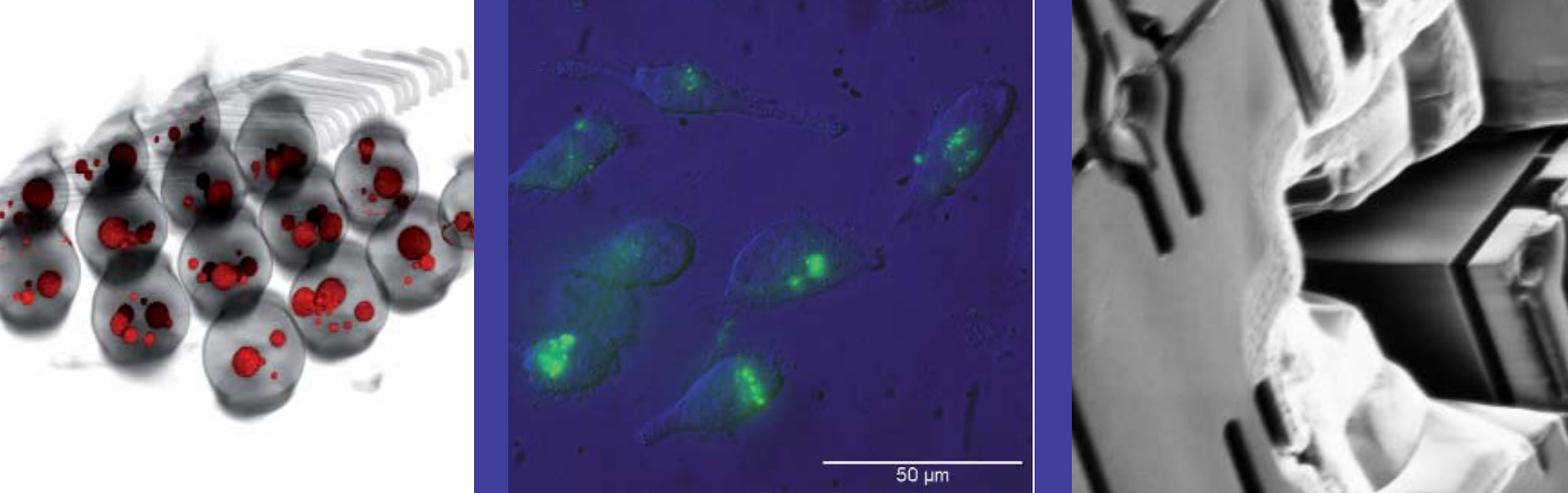
Das Produktspektrum der AXO DRESDEN GmbH umfasst sowohl einfache Multischicht-Röntgenoptiken als auch komplexe röntgenoptische Systeme zur Erzeugung von ein- oder zweidimensional kollimierten oder fokussierten Röntgenstrahlen, Monochromatoren auf flachen oder gekrümmten Substraten, spezielle maßgeschneiderte Beschichtungen und Anwendungen für die Röntgenreflektometrie, Röntgendiffraktion und Röntgenfluoreszenzanalyse. Als ein Spin-Off des Fraunhofer IWS in Dresden ist die AXO Dresden GmbH ein unabhängiger Hersteller und Lieferant von Röntgenoptiken mit mehr als 18 Jahren Erfahrung in der Präzisionsbeschichtung und der Entwicklung und Anwendung von Multischicht-Röntgenoptiken.



**AXO DRESDEN GmbH**  
Applied X-ray Optics  
Röntgenoptik und Präzisionsbeschichtung

AXO DRESDEN GmbH  
Siegfried-Rädel-Str. 31  
Tel: +49 (0) 351 83391 3249  
Reiner Dietsch  
contact@axo-dresden.de

01809 Heidenau  
Fax: +49 (0) 3 51 83391 3314  
www.axo-dresden.de



# FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFVERFAHREN INSTITUTSTEIL DRESDEN (IZFP-D)

Das Fraunhofer IZFP Dresden (IZFP-D) entwickelt Methoden und Prüfsysteme, mit denen Werkstoffe charakterisiert, die Produktqualität kontrolliert und Anlagenkomponenten überwacht werden können. Seine fachliche Ausrichtung sieht das IZFP Dresden zunehmend in der Mikro- und Nanoprüftechnik sowie in der Optik und Zustandsüberwachung. Mit der TU Dresden wurde 2007 das Center for Non-Destructive Nano Evaluation gegründet. Nanoeva® unterstützt die Ausbildung von Studenten und bietet Dienstleistung und Forschung für die Mikro- und Nanotechnik an. Im Rahmen einer künftigen Dresdner Fraunhofer-Allianz Nanoanalytik wird das IZFP-D neue Aufgaben zur Charakterisierung von Nanostrukturen übernehmen.

