

# Nanotechnologie-Kompetenzzentrum "Ultradünne funktionale Schichten"



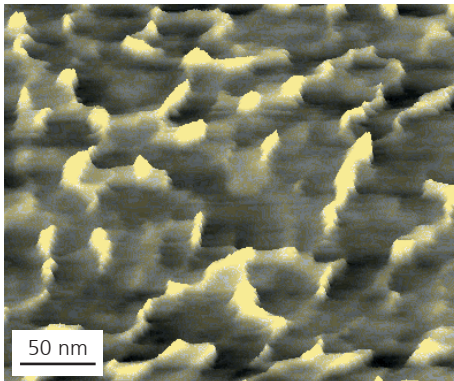
**nanotechnologie**

CC "Ultradünne funktionale Schichten"

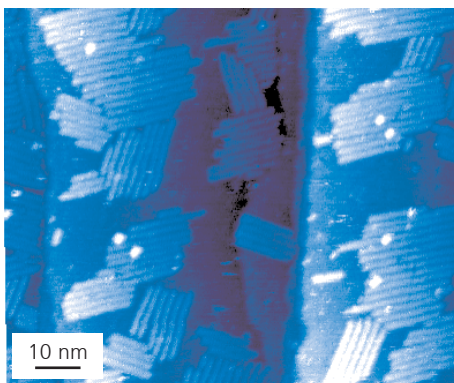
## Ziele des Kompetenzzentrums

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

Ultradünne Schichten sind dabei ein Schlüsselement der Nanotechnologie. Ihr Einsatzbereich reicht von der Mikroelektronik und Optik über die Medizin und Sensorik bis hin zu Verschleißschutzschichten. Zur konsequenten Erschließung der industriellen Anwendungsmöglichkeiten haben 51 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute, 22 Forschungseinrichtungen sowie 6 Verbände ihr Know-how gebündelt und sich zu einem Netzwerk zusammengeschlossen, das als Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird.



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



Ultradünne Farbstoffschichten auf Metallen, aufgenommen mittels Rastertunnelmikroskopie (Foto: Technische Universität Dresden)

## Aufgaben

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

- Veranstaltung von Workshops und Seminaren
- Präsentation auf Messen und Tagungen
- Koordinierung von FuE-Projekten
- Vermittlung von kompetenten Partnern
- Förderung der Aus- und Weiterbildung
- Unterstützung von Existenzgründern
- Förderung der Standardisierung und technischen Regelsetzung
- Öffentlichkeitsarbeit

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

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

## Arbeitskreis 1: Advanced CMOS

Heute werden in der CMOS-Technologie Strukturbreiten von 250 nm industriell beherrscht. Die Roadmap der Semiconductor Industry Association (SIA) für die Halbleitertechnologie prognostiziert für die nächsten 10 Jahre eine Verringerung der Strukturbreiten auf kleiner 100 nm zur Erhöhung der Integrationsdichte. Diese Trends werden begleitet von der Forderung nach höheren Taktfrequenzen und erhöhter Zuverlässigkeit. Hierzu sind innovative Prozeß- und Werkstoffentwicklungen für die aktiven Transistorgebiete und zunehmend für die Leitbahnsysteme notwendig, verbunden mit der Entwicklung spezifischer Ausrüstungen für die Fertigung von Si-Wafern mit steigendem Durchmesser.



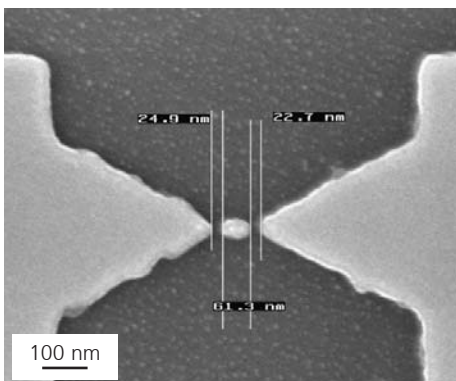
Mehrkammer-ECR-RIE-System für Fluor- und Chlorprozesse mit automatischem Proben-transfersystem  
(Foto: Roth & Rau AG Wüstenbrand)

