

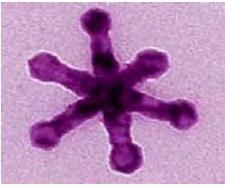
Forschungsnetzwerk
**Nanostrukturierte
Materialien**

Band 1

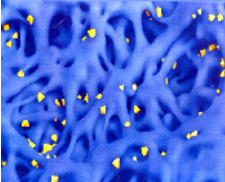
Struktur und
Organisation



Captions of the cover figures



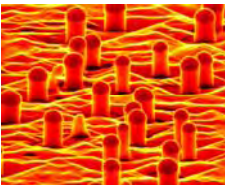
Single crystal manganese oxide multipods. The synthesis of hexapods (one example shown) is based on thermal decomposition of $\text{Mn}(\text{oleate})_2$. They are homogeneous in size. The single pods are smaller than 100nm.



Ni crystallites in porous glass taken by SEM. The Ni crystallites are yellow, the glass structure is blue. *Details: Inst. für Technische Chemie und Molekulare Chemie, Interdisziplin. Zentrum für Materialwissenschaften*



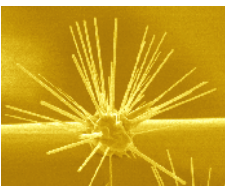
Polystyrene nanotubes (molecular weight 800000 g/mol) fabricated by wetting of porous templates. The nanotubes have wall thicknesses of 20 nm to 40 nm and lengths up to 100 μm .



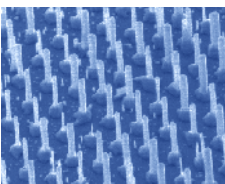
Silicon nanowires grown by molecular beam epitaxy. The growth is initiated by gold droplets (cf. caps). Typical diameters of the silicon nanowires are between 70 nm and 200 nm.



Magnetic cobalt nanodots on a reconstructed gold surface. The magnetic nanodots have a lateral separation of 7.4 nm, are 1 atom high and 4 nm in diameter. The hypothetical magnetic storage density is 10 Tbits / square inch.



ZnO nanowires grown from a gold-film-coated particle by vapor deposition. The coating of nanowires increases the surface area of the particle. The nanowires are 40 nm in diameter and 5 μm in length.



Arrays of vertically aligned and hexagonally arranged ZnO nanowires. The growth is based on nanodot gold templates (100 nm). The ZnO wire diameters can be varied from 30 nm to 250 nm.



Flower-like ZnO nanowire structures grown radially from a μm -wide and mm-long core wire. They could be applicable for random lasing. Each of the nanowires has a diameter of ~ 30 nm and a length of 10 μm .

Inhaltsverzeichnis (Band 1)

	Seite
1. Vorwort.....	3
2. Ursprünglicher Antrag (Förderperiode 2005-2007)	6
3. Verlängerungsantrag (Förderperiode 2007-2010).....	12
4. Satzung.....	14
5. Sprecher des Forschungsnetzwerks	20
6. Wissenschaftlicher Beirat.....	21
7. Forschungsschwerpunkte	22
7.1. Nanomagnetismus (MN)	24
7.2. Halbleitende Nanodrähte (NW)	25
7.3. Oxidische Nanostrukturen (ON)	32
7.4. Nanostrukturierte Template (NT)	37
7.5. Selbstorganisierte Nanostrukturen (SN).....	43
7.6. Nanocomposite (NC).....	50
8. Strukturmaßnahmen	54
9. Nachwuchsgruppen	55
9.1. Nachwuchsgruppe „Nanodrähte“	55
9.2. Nachwuchsgruppe „Nanopartikel“	59
9.3. Nachwuchsgruppe „Quantenchemie“	61
10. IMPRS.....	62
11. Projektorientierte Förderung	⇒ Band 2
12. Forschungsprofile	⇒ Band 3

1. Vorwort

Das Land Sachsen-Anhalt fördert seit dem 01.08.2004 wissenschaftliche Schwerpunkte an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Das Forschungsnetzwerk *Nanostrukturierte Materialien* bildet einen dieser Schwerpunkte an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Das Forschungsnetzwerk ist auf dem Gebiet der Grundlagenforschung angesiedelt und ist der Präparation, der Charakterisierung und der Untersuchung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von nanostrukturierten Materialien gewidmet und umfasst damit eine Problematik, welche weit über den Kompetenzbereich einzelner naturwissenschaftlicher Fächer (Physik, Chemie, Biologie) hinausgeht und eine fachübergreifende Plattform für die Materialforschung schafft.

Ganz wesentlich wird das Forschungsnetzwerk von der Struktur der außeruniversitären Forschungslandschaft in Halle geprägt. Besonders hervorzuheben sind hierbei das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik sowie das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik. Abbildung 1.1 veranschaulicht eindrucksvoll, dass das Forschungsnetzwerk ein wissenschaftliches Ballungszentrum und ein offenes, sich rasch entwickelndes System ist.