Die internationale Zusammenarbeit mit der Universität Dayton und mit der Akademie der Wissenschaften Weißrusslands in Minsk brachte Innovationen hervor, die gegenwärtig in Produkte für die Industrie überführt werden. Beispielsweise eignen sich chemisch funktionalisierte Nanodiamanten durch ihre Fluoreszenzeigenschaften als Nanosensoren bei chemischen Prozessen und sind in der Lage, Lacke zu veredeln und verdeckte Korrosion anzuzeigen. Ein hoch leistungsfähiges Nano-Raman-Mikroskop wird das »Chemical Imaging« in der Polymerelektronik und der biologischen Sensorik entscheidend verbessern. Das Institut gehört zu den Initiatoren des Spitzenclusters CoolSilicon und entwickelt in diesem Verbund u. a. Verfahren für die Nanometrologie.

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren Institutsteil Dresden  
Maria-Reiche-Straße 2, 01109 Dresden  
Tel.: +49 (0) 351 88815 510  
Prof. Dr. Jürgen Schreiber  
juergen.schreiber@izfp-d.fraunhofer.de

 **Fraunhofer**  
IZFP



# BESCHICHTUNGSSYSTEME FÜR GROSSE SUBSTRAT-FORMATE

VON ARDENNE blickt auf eine über Jahrzehnte gewonnene Kompetenz in der Elektronenstrahl- und Plasmatechnik zurück. Das Unternehmen ermöglicht seinen Kunden durch Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von industriellen Vakuum-Beschichtungsanlagen sowie dem damit verbundenen Service, technologisch anspruchsvolle Produkte materialsparend zu fertigen.

Unsere Marktaktivität konzentriert sich auf ressourcenschonende Vakuumverfahren, mit denen Energie eingespart oder mittels Dünnschichtverfahren Energie gewandelt wird. Nanotechnologie wenden wir dabei eindimensional auf großen Substratflächen an. VON ARDENNE-Anlagen und integrierte Schlüsseltechnologien, wie Magnetronputtern und Elektronenstrahlverdampfen, erlauben es unseren Kunden, neue Produkte produktionsreif, effizient und in großen Stückzahlen herzustellen. Produktionssysteme zur Vakuumbeschichtung von Glas, Metallband oder Folien sind für verschiedene Substratbreiten verfügbar. VON ARDENNE ist seit mehreren Jahren Marktführer bei Anlagen zur Beschichtung von Architekturglas. Optische Schichtsysteme für effiziente solare Absorption oder Reflexion komplettieren das Portfolio. Im Bereich der Photovoltaik ist das Unternehmen bei verschiedenen Dünnschichttechnologien präsent und breit aufgestellt.

Hohe Produktivität, niedrige Betriebskosten und höchste Zuverlässigkeit sind Eigenschaften des neuesten Serienerzeugnisses: PIA|nova, eine Maschinenplattform zum Sputtern von Kontakt- und Precursorschichten für Solarzellen, ist eine modulare PVD-Beschichtungsanlage, die flexible Lösungen für alle technologischen Vorgaben und marktüblichen Substratgrößen bietet.

**VON ARDENNE** 

VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH

Plattseite 19 / 29

Telefon +49 (0) 351 2637 301

Dr. Johannes Strümpfel / Chief Scientist

[struempfel.johannes@vonardenne.biz](mailto:struempfel.johannes@vonardenne.biz)

01324 Dresden

[www.vonardenne.biz](http://www.vonardenne.biz)



# FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK (IWS)

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS basiert auf einem ausgeprägten Werkstoff und Nanotechnik-Know-how verbunden mit der Möglichkeit einer umfassenden Werkstoffcharakterisierung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS Dresden liegt in der Kombination dieses Fundaments mit weitreichenden Erfahrungen und technischen Möglichkeiten auf dem Gebiet der Oberflächen- und Lasertechnik. Die Geschäftsfelder des IWS liegen in den Bereichen Fügen, Abtragen und Trennen sowie Oberflächentechnik, letzteres mit Unterteilung in:

- Randschichttechnik,
- Thermische Beschichtungstechnik,
- PVD-Vakuum-Schichttechnik,
- CVD-Atmosphärendruck-Schichttechnik.