Heutige Metallisierungssysteme sind aufgebaut aus Kontaktmaterialien ( $\text{TiSi}_2$ ), Barrierschichten ( $\text{TiN}$ ,  $\text{TiW}$ ),

Zwischenebenenisolatoren ( $\text{SiO}_2$ ), Zwischenebenenkontakten (W-Plugs) und Leitbahn (Al-Legierungen). Als neues Leitbahnmaterial wird bereits heute Kupfer aufgrund seiner höheren Elektromigrationsstabilität und seines geringeren spezifischen elektrischen Widerstandes angesehen. Davon erwartet man verbesserte Zuverlässigkeiten und eine Erhöhung der Taktfrequenzen. Die Einführung von Kupfer als neues Material erfordert jedoch die reproduzierbare Beherrschung von Abscheidung und Strukturierung in diesen kleinen Strukturdimensionen (Aspektverhältnisse  $> 3:1$ ) und die Einführung von Barrierschichten zur Unterbindung unerwünschter Wechselwirkungen (Interdiffusion, Reaktion) mit angrenzenden Materialien. Die Barrierschichten dürfen nur einen vernachlässigbaren Einfluß auf den effektiven Leitbahnwiderstand haben. Dies läßt sich nur mit ultradünnen Barrierschichten ( $< 10 \text{ nm}$ ) realisieren.

## Arbeitskreis 2: Neuartige Bauelemente

Die fortschreitende Miniaturisierung von hochintegrierten Schaltkreisen haben weltweit die Anstrengungen verstärkt, konventionelle CMOS-Technologien in naher Zukunft durch Nanotechnologien und Nanoelektronik zu ergänzen bzw. schrittweise zu ersetzen. Zu diesen Technologien gehören u.a. die Magnetoelektronik und Einzel-elektronik (incl. Nanoclusterspeicher und resonante Tunnelbauelemente).



REM-Aufnahme eines Metallclusters zwischen zwei Kontaktspitzen  
(Foto: Technische Universität Chemnitz)

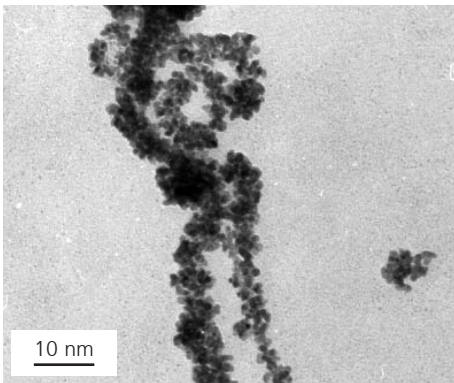
Bei der Magnetoelektronik sollen mit Hilfe des Riesenmagnetowiderstandes (Giant Magneto Resistance, GMR) in magnetischen Vielschichtsystemen halbleitende Magnetfeldsensoren (Hallsensoren) durch GMR-Sensoren und CMOS-Speicher durch nichtflüchtige

magnetische Speicher (M-RAMS) ersetzt werden. Für diese Bauelemente ist es notwendig, eine Schichtfolge extrem dünner Metall- und Isolatorschichten (Einzelschichtdicke: ca. 1 nm) kontrolliert abzuscheiden und die Beschaffenheit der Grenzflächen gezielt einzustellen.

Eine neue Generation von Bauelementen beruht auf Effekten des Ladungstransfers einzelner oder weniger Elektronen in nanoskaligen Strukturen (Einzelelektronik). Schwerpunkt der Arbeiten bilden Speicherelemente, die durch Ladungstransfer einzelner Elektronen zwischen metallischen Bereichen realisiert werden oder die Speichereigenschaften von Halbleiternanoclustern in dünnen  $\text{SO}_2$ -Schichten nutzen.

## Arbeitskreis 3: Biomolekulare Schichten für Medizin und Technik

Im Grenzbereich von Molekularbiologie, Zellbiologie, medizinischer Grundlagenforschung und Pharmakologie eröffnen sich gegenwärtig grundsätzlich neue Perspektiven für die Interaktion dieser Bereiche mit den Ingenieurwissenschaften im Bereich der Forschung und einer daraus resultierenden wirtschaftlichen Umsetzung.