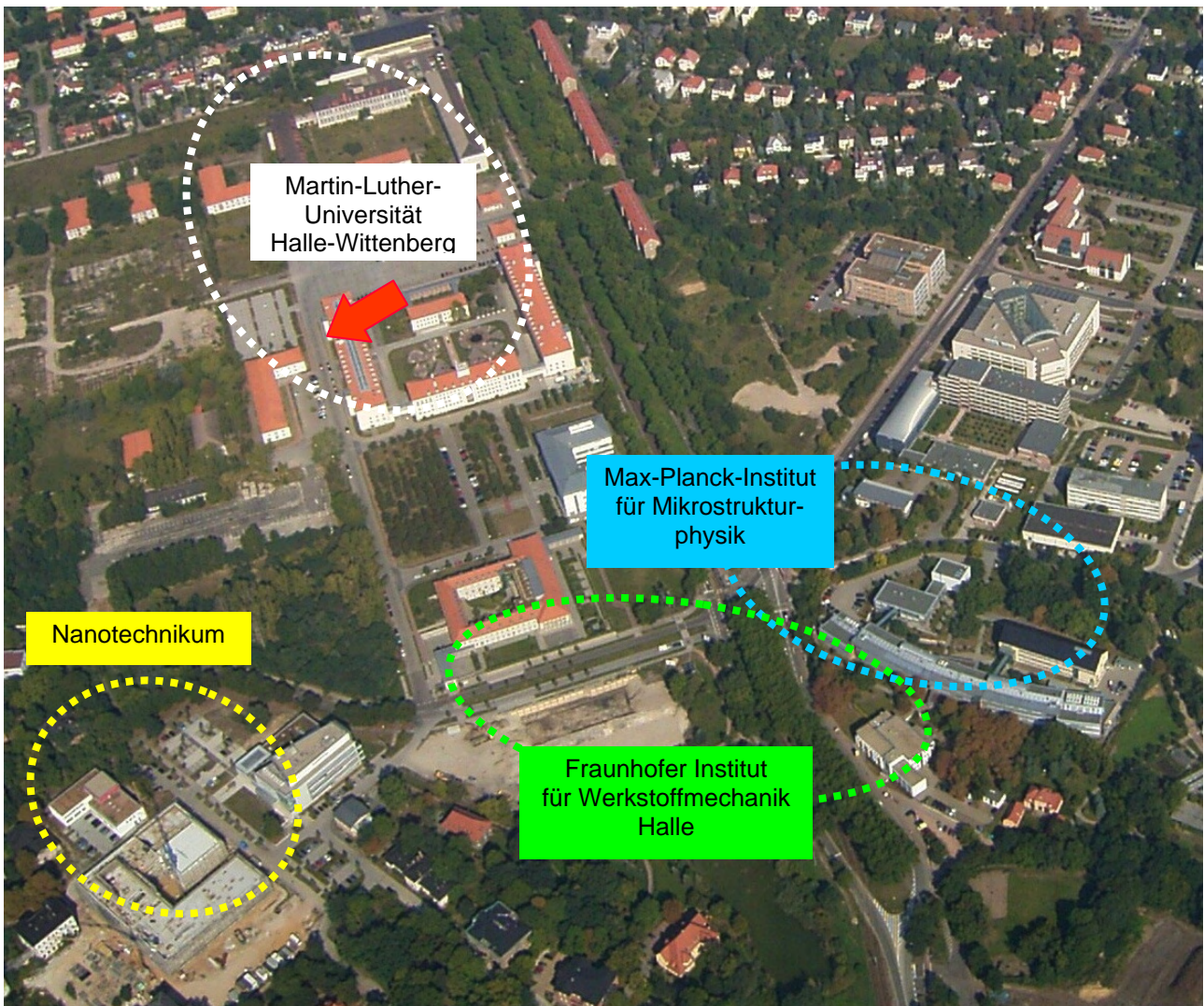


Abb. 1.1.: Lage der beteiligten Einrichtungen des Forschungsnetzwerkes

Markenzeichen des Forschungsnetzwerkes sind die bereits bewilligte Forschungsverbände wie der Sonderforschungsbereich 418 *Struktur und Dynamik nanoskopischer Inhomogenitäten in kondensierter Materie*, die Forschergruppe 404 *Oxidische Grenzflächen*, das Schwerpunktprogramm 1165 *Nanodrähte und Nanoröhren*, das Graduiertenkolleg 894 *Selbstorganisation durch koordinative und nichtkovalente Wechselwirkungen* sowie die International Max-Planck-Research School *Science and Technology of Nanostructures* (IMPRS) durch die Max-Planck-Gesellschaft. Die Attraktivität des Forschungsnetzwerkes wird durch die Existenz des Interdisziplinäres Zentrum für Materialwissenschaften (IZM) und durch den Aufbau des Technologie- und Gründerzentrum III *Nanostrukturierte Materialien* wesentlich erhöht. Diese Verflechtung ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

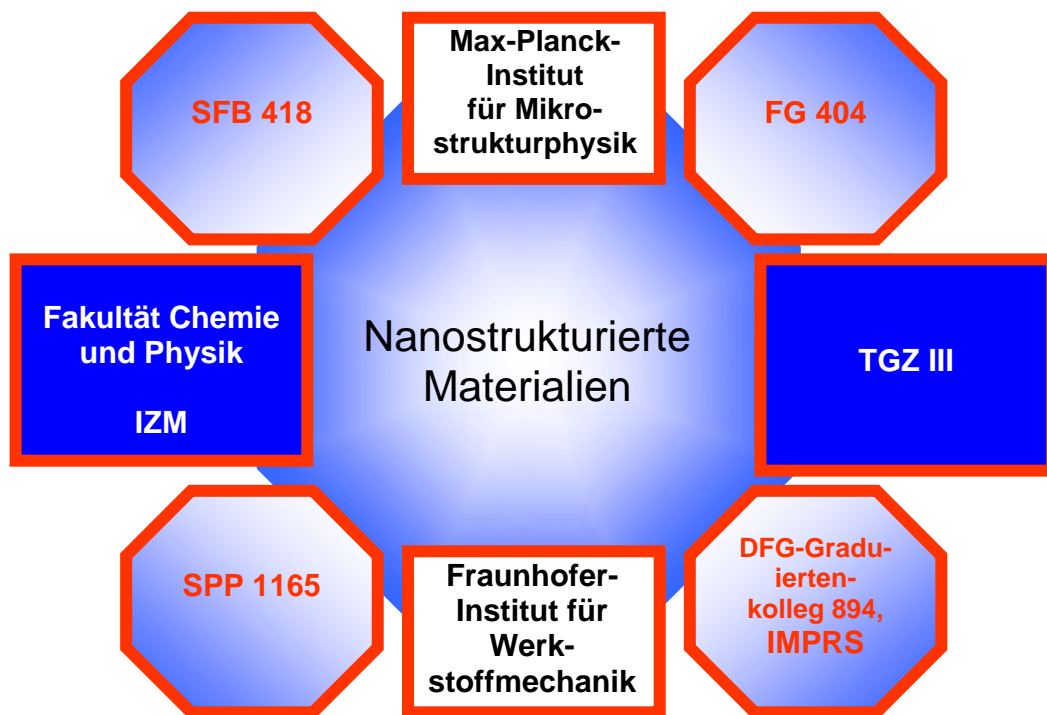


Abb. 1.2.: Beteiligte Einrichtungen und drittmittelgeförderte Forschungsverbände am Standort Halle

Anliegen des Netzwerkes ist es, die vorhandenen Ressourcen zu bündeln und auszubauen und damit die internationale Sichtbarkeit des Standortes auf dem Gebiet der *Nanostrukturierten Materialien* zu erhöhen.

Die vorgelegte Dokumentation belegt die Entstehung und Entwicklung des Forschungsnetzwerkes und zeigt gleichzeitig die Dynamik des Systems. Aufbauend auf der ursprünglichen Planung (siehe Antrag zur Förderperiode 2004-2007) und in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Begutachtung am 01./02.03.2006 wird es in den folgenden Jahren einen Prozess der Fokussierung auf vier Research Topics geben:

- RT I: Nanomagnetismus
- RT II: Halbleitende Nanodrähte
- RT III: Oxidische Nanostrukturen
- RT IV: Nanostrukturierte Template in Verbindung mit weicher Materie

Die Landesfinanzierung ist dabei in erster Linie dazu gedacht, den Schwerpunkt durch gezielte Strukturmaßnahmen auszubauen. In diesem Sinne ist die Unterstützung bzw. die Vorfinanzierung folgender vorgezogener Berufungen (VB) zu verstehen:

- VB I: Nanostrukturierte Materialien (Ruf an Prof. L. Eng erteilt)
- VB II: Makromolekulare Chemie (Ruf an Prof. Binder erteilt)
- VB III: Anorganische Festkörperchemie (Vorstellungsvorträge abgeschlossen)
- VB IV: Quantenfeldtheorie von Vielelektronensystemen (Ruf von Dr. J. Berakdar angenommen)
- VB V: Theoretische Polymerphysik
- VB VI: Nanostrukturierte Polymere
- VB VII: Technische Chemie
- VB VIII: Physikalische Chemie

Die Bleibeverhandlungen von Herrn Prof. Thomas Thurn-Albrecht, der einen Ruf an die Universität Freiburg erhalten hatte, wurden erfolgreich abgeschlossen.

Weiterhin ist die gezielte Arbeit mit Nachwuchsgruppen (NW) vorgesehen:

- NW I: Nanodrähte Dr. Silke Christiansen (besetzt seit dem 01.06.2005)
- NW II: Nanokristalle Dr. Nicola Pinna (besetzt vom 01.02.2005-28.02.2006)
- NW III: Quantenchemie (Ausschreibung)

Nachwuchsgruppen sind eine attraktive Möglichkeit, talentierten wissenschaftlichen Nachwuchs an den Standort Halle zu holen und somit das wissenschaftliche Spektrum zu erweitern.