Im Geschäftsfeld Oberflächentechnik stehen vor allem Verschleißschutz, Oxidationsschutz, optische, dekorative und weitere Funktionsschichten sowie das Abtragen, Strukturieren und Reparieren von Oberflächen im Mittelpunkt. Im Bereich der Lasertechnik konzentriert sich das IWS auf die werkstofforientierte Lasermaterialbearbeitung und die Entwicklung laserspezifischer Systemlösungen.

Um der »Mission« gerecht zu werden, neue Technologien für Industrieunternehmen zu entwickeln und die Unternehmen bei der Einführung zu unterstützen, arbeitet das IWS eng mit Anlagen- und Systemherstellern zusammen. Wir lösen Probleme kundengerecht!

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik  
Winterbergstraße 28  
Tel.: +49 (0) 351 83391 3324  
Prof. Dr. Eckhard Beyer  
info@iws.fraunhofer.de

01277 Dresden

[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

 **Fraunhofer**  
IWS



# VTD VAKUUMTECHNIK DRESDEN GMBH

Hersteller von technologie- und kundenspezifischen Vakuum-Beschichtungssystemen

- Metallisierungssysteme für Kunststoffe, Glas, Keramik und Metalle
- Hartstoffbeschichtungssysteme für spanabhebende sowie Formwerkzeuge
- Optikbeschichtungssysteme für die feinoptische Vergütung im VIS, Anwendungen im UV-Spektrum, astronomische Spiegel, Spezialreflektoren und Filter
- Batch- und Inlinesysteme für die dekorative Hartstoffbeschichtung
- Sondersysteme für Plasmabehandlung, Oberflächenaktivierung, Wärmebehandlung, Vakuumgießen
- Labortechnik für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unter Nutzung verschiedener Beschichtungsverfahren
- Komponenten für die Vakuumbeschichtungstechnik (Elektronenstrahl-, Ionen-, Bogen-, Hohlkatodenplasmaquellen)
- Muster- und Lohnbeschichtungen im eigenen Technikum

Zum Leistungspaket zählen:

- Technologische Systemlösungen
- Anwendungsspezifische, technische Umsetzung
- Schneller und qualifizierter Service sowie Ersatzteilversorgung
- Umfangreiche Anwenderschulungen und technologisches Training

VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH

Bismarckstraße 66

01257 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 2805 0

Klaus-Dieter Steinborn, Geschäftsführer

info@vtd.de

www.vtd.de





# LEIBNIZ-INSTITUT FÜR FESTKÖRPER- UND WERKSTOFFFORSCHUNG

Das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden – kurz IFW Dresden – betreibt moderne Werkstoffwissenschaft auf naturwissenschaftlicher Grundlage und spannt dabei einen Bogen vom Erkenntnisfortschritt auf den Gebieten Physik und Chemie bis zur technologischen Vorbereitung neuer Materialien und Produkte. Im Mittelpunkt des Forschungsprogramms stehen Funktionswerkstoffe, die eine Schlüsselposition in vielen Einsatzfeldern einnehmen: Supraleiter, Magnetwerkstoffe, Schichtsysteme und Nanostrukturen, kristalline und amorphe Materialien. Gemeinsam ist diesen Materialien, dass sie auf besonderen physikalischen Effekten beruhen oder dass sie als neu entdeckte Verbindungen besondere Eigenschaften versprechen. Die Euphorie für die Anwendung neuer physikalischer Effekte oder chemischer Verbindungen ist zu Beginn meist sehr groß. Doch es sind viele Schwierigkeiten zu überwinden, ehe aus einer naturwissenschaftlichen Entdeckung ein neues Produkt wird. Das IFW Dresden stellt sich diesem gesamten Prozess.

Das Forschungsprogramm des IFW Dresden umfasst die Forschungsgebiete:

1. Supraleitung und Supraleiter,
2. Magnetismus und Magnetwerkstoffe,
3. Molekulare Nanostrukturen und molekulare Festkörper,
4. Metastabile Legierungen,
5. Verspannungsgetriebene Architekturen und Phänomene.

In all diesen Forschungsgebieten wird das gesamte Spektrum von den physikalischen und chemischen Grundlagen bis zum technischen Verfahren und zum Produkt abgedeckt.

Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung

Helmholtzstr. 20

Prof. Dr. Ludwig Schultz

Tel.: +49 (0) 351 4659 100

01069 Dresden

[www.ifw-dresden.de](http://www.ifw-dresden.de)



Leibniz-Institut  
für Festkörper- und  
Werkstoffforschung  
Dresden



# KOENIG & BAUER AG

KBA ist mit der breitesten Produktpalette aller Anbieter einer der führenden Druckmaschinenhersteller der Welt. Das Werk Radebeul bei Dresden ist für den Produktbereich Bogenoffsetmaschinen verantwortlich. Vom Klein- bis zum Super Großformat entsprechen die leistungsstarken Rapida-Bogenoffsetmaschinen anspruchsvollsten Marktanforderungen im Akzidenz- und Verpackungsdruck sowie bei einer Vielzahl von Sonderanwendungen.