Metallisierung von DNA mit Palladium  
(Foto: Technische Universität Dresden)

Einen besonderen Platz nimmt hierbei die Nanotechnologieforschung ein. Die biologische Evolution hat nanoskopische Strukturen mit hoher Komplexität und Funktionalität hervorgebracht. Ziel der sich neuentwickelnden interdisziplinären Forschungsarbeit ist es, biologische Materialien einer technischen Anwendung zugänglich zu machen. Aus der Kenntnis der Zusammensetzung sowie der Konstitution und der Konfiguration von Biomolekülen, ihrer Verknüpfung zu komplexen

Strukturen und dem Verständnis der damit verbundenen Eigenschaften sollen in gezielter Weise neue Werkstoffe in den Anwendungsfeldern Medizin (intra- und extrakorporale Biomaterialien) und Technik (Nanotechnik, -sensorik, Mikroelektronik) entwickelt werden. Die biologischen Strukturen sind in diesen Anwendungsfeldern Komponenten zum Aufbau von Kompositen mit herkömmlichen Werkstoffen, Funktionsmatrizes für die Synthese anderer z.B. anorganisch-nichtmetallischer Phasen (Biomineralisation), Template für die Abscheidung von metallischen, polymeren und keramischen Stoffen sowie Funktionseinheiten zur Entwicklung von Mikrobauelementen. Die Nutzung der nanoskopischen biomolekularen Vorlagen kann nur durch Erzeugen von ultradünnen Schichten oder Clusterstrukturen erfolgen. Ziel ist es, durch Verwendung spezieller biomolekularer Template den Bereich von 1 ... 100 nm für die Schicht- und Clustersynthese zu erschließen.

## Arbeitskreis 4: Mechanische und Schutzschichtenanwendungen

Mechanische Eigenschaften dünner Schichten im mittleren Nanometer-Schichtdickenbereich (10 - 100 nm) werden in vielen industriellen Anwendungen genutzt, z.B.:

- als Viellagenschichten für schlag-, verschleiß- und oxidationsresistente Werkzeugbeschichtungen,
- als adhäsions-, haftungs- oder benetzungsfördernde Zwischenschicht in der Klebe-, Beschichtungs- oder Drucktechnik,
- als adhäsions-, haftungs- oder benetzungsmindernde Zwischenschicht in der Kunststoffverarbeitungs-, der Verbundwerkstoff- oder Lebensmitteltechnik bzw. für Architekturgläser,
- als Gleitschicht unter Mischrei-

bungs- oder Trockenlaufbedingungen.

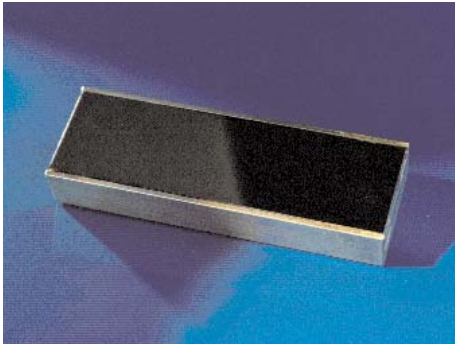
In der Entwicklung und Umsetzung solcher Dünnschicht-Anwendungen verfügen die Mitglieder des Kompetenzzentrums über langjährige Erfahrungen. Aufbauend auf den Erfahrungen im mittleren Nanometergebiet rücken ultradünne Schichten, d.h. Schichtdicken unterhalb von 10 nm, zunehmend in die Zielvorstellungen industrieller Anwendungen. Diese Tendenz ist auf eine Reihe von Gesichtspunkten zurückzuführen, beispielsweise die Möglichkeit, neuartige mechanische oder andere Eigenschaften in ultradünnen Schichten oder daraus bestehenden Schichtsystemen zu realisieren.



Konsolidierung einer geschädigten Decke durch Behandlung mit einem nanoskaligen SiO<sub>2</sub>-Sol im Rittergut Hof bei Riesa  
(Foto: Feinchemie Sebnitz GmbH)

## Arbeitskreis 5: Dünne Schichten für Optik und Photonik

Für die moderne Optik und Optoelektronik (Photonik) sind ultradünne Schichten und Schichten mit nanostrukturierten Komponenten vielfach entscheidende Schlüsselkomponenten. Insbesondere für aktive optoelektronische Bauelemente ist die Abscheidung und Funktionalisierung von ultradünnen Schichten, z.T. auch mit optisch aktiven Einzelmolekülen, Gegenstand intensiver Forschung.