Die dritte Komponente der Finanzierung ist die projektorientierte Förderung. Im Zeitraum von 01.07.2005 – 31.06.2007 besteht diese Maßnahme in der Förderung von Einzelprojekten, die den Forschungsschwerpunkten thematisch zugeordnet sind. Die Förderperiode von 2007-2010 wird in verstärktem Maße dazu genutzt, Verbundanträge für die Förderung bei der DFG oder beim BMBF vorzubereiten. Dazu zählt zunächst die Beantragung der Neueinrichtung eines Sonderforschungsbereiches *Struktur und Dynamik Oxidischer Grenzflächen*. Die Antragsskizze wurde bereits im März dieses Jahres bei der DFG eingereicht. Weiterhin ist nach Abschluss der dreijährigen Förderperiode der laufenden Projekte daran gedacht, zum Zwecke der Fokussierung landesgeförderte Forschergruppen zu den benannten Forschungsschwerpunkten einzurichten, die nach Auslauf der Landesfinanzierung formiert sind, um einen Antrag bei der DFG einzureichen.

Die vierte Komponente der Förderung ist die Graduiertenausbildung. Das Land Sachsen-Anhalt übernimmt für die Laufzeit der IMPRS eine Kofinanzierung von sechs Graduiertenstipendien.

2. Ursprünglicher Antrag (Förderperiode 2005-2007)

2.1. Zusammenfassung

Die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg bewirbt sich um die Einrichtung eines **Clusters of Excellence** auf dem Gebiet **Nanostrukturierte Materialien**. Der Cluster ist auf dem Gebiet der Grundlagenforschung angesiedelt und ist der Präparation, der Charakterisierung und der Modellierung von nanostrukturierten Materialien gewidmet und umfasst damit eine Problematik, welche weit über den Kompetenzbereich einzelner naturwissenschaftlicher Fächer (Physik, Chemie, Biologie) hinausgeht und eine fachübergreifende Plattform für die Materialforschung schafft. Eine Besonderheit des Clusters in Halle ist es, dass sowohl Systeme aus dem Bereich der harten als auch der weichen kondensierten Materie bearbeitet werden. Aus dieser Kombination ergeben sich eine Vielzahl synergetischer Wechselwirkungen und Möglichkeiten zur Zusammenarbeit. Dabei ist es Ziel des Antrages, bestehende Aktivitäten in diesem interdisziplinären Bereich zu fokussieren, zu integrieren und auszubauen.

Die Reduktion der Dimension der kondensierten Materie auf den Bereich der Nanometerskala birgt eine Vielfalt unerwarteter neuer Eigenschaften in sich, in deren Folge sich neue Technologien entwickeln und entfalten. In diesem Sinne ist das Studium der Nanostrukturen und der Eigenschaften von nanostrukturierten Materialien eine äußerst aktive Quelle für innovative Technologien in fast allen Industriezweigen (z. B. Informations- und Kommunikationstechnologie, Chemie und Umwelttechnik, Biotechnologie). Aufgrund der begrenzten Einsatzmöglichkeiten der traditionellen Mikrostrukturierungstechniken bei der Herstellung von Nanostrukturen kommt Herstellungsprinzipien, die auf Selbstorganisation beruhen, eine besondere Bedeutung zu. Die entsprechenden Phänomene stellen deshalb in sich selbst einen wichtigen Forschungsgegenstand dar. Hierbei sind im Halleschen Umfeld Nanostrukturierungstechniken auf atomarer, molekularer bis hin zur makromolekularen Ebene etabliert.

Inhaltliche Schwerpunkte des Know-hows in Halle können unter den Begriffen Nano-Magnetismus, Nano-Spektroskopie und Nano-Assembling zusammengefasst werden.

Im Zuge von Schwerpunktbildung hat sich die Universität auf die Materialforschung auch in ihrer langfristigen Entwicklungskonzeption als einen ihrer zwei naturwissenschaftlichen Schwerpunkte festgelegt. Ganz wesentlich wird diese Schwerpunktbildung von der Struktur der außeruniversitären Forschungslandschaft in Halle geprägt. Besonders hervorzuheben sind hierbei das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik sowie das Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik. Ausdruck der Entwicklung des Schwerpunktes Materialwissenschaften sind die Bewilligung des Sonderforschungsbereichs 418 Struktur und Dynamik nanoskopischer Inhomogenitäten in kondensierter Materie, der Forschergruppe 404 Oxidische Grenzflächen, des Schwerpunktprogrammes 1165 Nanodrähte und Nanoröhren, des Graduiertenkolleg 894 Selbstorganisation durch koordinative und nichtkovalente Wechselwirkungen, die Bewilligung einer International Max-Planck-Research School Science and Technology of Nanostructures durch die Max-Planck-Gesellschaft und die Gründung des Interdisziplinären Zentrums Materialwissenschaftlichen. Es erfolgte die Grundsteinlegung für das Technologie- und Gründerzentrum III Nanostrukturierte Materialien in Halle mit Hilfe von Fördermitteln des Landes Sachsen-Anhalt und der EU.

Die betrachteten Aktivitäten führten im Zeitraum von 1998-2004 zur Einwerbung von Größenordnung 25 Mio. Euro Drittmittel.

Die Stärke und das Potenzial des Clusters of Excellence Nanostrukturierte Materialien können weiterhin durch folgende Fakten belegt werden: Im Zeitraum von 1998 bis 2004 sind von den federführenden Gruppen 1.174 Publikationen in international führenden Zeitschriften

veröffentlicht worden. Die Arbeiten der federführend beteiligten Wissenschaftler wurden bis November 2004 17.387 zitiert. Im gleichen Zeitraum wurden 50 Patente angemeldet.

2.2. Inhaltliche Schwerpunkte

Basierend auf dem Know-how in Halle konzentrieren sich die wissenschaftlichen Fragestellungen auf drei Gebiete:

- I. Nano-Magnetismus,
- II. Nano-Spektroskopie,
- III. Nano-Assembling.

I. Nano-Magnetismus

Der Magnetismus von nanostrukturierten Materialien im weiteren kurz **Nano-Magnetismus** genannt hat sich in den vergangenen Jahren zu einem neuen Schwerpunkt der Festkörperphysik entwickelt. Die wissenschaftlichen Arbeiten auf diesem Gebiet wurden insbesondere durch die Entdeckung der Zwischenlagenaustauschkopplung (IXC), des Riesenmagnetwiderstandes (GMR), sowie der Renaissance des Tunnelns über eine isolierende Barriere in magnetischen Systemen (TMR) stimuliert. Die schnelle industrielle Umsetzung obengenannter Effekte hat zur Entwicklung der sogenannten Spinelektronik geführt. Neu in diesem Gebiet der Elektronik ist, dass der Ladungstransport über den Spin oder das magnetische Moment gesteuert werden kann. In weniger als 10 Jahren nach der Entdeckung der grundlegenden Effekte bestimmen GMR-Leseköpfe den Markt für Festplattenspeichermedien. Für die Speichertechnologie ist die Entwicklung des MRAM's (Magnetic Random Access Memory), eines nichtflüchtigen Speichers, von höchstem Interesse. Anwendungen im Bereich der Sensorik haben Einzug in die Automobilindustrie und in Bereiche der Steuerungstechnik gehalten.