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Maschinenprogramms gewinnen Oberflächenbeschichtungen immer mehr an Bedeutung. So werden heute Schichten mit hydrophilen und hydrophoben sowie oleophilen und oleophoben Eigenschaften entwickelt und bereits in der Praxis eingesetzt. Daneben kommen Nano-Beschichtungen zur Reibungsminderung in mechanischen Systemen und bei Teilen mit Relativbewegung zueinander zum Einsatz. KBA unterstützt die Forschung bei der Entwicklung und Erprobung neuer Schichtsysteme.



Koenig & Bauer AG, Bogenoffsetmaschinen

Friedrich-List-Straße 47

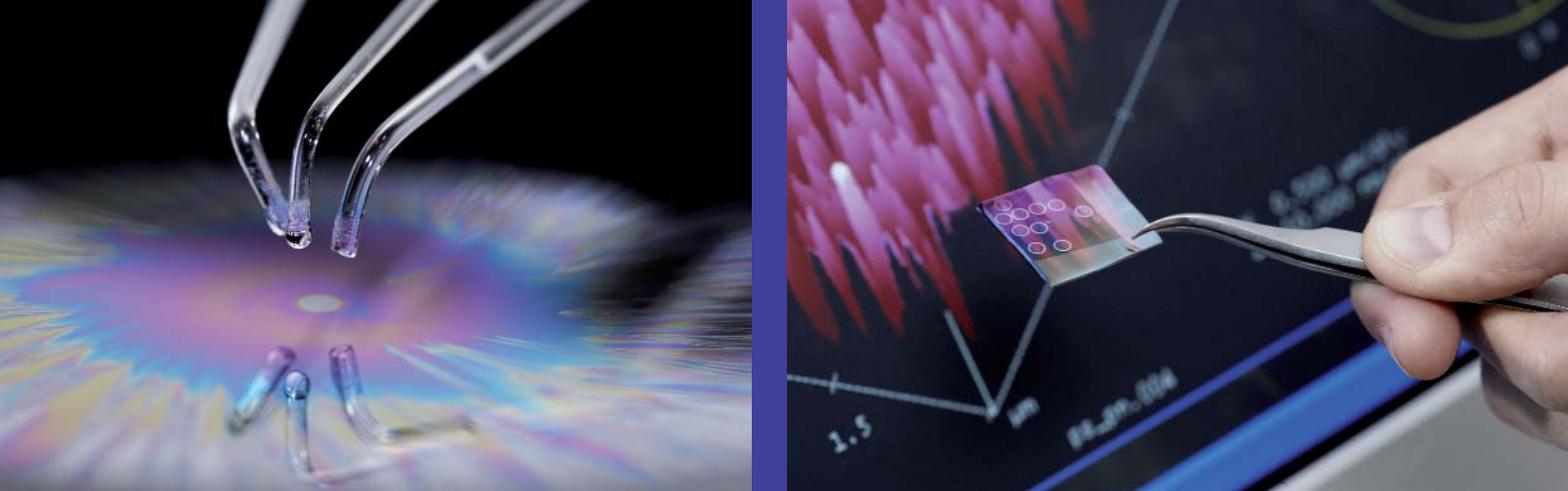
Dr. Roman Weise

roman.weise@kba.com

01445 Radebeul

Tel.: +49 (0) 351 833 1314

www.kba-print.de



# LEIBNIZ-INSTITUT FÜR POLYMERFORSCHUNG DRESDEN E. V.

Das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. ist eine der größten Polymerforschungseinrichtungen Deutschlands. Als Institut der Leibniz-Gemeinschaft ist es der anwendungsorientierten Grundlagenforschung verpflichtet und erhält seine Grundfinanzierung zu gleichen Teilen von Bund und Ländern. Das Institut erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen für die Entwicklung von polymeren Funktionsmaterialien und Polymerwerkstoffen mit neuartigen oder verbesserten Eigenschaften sowie für die Kombination der Materialentwicklung mit innovativen und nachhaltigen Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien. Die Forscher am IPF zielen hierbei auf das Verständnis von Grenzflächeneffekten und die Nutzung des Grenzflächendesigns bei der Materialentwicklung, wobei sowohl nanotechnologische Aspekte als auch die Grenzflächen zu Biosystemen von hoher Bedeutung sind.