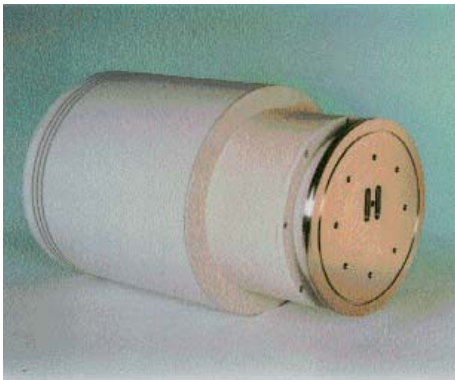
Präzisions-Röntgenspiegel für die Röntgendiffraktometrie und -mikroskopie, hergestellt mittels Puls-Laser-Abscheidung (Foto: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik Dresden)

Aktuelle Beispiele auf der Basis neuartiger lichtemittierender Materialien sind Halbleiter-Nanocluster für die siliziumbasierte Lichtemission und organische Leuchtdioden.

Röntgenoptische Komponenten, die aus Multistapeln von ultradünnen Schichten mit wenigen Nanometer Dicke bestehen, werden derzeit als strahlformende Röntgenspiegel in stark wachsendem Maße in der Analytik eingesetzt. Für die EUV-Lithographie, die als aussichtsreichstes Lithographie-Verfahren der Zukunft gilt, sind die Anforderungen an die Röntgenoptiken nochmals deutlich höher und erfordern die konsequente Weiterentwicklung der Beschichtungsverfahren wie auch der Methoden zur Herstellung ultraglatte Substrate.

## Arbeitskreis 6: Nanoaktorik und -sensorik / Nanosysteme

Mikroelektronische, mikroakustische und mikrooptische Systeme für sensorische und aktorische Anwendungen sind Gegenstand aktueller Forschung und industrieller Fertigung für einen branchenübergreifenden expandierenden Markt. Als Basisstrukturen dienen Si-Schaltkreise, akustische Oberflächenwellen-Bauelemente (SAW-Bauelemente) und mikromechanische bzw. mikrofluide Funktionseinheiten. Die Integration der Sensor- und Aktorstoffe in diese erfolgt mit Beschichtungsverfahren, wie PVD, CVD, Laserablation und Sol-Gel-Techniken.



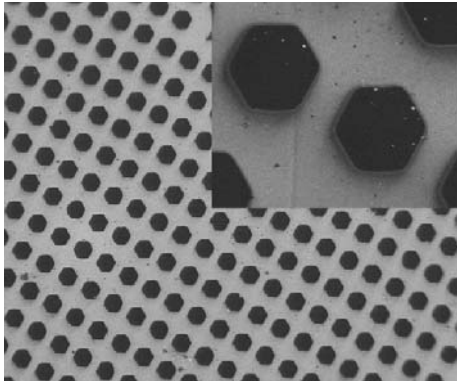
Schichtdickensensor mit Vakuumflansch (untere Meßbereichsgrenze 30 ... 50 nm je nach Material) (Foto: amtec Analysenmeßtechnik GmbH Leipzig)

SAW-Bauelemente beispielsweise haben ihre Hauptbedeutung in der Telekommunikation, die zu immer höheren Frequenzen bzw. kürzeren Wellenlängen übergeht, woraus für

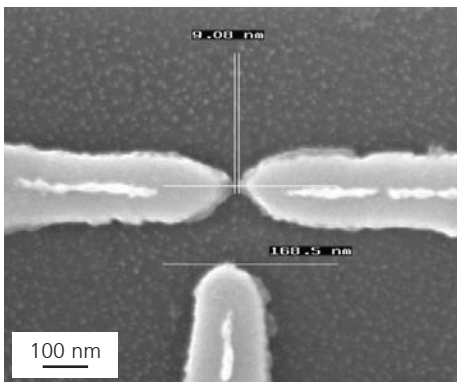
SAW-Bauelemente eine Skalierung der zugehörigen Wandlerstrukturen in den Nanometerbereich folgt. Kompakte elektrische Kommunikationssysteme der nächsten Generation arbeiten mit 10 bis 15 GHz und erfordern laterale SAW-Strukturabmessungen von 50 bis 100 nm mit Schichtdicken von 10 bis 30 nm.