Die zahlreichen potentiellen Anwendungen forcieren in enormer Weise die Grundlagenforschung auf diesem Gebiet. Neben den ursprünglichen Ferromagnet-Metall-Systemen stehen gegenwärtig auch Ferromagnet-Halbleiter und Ferromagnet-Isolator-Schichtsysteme im Mittelpunkt des Interesses.

Magnetische Nanostrukturen sind in jeder Hinsicht eine Herausforderung an die Grundlagenforschung. Das betrifft zum einen die Herstellung und zum anderen die strukturelle, elektronische und magnetische Charakterisierung der Systeme. Auch für die theoretische Beschreibung magnetischer Nanostrukturen ergeben sich neue Aspekte.

Grundlage der wissenschaftlichen Arbeiten und verbindendes Element am Standort Halle ist die Herstellung dünner Filme und Übergitter. Um wohldefinierte Proben herzustellen, wird epitaktisches Wachstum auf einkristallinen Substraten verfolgt. Dazu wird die Methode der Laserdeposition und des reaktiven Verdampfens eingesetzt. Die präparativen Schritte sind die Grundlage für den Erfolg der Forschungsarbeiten, da derartige Proben kommerziell nicht erhältlich sind.

Zur Charakterisierung der Grenzflächen wird eine Vielzahl traditioneller und neuartiger Verfahren eingesetzt. Zur Aufklärung der chemischen und geometrischen Ordnung der Grenzfläche werden die in der Oberflächenphysik üblichen Verfahren wie Rastersondenmethoden (Rastertunnelmikroskopie, Rasterkraftmikroskopie, Rastertunnelspektroskopie) verwendet. Eine weitere große Gruppe bilden die oberflächensensitiven Spektroskopie- und Beugungsexperimente. Dazu zählen

Elektronenspektroskopie (ARPES, EELS) und –beugung (PED, RHEED, LEED) sowie Röntgenabsorptions- und Röntgenemissionsspektroskopie. Röntgen- und Elektronenbeugung sowie elektronenmikroskopische Verfahren werden zur strukturellen Charakterisierung grenzflächennaher Schichtbereiche eingesetzt. Die magnetische Ordnung der Grenzflächen wird durch spinpolarisierte Rastertunnelmikroskopie, durch Kernmikroskopie und Röntgenabsorptionsspektroskopie mit zirkular polarisierter Synchrotronstrahlung analysiert. Die Methoden zur Charakterisierung zeichnen sich durch Komplementarität aus und führen durch die Vielfalt zu umfassenden Resultaten zur geometrischen Struktur, zur Elektronenstruktur und zur magnetischen Struktur.

Zur theoretischen Beschreibung magnetischer Nanostrukturen sind ab initio Verfahren basierend auf der Dichtefunktionaltheorie die geeignete Methode. Neben der elektronischen und magnetischen Struktur der Grenzflächen wird der Bogen bis zu Transport- bzw. Magnetotransporteigenschaften und der Berechnung der spektroskopischen Eigenschaften gespannt. Die theoretischen Arbeiten zeichnen sich durch wesentliche methodische Weiterentwicklung aus. Da an den Grenzflächen der untersuchten Systeme Übergangsmetalloxide entstehen, ist es erforderlich über die lokale Dichtenäherung hinauszugehen, um Korrelationskorrekturen zu berücksichtigen.

Die Konzentration von Expertise in Herstellung und Charakterisierung (Forschergruppe 404 *Oxidische Grenzflächen*, Kirschner¹ und Widdra²) und auf dem Gebiet der Theorie des Magnetismus nanostrukturierter Systeme (Bruno³, Mertig⁴, Hergert⁵) nimmt international eine Spitzenstellung ein. Publikationen in international renommierten Zeitschriften, eingeladene Vorträge auf internationalen Tagungen und die große Resonanz auf in Halle und Halle-Wittenberg organisierten Konferenzen und Ferienschulen sind Beleg dafür.

II. Nano-Spektroskopie

Die **Nano-Spektroskopie** umfasst den Bereich der elektronischen Anregungen und molekularen Dynamik in dimensionsreduzierten Strukturen und den daraus resultierenden neuen optischen und elektronischen bzw. dynamischen Eigenschaften, der von der Erforschung der Grundlagen bis zum Entwurf von Bauelementen (Devices) reicht. Neben der Nanostrukturierung und dem Nano-Assembling ist die Charakterisierung der resultierenden geometrischen Strukturen und ihrer Materialeigenschaften, d.h. das Aufklären der Struktur-Eigenschafts-Beziehung, zentrales Anliegen der Nanowissenschaften. Die Nano-Spektroskopie untersucht hierbei die optischen und elektronischen Eigenschaften sowie die elektronische und strukturelle Dynamik. Verbindendes Element aller Aktivitäten in Halle ist der Einsatz von höchst orts- und/oder zeitaufgelösten Spektroskopietechniken an nanostrukturierten Materialien. Zum Einsatz kommen dabei modernste Spektroskopiemethoden mit Nanometer-Ortsauflösung, wie die Elektronenenergieverlustspektroskopie am Raster- und Transmissionselektronenmikroskop (Höche⁶, Michler⁷), die Rastertunnelspektroskopie (Kirschner, Widdra), die Photoelektronen-Spektromikroskopie (Kirschner, Widdra), die optische Nahfeldmikroskopie und konfokale Mikroskopie (Graener⁸), die optische Einzelmolekülspektroskopie (Hübner⁹) und Elektronenrückstreubeugungsanalyse am Rasterelektronenmikroskop (Katzer). Diese Techniken erlauben selektive Charakterisierungen von einzelnen Nanostrukturen und umgehen so eine Ensemble-Mittelung. Ergänzt wird diese Expertise durch weitere

¹ Prof. Jürgen Kirschner, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

² Prof. Wolf Widdra, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

³ Prof. Patrick Bruno, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

⁴ Prof. Ingrid Mertig, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

⁵ Prof. Wolfram Hergert, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

⁶ Prof. Hans-Reiner Höche, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

⁷ Prof. Georg Michler, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

⁸ Prof. Heinrich Graener, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

⁹ Juniorprofessor Christian Hübner, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Spektroskopietechniken, wie die Elektronen- und die Kernspinresonanz (Mäder¹⁰), die nicht selbst ortsauflösend sind, jedoch an homogen präparierten Nanostrukturen eingesetzt werden können. Komplementär werden die optischen und elektronischen Eigenschaften auch durch Spektroskopietechniken in der Zeitdomäne untersucht, die die Dynamik nanostrukturierter Festkörper bis in den Bereich von wenigen Femtosekunden zugänglich und extern kontrollierbar machen. Eingesetzt werden dabei modernste Techniken der Infrarotabsorptionsspektroskopie, der optischen Summenfrequenzerzeugung (Graener) der Zweiphotonen-Photoemission (Widdra) und der Photolumineszenz (Gösele¹¹). Die Nanostrukturen werden dabei auf einer sehr kurzen Zeitskala mittels Laserstrahlung weit aus ihrem elektronischen Gleichgewicht angeregt. Diese Anregung der Elektronen geht mittels verschiedener Relaxationsprozesse an das Gitter, in das Spinsystem (bei magnetischen Materialien), in das Substrat (bei aufgedampften Nanoteilchen) oder die Matrix (bei eingebetteten Nanopartikeln) über. Die Zeitskalen der Prozesse reichen dabei von Femtosekunden bis zu Nanosekunden und hängen gleichermaßen von den Materialparametern (Substanz, Größe, Form) wie von der Wahl der optischen Prozesse zur Anregung und Detektion der Dynamik ab. Ein wichtiges Teilgebiet der Nanospektroskopie ist die Nano-Photonik, die Untersuchungen der Dynamik für ultraschnelle optische, optoelektronische und magneto-optoelektronische Bauelemente im Sub-Pikosekunden-Zeitbereich und an photonischen Kristallen (Gösele) umfasst.