Die Kombination von natur- und ingenieurwissenschaftlicher Kompetenz und die moderne Geräte- und Anlagentechnik ermöglichen ganzheitliche materialwissenschaftliche Forschung von Synthese und Modifizierung polymerer Materialien, über Charakterisierung, theoretische Durchdringung, Verarbeitung und Prüfung bis zur Steuerung der Eigenschaften von Polymermaterialien, Biomaterialien und Verbundwerkstoffen durch gezielte Grenzflächengestaltung. So können Fragestellungen und Anforderungen an neuartige und verbesserte Polymermaterialien bis zur Überführung in ein wirtschaftlich genutztes Produkt begleitet werden.

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.

Hohe Str. 6

01069 Dresden

Telefon: 0351 4658-0

[ipf@ipfdd.de](mailto:ipf@ipfdd.de)

[www.ipfdd.de](http://www.ipfdd.de)

Prof. Dr. Manfred Stamm, Leiter des Teilinstituts Physikalische Chemie und Physik der Polymere,  
Stellvertretender Wissenschaftlicher Direktor





# ROTH & RAU MICROSYSTEMS GMBH

Die Roth & Rau MicroSystems GmbH steht für anspruchsvolle technologische Lösungen zur Anwendung von Plasma- und Ionenstrahlverfahren für die Beschichtung, Strukturierung oder Modifizierung von Oberflächen. Eine kontinuierliche Entwicklung von Verfahrenstechnologie und Anlagenauslegung erfolgt sowohl in einem internen Technologiezentrum als auch durch enge Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen. Unsere Erzeugnisse umfassen Komponenten und Prozeßanlagen für Anwendungen in der Halbleiterindustrie, bei der Fertigung von Präzisionsoptiken und Sensoren, in der Autozulieferindustrie sowie Forschungsanlagen für Institute und Universitäten.

Die Roth & Rau MicroSystems GmbH bietet Produktlinien und Produkte für:

- komplexe Ionenstrahlssysteme der Serie IonSys für großflächiges Ionenstrahlätzen und für die Ionenstrahlbeschichtung,
- Hochleistungssysteme der Produktlinie IonScan für eine lokale Ionenstrahlbearbeitung zur Schichtdickenkorrektur in der Mikroelektronik und zur Ionenstrahl-Formfehlerkorrektur an Hochleistungsoptiken,
- großflächige PECVD- und RIE-Lösungen basierend auf den AK- und MicroSys-Plattformen einschließlich inline-Systemen für effiziente Beschichtungs- und Ätzprozesse,
- kundenspezifische Anlagensysteme zur Präzisionsbeschichtung großer optischer Komponenten und Rolle-zu-Rolle-Bearbeitungsanlagen und
- Plasma und Ionenstrahlquellen ergänzen die Produktvielfalt.

Roth & Rau MicroSystems GmbH  
Gewerbering 3  
09337 Hohenstein-Ernstthal  
Tel.: +49 (0) 37 23 / 4988 0  
microsystems@roth-rau.de  
Dr. Michael Zeuner (CEO)

Fax: + 49 (0) 37 23 / 4988 25  
www.roth-rau.de/microsystems  
michael.zeuner@roth-rau.de

**ROTH  
&RAU**  
MicroSystems

## IMPRESSUM

Redaktion / Gestaltung: Dipl.-Ing. Karin Juch  
Dr. Anja Techel  
Dr. Otmar Zimmer

Bildnachweis:

S. 15	Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. (Bild 1: K. Wolf, Bild 2: R. Boldt)
S. 16	Fraunhofer IKT
S. 19 (2)	Fraunhofer IKTS
S. 20	Technische Universität Dresden, IAC
S. 24 / 25	Fraunhofer CNT
S. 34 / 35	Fraunhofer CNT
S. 36 / 37	Gesellschaft für Silizium-Mikrosysteme mbH
S. 40 / 41	Fraunhofer IZFP
S. 44	Materialforschungsverbund Dresden
S. 45	Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V.
S. 46	Technische Universität Dresden, IAC
S. 48	Fraunhofer CNT
S. 49	Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH
S. 50	Fraunhofer IPMS
S. 51	AXO Dresden GmbH
S. 52	Fraunhofer IZFP
S. 53	VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH
S. 55	VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH
S. 56	Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung
S. 57	Koenig & Bauer AG
S. 58	Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.
S. 59	Roth & Rau Microsystems GmbH
	alle anderen Bilder Fraunhofer IWS Dresden

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2009  
Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