Ein Schwerpunkt liegt auf der Funktionalisierung von Oberflächen durch die Ankopplung anorganischer und organischer Funktionselemente. Beispiele hierfür sind die Nutzung bakterieller Oberflächenproteine zur Herstellung von Sensoren und die Entwicklung dünner organischer Schichten für Biosensoren und Mikroreaktoren.

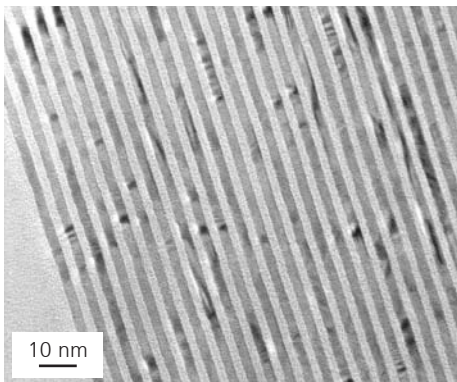
# Struktur und Organisation



Ultradünne strukturierte Biopolymerschichten (35 nm), hergestellt durch Oberflächenpolymerisation  
(Foto: Institut für Polymerforschung Dresden)



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



TEM-Übersichtsaufnahme einer Ni/C-Multischicht (Periodendicke 4,6 nm), bestehend aus 50 Perioden sehr hoher Gleichmäßigkeit  
(Foto: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik Dresden)

## Struktur

In der derzeitigen Phase beteiligen sich am Kompetenzzentrum 10 Hochschulinstitute und 22 außeruniversitäre Forschungsinstitute. Darüber hinaus wirken 51 Unternehmen und 6 Verbände am Kompetenzzentrum aktiv mit, darunter auch die in Dresden ansässigen Halbleiterfirmen Infineon und AMD.

Im Kompetenzzentrum wirken die beteiligten Institute und Firmen als juristisch selbständige Einheiten mit. Die einzelnen Arbeitskreise werden jeweils von einem Sprecher geleitet, der die Zusammenarbeit der Partner und den Abstimmungsprozeß organisiert und aktiv gestaltet.

## Nanotechnologie-Kompetenzzentrum "Ultradünne funktionale Schichten" Geschäftsstelle

c/o. Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Winterbergstr. 28  
D - 01277 Dresden

Telefax +49 (0) 351 2583 300  
Internet <http://www.nanotechnology.de>

Ansprechpartner:  
Dr. Andreas Leson  
Telefon +49 (0) 351 2583 317  
E-mail [andreas.leson@iws.fraunhofer.de](mailto:andreas.leson@iws.fraunhofer.de)

Dr. Ralf Jäckel  
Telefon +49 (0) 351 2583 444  
E-mail [ralf.jaekel@iws.fraunhofer.de](mailto:ralf.jaekel@iws.fraunhofer.de)

## Organisation

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

Prof. Dr. Thomas Geßner  
Technische Universität Chemnitz  
Zentrum für Mikrotechnologien

Dr. Andreas Leson  
Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden

Prof. Dr. Wolfgang Pompe  
Technische Universität Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft

Um zukünftige FuE-Aktivitäten zielgerichtet zu gestalten, wird das Kompetenzzentrum von einem Strategiekreis mit Industrie- und Bankvertretern beraten. Die organisatorische Umsetzung der geplanten Aktionen erfolgt durch die Geschäftsstelle des Kompetenzzentrums im Fraunhofer IWS, die zugleich als Kontaktstelle für interne und externe Anfragen fungiert.

## Titelfotos:

- links: Herstellung dünner strukturierter Polymerfilme durch oberflächengesteuerte Benetzung  
(Foto: Institut für Polymerforschung Dresden)
- Mitte: Kupferspiegel für CO<sub>2</sub>-Laser, superhart beschichtet mit diamantähnlichem Kohlenstoff  
(Foto: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik Dresden)
- rechts: Mikrotubuli - metallisiert mit Nickel  
(Foto: Technische Universität Dresden)