Die besondere Expertise in diesem Bereich entsteht durch die sehr fruchtbare Kombination von Mikroskopie und Spektroskopie in der Methodik und die engen Verknüpfungen zwischen den dabei experimentell (Graener, Hübner, Widdra und Höche, Michler) und theoretisch (Bruno, Hergert, Mertig) arbeitenden Gruppen an der MLU und am MPI für Mikrostrukturphysik (Gösele, Kirschner) am Standort Halle, wie dies auch schon im Rahmen von Kooperationen verschiedener Projekte des SFB 418 (Trimper¹²) und der Forschergruppe 404 (Mertig) dokumentiert wurde.

III. Nano-Assembling

Die Charakterisierung und Modellierung von nanostrukturierten Materialien erfordert eine gezielte Präparation einer Vielzahl von neuen nanostrukturierten Materialsystemen. Hierbei können zwei alternative Zugangswege unterschieden werden: Die Mikro- und Nanostrukturierung durch lithographische Elektronen- und Ionenstrahlverfahren bzw. durch Imprint-Techniken und Ätzverfahren entsprechen einem **Top-Down-Ansatz**, die gegenwärtig Strukturgrößen im Nanometerbereich insbesondere durch die Technologieentwicklung für die Halbleiterelektronik erreichen.

Beim alternativen **Bottom-Up-Ansatz** – hier als Nano-Assembling im engeren Sinne bezeichnet – fügen sich Nanostrukturen durch Selbstorganisation aus Einzelkomponenten zusammen. Diese Selbstorganisation auf der Nanometer-Skala wird im Bereich der Epitaxie von Halbleiter-, Metall- und Metalloxidschichtsystemen zur Strukturbildung (mit resultierenden Quantum-Dots und Quantum-Wires) eingesetzt. Sie ist jedoch ebenso ein häufig anzutreffendes Phänomen in Systemen, die der Weichen Materie zuzurechnen sind.

Die Gründe hierfür liegen einmal im Vorhandensein relativ großer Moleküle – oft handelt es sich um Polymere – zum anderen in der Existenz vielfältiger Wechselwirkungen auch im Bereich der Biophysik, die zu einer ganzen Reihe von Selbstorganisationsprozessen Anlass geben. Es resultieren nanostrukturierte, oft auch hochgeordnete Materialien. Von besonderer Bedeutung für zukünftige Anwendungen sind auf der einen Seite nanostrukturierte, geordnete Filme und Oberflächen, auf der anderen Seite Nano-Assemblies. Letzteren wird auch in wässriger Lösung

¹⁰ Prof. Karsten Mäder, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

¹¹ Prof. Ullrich Gösele, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik

¹² Prof. Steffen Trimper, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

aufgrund ihres Potentials für Anwendungen im Bereich der Pharmazie und Medizin großes Interesse entgegengebracht. Beide Ansätze werden in Halle für die Präparation von nanostrukturierten Materialsystemen sehr erfolgreich eingesetzt. Ein zentraler Punkt der Forschungsaktivitäten in Halle liegt in der Frage nach dem Verständnis der Strukturbildungsprozesse als Grundlage einer Technologieentwicklung auf der Nanometerskala.

Der Bereich Festkörper-Nanostrukturierung in Halle umfasst einerseits Forschung basierend auf dem Top-Down-Ansatz, hierbei werden erfolgreich Methoden wie die Focused-Ion-Beam und die Elektronenstrahlolithographie (Katzner¹³, Gösele, Kirschner, Höche) eingesetzt. Andererseits wird auch die Selbstorganisation bei Nano-Assembling-Prozessen (Bottom-Up-Ansatz) in unterschiedlichsten Systemen untersucht, die von der Halbleiterepitaxie und der Flüssigphasenepitaxie (Gösele, Nachwuchsgruppe Christiansen¹⁴) über Wachstum niederdimensionaler Oberflächen- und Adsorbatstrukturen (Widdra) bis hin zu kolloidchemischen Verfahren zur Herstellung nanostrukturierter Übergangsmetalloxide (Abicht¹⁵, Nachwuchsgruppe Pinna¹⁶) reichen.

Lithographisch geführte Selbstorganisationsprozesse wie bei der Imprint-Technik verbinden die beiden unterschiedlichen Ansätze zur Präparation u.a. von Nanodrähten, Nanoröhren und Nanopunkten für magnetische, nanoelektronische oder biotechnologische Anwendungen eingesetzt (Nielsch¹⁷, BMBF-geförderte Nanotechnologie-Nachwuchsgruppe am MPI für Mikrostrukturphysik). Gerade der Aufbau komplementärer Nachwuchsgruppen an der MLU (Pinna, Christiansen) und am MPI (Nielsch) stärkt diesen Bereich.

Die Forschung in Halle im Bereich Soft-Matter Nano-Assembling zeichnet sich aus durch ein weit gespanntes, interdisziplinäres Netzwerk, das von den Grundlagendisziplinen synthetische und physikalische Chemie und Physik bis hin zu Anwendungen unter aktiver Beteiligung industrieller Partner im Bereich der Pharmazie, der Biophysik und den Funktionsmaterialien reicht. Folgende Themen stehen zur Zeit im Zentrum der Forschungsaktivitäten. Strukturbildung in weicher Materie ist sehr oft an Phasenübergänge (Kristallisation, Mikrophasenseparation, Ausbildung flüssigkristalliner Ordnungszustände) gekoppelt.

Hieraus ergibt sich die grundlegende Frage nach dem Verständnis der Phasenübergänge und nach dem Einfluss äußerer Parameter auf die resultierende Struktur (Blume¹⁸, Tschierske¹⁹, Thurn-Albrecht²⁰, Straube²¹). Ein weiteres wichtiges Forschungsgebiet stellen Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen nanoskopischen Objekten in weicher Materie dar (elektrostatische Wechselwirkungen in Lösungen und konzentrierten Systemen, Wechselwirkungen weicher und harter Grenzflächen mit Polymeren) (Kressler²², Blume, Thurn-Albrecht). Neben den Festkörpern und den Lösungen werden auch selbstorganisierende Gele und kolloidale Systeme hergestellt und untersucht (Kressler, Pinna). Ihre Verarbeitung, Erzeugung und biologische Funktion ist besonders im Hinblick auf pharmazeutische und medizinische Anwendungen von großem Interesse (Kressler, Mäder). Nanostrukturierte Polymermaterialien und Nanocomposites sind interessant als Werkstoffe. Das Deformationsverhalten dieser Materialien wird erfolgreich mit Hilfe von in-situ Deformationsmessungen im Transmissionselektronenmikroskop erforscht (Michler). Andererseits können nanostrukturierte Materialien als Template für die Herstellung funktioneller Nanostrukturen dienen (Thurn-Albrecht). An dieser Stelle ergibt sich eine Vielzahl von Möglichkeiten

¹³ Prof. Dieter Katzer, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik

¹⁴ Dr. Silke Christiansen, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

¹⁵ Prof. Dr. H. P. Abicht, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

¹⁶ Dr. Nicola Pinna, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

¹⁷ Dr. Kornelius Nielsch, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

¹⁸ Prof. Alfred Blume, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

¹⁹ Prof. C. Tschierske, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

²⁰ Prof. Thomas Thurn-Albrecht, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

²¹ Prof. Ekkehard Straube, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

²² Prof. Jörg Kressler, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

der Zusammenarbeit zwischen Gruppen aus dem Bereich der weichen und der harten Materie. So können umgekehrt auch Template aus harten Materialien als Template zur Erzeugung polymerer Nanostrukturen dienen (Gösele, Steinhart, Thurn-Albrecht).

Zur Charakterisierung und Untersuchung der resultierenden Materialien wird ein weites Spektrum von Methoden der Physik und physikalischen Chemie zum Einsatz gebracht. Hier sind insbesondere die verschiedenen Strukturuntersuchungsmethoden zu nennen, auf der einen Seite abbildende Methoden (optische Mikroskopie (IR und Raman) und Elektronenmikroskopie, Rasterkraftmikroskopie) auf der anderen Streu- und Beugungsexperimente (Röntgen- und Neutronenstreuung, Reflektometrie, Dynamische Lichtstreuung), ergänzt durch spektroskopische Methoden. Hierbei wird die methodische Kompetenz durch die Infrastruktur des Materialwissenschaftlichen Zentrums unterstützt. Dazu kommen in Halle entwickelte Spezialtechniken wie die Isotherme Titrationskalorimetrie oder die Infrarot Reflexions-, Absorptionsspektroskopie (Blume).

Die Schwerpunkte bei der Synthese nanostrukturierter Materialien liegen bei den amphiphilen Blockcopolymeren (Kressler), bei den amphotropen Flüssigkristallen (Tschierske) und bei keramischen Nanopartikeln (Abicht).

Das Interesse an diesem Arbeitsbereich wird getragen von Arbeitsgruppen aus den Fachbereichen Chemie (Abicht, Blume, Kreßler, Tschierske), Physik (Thurn-Albrecht, Straube) und Pharmazie (Mäder), die zum großen Teil bereits im Rahmen des existierenden Sonderforschungsbereich 418 "Struktur und Dynamik Nanoskopischer Inhomogenitäten in Kondensierter Materie" und im Graduiertenkolleg 894 "Selbstorganisation durch koordinative und nichtkovalente Wechselwirkungen" zusammenarbeiten. Die Themengebiete werden in naher Zukunft weitere Verstärkung durch die anstehenden Berufungen auf den Gebieten Makromolekulare Chemie und Hochfrequenzspektroskopie erfahren. Die DFG-Transferinitiative "Neue Polymerwerkstoffe" stellt die Brücke zwischen der Grundlagenforschung im Bereich der nanostrukturierten Materialien und industriellen Applikationen neuer Werkstoffe her.

3. Verlängerungsantrag (Förderperiode 2007-2010)

Die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg beantragt hiermit die weitergehende Förderung des Forschungsnetzwerkes *Nanostrukturierte Materialien* für die Jahre 2007-2010. Das Forschungsnetzwerk ist auf dem Gebiet der Grundlagenforschung angesiedelt und ist der Präparation, der Charakterisierung und der Untersuchung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von nanostrukturierten Materialien gewidmet und umfasst damit eine Problematik, welche weit über den Kompetenzbereich einzelner naturwissenschaftlicher Fächer (Physik, Chemie, Biologie) hinausgeht und eine fachübergreifende Plattform für die Materialforschung schafft.

Ganz wesentlich wird das Forschungsnetzwerk von der Struktur der außeruniversitären Forschungslandschaft in Halle geprägt. Besonders hervorzuheben sind hierbei das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik sowie das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik. Markenzeichen des Forschungsnetzwerkes sind die bereits bewilligte Forschungsverbünde wie der Sonderforschungsbereichs 418 *Struktur und Dynamik nanoskopischer Inhomogenitäten in kondensierter Materie*, die Forschergruppe 404 *Oxidische Grenzflächen*, das Schwerpunktprogramm 1165 *Nanodrähte und Nanoröhren*, das Graduiertenkolleg 894 *Selbstorganisation durch koordinative und nichtkovalente Wechselwirkungen* sowie die International Max-Planck-Research School *Science and Technology of Nanostructures* durch die Max-Planck-Gesellschaft. Die Attraktivität des Forschungsnetzwerkes wird durch die Existenz des Interdisziplinäres Zentrum für Materialwissenschaften (IZM) und durch den Aufbau des Technologie- und Gründerzentrum III *Nanostrukturierte Materialien* wesentlich erhöht.

Anliegen des Netzwerkes ist es, die vorhandenen Ressourcen zu bündeln und auszubauen und damit die internationale Sichtbarkeit des Standortes auf dem Gebiet der *Nanostrukturierten Materialien* zu erhöhen. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Begutachtung am 01./02.03.2006 wird es in den folgenden Jahren einen Prozess der Fokussierung auf vier Research Topics geben:

- RT I: Nanomagnetismus
- RT II: Halbleitende Nanodrähte
- RT III: Oxidische Nanostrukturen
- RT IV: Nanostrukturierte Template in Verbindung mit weicher Materie

Die Landesfinanzierung ist dabei in erster Linie dazu gedacht, den Schwerpunkt durch gezielte Strukturmaßnahmen auszubauen. In diesem Sinne ist die Unterstützung bzw. die Vorfinanzierung folgender Berufungen zu verstehen:

- VB I: **Nanostrukturierte Materialien** (Liste im KM)
- VB II: **Makromolekulare Chemie** (Liste im KM)
- VB III: **Anorganische Festkörperchemie** (Vorstellungsvorträge abgeschlossen)
- VB IV: **Quantenfeldtheorie von Vielelektronensystemen** (Ruf an Dr. J. Berakdar)
- VB V: **Theoretische Polymerphysik** (Nachfolge Prof. Straube, W2, 2008)
- VB VI: **Nanostrukturierte Polymere** (Nachfolge Prof. Michler, W3, 2008)
- VB VII: **Technische Chemie** (W3, 2008)
- VB VIII: **Physikalische Chemie** (Nachfolge Prof. Blume, W3, 2009)

Für die Bleibeverhandlungen von Herrn Prof. Thomas Thurn-Albrecht, der einen Ruf an die Universität Freiburg erhalten hat, sollten für die Jahre 2007-2008 500k€ und eine Stelle BAT Ia bereitgestellt werden.

Weiterhin ist die gezielte Arbeit mit Nachwuchsgruppen vorgesehen:

NW I:	Nanodrähte	Dr. Silke Christiansen (besetzt seit dem 01.06.2005)
NW II:	Nanokristalle	Dr. Nicola Pinna (besetzt vom 01.02.2005-28.02.2006)
NW III:	Quantenchemie	(Ausschreibung)

Nachwuchsgruppen sind eine attraktive Möglichkeit, talentierten wissenschaftlichen Nachwuchs an den Standort Halle zu holen und somit das wissenschaftliche Spektrum zu erweitern.

Im Rahmen des HWP-Programmes wurde für die Zeit von 2003-2006 die Juniorprofessur **Computational Nanoscience** (Dr. Jan Kantelhardt) finanziert. Die Zwischenbegutachtung der wissenschaftlichen Tätigkeit von Herrn Dr. Jan Kantelhardt wird aller Voraussicht nach positiv ausfallen, so dass für die weiteren drei Jahre die Finanzierung dieser Stelle im Rahmen der Exzellenzförderung erfolgen soll.

Die projektorientierte Förderung wird in der Förderperiode von 2007-2010 in verstärktem Maße dazu genutzt, Verbundanträge für die Förderung bei der DFG oder beim BMBF vorzubereiten. Dazu zählt zunächst die Beantragung der Neueinrichtung eines Sonderforschungsbereiches *Struktur und Dynamik Oxidischer Grenzflächen*. Die Antragsskizze wurde bereits im März dieses Jahres bei der DFG eingereicht. Weiterhin ist nach Abschluss der dreijährigen Förderperiode der laufenden Projekte daran gedacht, zum Zwecke der Fokussierung landesgeförderte Forschungsgruppen zu den benannten Research Topics einzurichten, die nach Auslauf der Landesfinanzierung formiert sind, um einen Antrag bei der DFG einzureichen.

IMPRS

Die Finanzierung der Graduiertenförderung durch das Land Sachsen-Anhalt im Rahmen der IMPRS wird über die gesamte Laufzeit der Research School beantragt.

Um die Arbeitsbedingungen im Forschungsnetzwerk auch für die bereits berufenen Professoren wesentlich zu verbessern, scheint eine generelle Aufstockung des jährlichen Haushaltsbudgets in Höhe von 150k€ pro Jahr angemessen. Weiterhin sollten 400k€ pro Jahr für Ergänzungsausstattung bereitgestellt werden, um die bereits getätigten Investitionen in angemessener Weise zu erweitern und zu warten.

4. Satzung

Satzung des Forschungsnetzwerkes „Nanostrukturierte Materialien“ an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Übersicht

- § 1 Rechtsstatus
- § 2 Aufgaben
- § 3 Beteiligte Einrichtungen
- § 4 Struktur
- § 5 Leitung
- § 6 Wissenschaftlicher Beirat
- § 7 Projektauswahl und Erstbegutachtung
- § 8 Evaluierung
- § 9 Inkrafttreten

§ 1 Rechtsstatus

(1) Das Exzellenznetzwerk "**Nanostrukturierte Materialien**" ist ein interdisziplinärer Forschungsverbund von Arbeitsgruppen der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und außeruniversitärer Forschungseinrichtungen der Region.

(2) Das Netzwerk steht unter Verantwortung des Rektorats der Universität.

§ 2 Aufgaben

(1) Das Netzwerk ist Bestandteil der Exzellenzinitiative des Landes Sachsen-Anhalt. Ihm liegt die Erkenntnis zugrunde, dass Spitzenleistungen auf dem Gebiet der Nanostrukturierten Materialien an den deutschen Universitäten weiterhin nur erbracht werden können, wenn klare thematische und infrastrukturelle Schwerpunkte strukturiert und finanziert werden. Die Hauptaufgabe des Netzwerkes besteht in der Förderung von Forschungsthemen auf materialwissenschaftlichen Schwerpunktgebieten.

(2) Das Netzwerk verstärkt die Forschung am Standort Halle auf den Gebieten der Erzeugung und Charakterisierung nanostrukturierter Materialien. Der wissenschaftliche Fokus liegt auf den Schwerpunkten:

- Nanomagnetismus
- Halbleitende Nanodrähte
- Oxidische Nanostrukturen
- Nanostrukturierte Template
- Selbstorganisierte Nanostrukturen
- Nanocomposite

(3) Eine enge Kooperation von Forschungsgruppen der Universität mit außeruniversitären wissenschaftlichen Einrichtungen soll zu internationalen Spitzenleistungen und zu einer exzellenten

Graduiertenförderung führen. Die wichtigsten Zusammenarbeiten gibt es mit dem Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und dem Fraunhoferinstitut für Werkstoffmechanik Halle.

(4) Das Netzwerk ist eng mit dem Sonderforschungsbereich der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG-SFB 418 "Struktur und Dynamik nanoskopische Inhomogenitäten in kondensierter Materie" und der Forschergruppe „Oxidische Grenzflächen“ verbunden.

(5) Das Netzwerk wird durch weitere Initiativen in Halle, denen bereits Exzellenz bescheinigt wurde, verstärkt. Das sind im Besonderen das DFG-Graduiertenkolleg 894 und die International Max Planck Research School for Science and Technology of Nanostructures.

(6) Neue Kooperationen und neue Ergebnisse sollen die Gründung weiterer Sonderforschungsbereiche an der Universität ermöglichen.

(7) Langfristig wird das Netzwerk eine enge Zusammenarbeit mit exzellenten Gruppen der Biowissenschaften in Halle zu ausgewählten Themen der Bio-Nano-Technologie forcieren.

§ 3 Beteiligte Einrichtungen

Die an diesem Netzwerk beteiligten Einrichtungen sind:

Natur- und Ingenieurwissenschaftliche Institute & IZM
Materialwissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik

Fraunhoferinstitut für Werkstoffmechanik Halle

§ 4 Struktur

(1) Das Netzwerk besteht im Wesentlichen aus:

- Drei Nachwuchsgruppen mit den Forschungsschwerpunkten:
"Nanodrähte"
- "Nanocrystals"
- "Quantum Chemistry"

der *International Max Planck Research School for Science and Technology of Nanostructures*,

Forschungscluster mit den Schwerpunkten:

- "Nanomagnetismus"
- "Nanostrukturen"
- "Selbstorganisierende Systeme"
- "Nanoanalytik"
- "Nanotechnology"
- "Transferinitiative zu Nanocompositen"

Einer Initiative zur vorgezogenen Besetzung von Professuren in den Fachbereichen Chemie und Physik

(2) Weitere Projektverbünde können nach positiver Begutachtung an das Netzwerk assoziiert werden.

(3) Das Netzwerk wird kollegial durch Sprecher geleitet.

(4) Mitglieder des Netzwerkes sind alle Teilprojektleiter/innen der Forschungscluster und des Graduiertenprogramms, die Leiter/innen der Nachwuchsgruppen und alle im Rahmen des Netzwerkes finanzierten wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, einschließlich aller Stipendiaten.

§ 5 Leitung

(1) Das Sprechergremium besteht aus vier Professoren bzw. Professorinnen, die durch die Teilprojekt- und Nachwuchsgruppenleiter für die Dauer von zwei Jahren gewählt werden. Eine Wiederwahl ist möglich.

(2) Die Sprecher sind für alle wissenschaftlichen und wissenschaftsorganisatorischen Angelegenheiten des Netzwerkes zuständig. Ausgenommen sind der Abschluss von Verträgen, die Annahme von Zuwendungen Dritter und beamten-/ arbeitsrechtliche Entscheidungen, die der zentralen Universitätsverwaltung obliegen.

(3) Die Sprecher sind für die Koordination des gesamten Netzwerkes verantwortlich und werden durch Gruppenleiter, Projektleiter und bei Verwaltungsaufgaben durch Koordinatoren unterstützt.

(4) Die Sprecher haben insbesondere die Aufgaben:

- das wissenschaftliche Programm des Netzwerkes zu gestalten und umzusetzen,
- neue Projekte anzuregen,
- die Sicherstellung des Graduiertenprogramms zu gewährleisten,
- die Gutachtergremien einzuberufen,
- die Evaluierung vorzubereiten,
- die Zusammenarbeit mit den SFB und Forschergruppen zu garantieren,
- dem Rektorat und dem Kultusministerium des Landes einen jährlichen Arbeitsbericht vorzulegen,
- die Publikations- und Patenttätigkeit zu überwachen,
- interne und externe Konflikte beratend zu lösen

(5) Die Projekt- und Gruppenleiter sind für die Projektarbeiten und die Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis verantwortlich. Sie sind Vorgesetzte der befristet eingestellten wissenschaftlichen und

technischen Mitarbeiter/innen bzw. der Stipendiaten.

(6) Für die Gestaltung und Sicherung des Graduiertenprogramms wirken die Sprecher mit den Teilprojektleitern und einem durch die Stipendiaten zu wählenden Vertreter zusammen.

(7) Die Sprecher und die Projektleiter werden durch Koordinatoren unterstützt, die interne Verwaltungs- und Organisationsaufgaben erfüllen. Die Koordinatoren arbeiten eng mit der Zentralen Universitätsverwaltung, insbesondere den Referaten Drittmittelbewirtschaftung und Personal zusammen.

§ 6 Wissenschaftlicher Beirat

(1) Das Sprechergremium wird durch einen wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Er berät bei der Realisierung der Forschungsvorhaben und unterstützt die Vernetzung der Forschung.

(2) Der Beirat besteht aus fünf Personen, die in den Forschungsschwerpunkten des Netzwerkes ausgewiesen sind. Diese Personen sollten Professoren der relevanten Fachgebiete oder Geschäftsführer von materialrelevanten Unternehmen sein. Mindestens zwei Beiratsmitglieder sollten den am Netzwerk beteiligten Einrichtungen nicht angehören. Das Kultusministerium bestellt in Abstimmung mit dem Rektorat den Beirat auf Vorschlag der Sprecher für die Dauer von drei Jahren.

(3) Die Beiratsmitglieder wählen aus ihrer Mitte einen Vorsitzenden für die Dauer von drei Jahren. Wiederwahl ist möglich.

§ 7 Projektauswahl und Erstbegutachtung

Die Arbeitsgruppen des Netzwerkes müssen dem Anspruch der Exzellenz genügen, d.h. sie müssen ihre kontinuierliche Leistungsfähigkeit und internationale Reputation auf dem Gebiet der Nanostrukturierten Materialien durch überdurchschnittliche Publikationstätigkeit und die Förderung eigener Projekte durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft bereits unter Beweis gestellt haben. Sie werden der Multidisziplinarität des Forschungsfeldes Rechnung tragen und methodisch vielfältig ausgerichtet sein.

Dementsprechend erfolgt die Auswahl der Projekte und Strukturen nach den höchsten erreichbaren Maßstäben:

(1) Eine Nachwuchsgruppe besteht i.d.R. aus dem/der Leiter/in, einem/r Postdoktoranden/in, zwei Doktoranden/innen. Die Stellen der Nachwuchsgruppenleiter werden international ausgeschrieben.

(2) Teilprojekte innerhalb des Graduiertenprogramms "Selbstorganisation durch koordinative und nichtkovalente Wechselwirkungen" und der International Max Planck Research School for Science and Technology of Nanostructures können in das Exzellenznetzwerk „Nanostrukturierte Materialien“ aufgenommen werden. Die Teilnahme an dem Programm

beinhaltet die Verpflichtung der Antragsteller zur aktiven Mitarbeit an der Durchführung der Lehrveranstaltungen.

Die Doktoranden absolvieren ein zusätzliches Ausbildungsprogramm auf dem Gebiet der Nanostrukturierten Materialien bestehend aus:

- Spezialvorlesungen/Fachvorträgen/Kolloquien
- thematisch fokussierten Forschungsseminaren
- Methodenworkshops
- Laborkursen
- Doktorandenseminaren (Progress Reports)
- Tagungsbesuchen mit Tagungsberichten

(3) Die Forschungscluster sind folgenden Themenkomplexen zugeordnet:

- "Nanomagnetismus"
- "Halbleitende Nanodrähte"
- "Oxidische Nanostrukturen"
- "Nanostrukturierte Template"
- "Selbstorganisierte Nanostrukturen"
- "Nanocomposite"

Ein Cluster kann eine oder mehrere interdisziplinäre Arbeitsgruppen umfassen. Eine Arbeitsgruppe besteht i.d.R. aus drei Gruppenleitern (promovierte Wissenschaftler der Universität oder der außeruniversitären Forschungseinrichtungen), die gemeinsam an einem konkreten Forschungsprojekt arbeiten. Es wird eine Förderung für drei Jahre angestrebt.

Begutachtung und Auswahlverfahren erfolgen in Anlehnung an die Kriterien der DFG, um der Forderung nach Exzellenz zu genügen. Die Auswahl der Projekte erfolgt unter Beteiligung externer Gutachter.

§ 8 Evaluierung

(1) Die Projektleiter führen ihre Gruppen eigenverantwortlich. Sie sind dem Kultusministerium als Drittmittelgeber direkt rechenschaftspflichtig. Sie werden dabei von den Sprechern des Netzwerkes unterstützt.

(2) Die Sprecher führen regelmäßige Beratungen durch, zu denen Projektleiter geladen werden. Ein Vertreter bzw. eine Vertreterin des Kultusministeriums, der Vertrauensdozent der Universität sowie die Sprecher der DFG-Sonderforschungsbereiche können an den Sitzungen des Sprecherkollegiums teilnehmen.

(3) Der Forschungscluster führt viermal jährlich Arbeitsbesprechungen durch, bei denen die Doktoranden bzw. Teilprojektleiter berichten.

(4) Alle zwei Jahre erfolgt eine Evaluierung der wissenschaftlichen Arbeit des Netzwerkes durch den Wissenschaftlichen Beirat und eine externe Gutachtergruppe.

(5) Die Gutachtergruppe wird vom Wissenschaftlichen Beirat in Abstimmung mit dem Kultusministerium bestellt.

(6) Der Bericht der Gutachtergruppe wird dem Kultusministerium vorgelegt. Von einem positiven Urteil hängt unter Berücksichtigung der gesetzlichen Bestimmungen zur Einstellung von Mitarbeitern die Weiterführung von Teilprojekten und des Netzwerkes ab.

§ 9 Inkrafttreten

Die Satzung des Zentrums tritt am 01.01.2006 in Kraft.

5. Sprecher des Forschungsnetzwerks

Prof. Dr. **Ingrid Mertig**
Tel: 0345-5525430
Fax: 0345-5525446
EMail: mertig@physik.uni-halle.de

Martin-Luther-Universität Halle
Fachbereich Physik
Fachgruppe Theoretische Physik
Von-Seckendorff-Platz 1
06099 Halle

Prof. Dr. **Jörg Kressler**
Tel: 0345- 5525984
Fax: 0345- 5527017
EMail: joerg.kressler@chemie.uni-halle.de

Martin-Luther-Universität Halle
Naturwissenschaftliche Fakultät II
Institut für Chemie
Hoher Weg 7
06120 Halle

Prof. Dr. **Ulrich Gösele**
Tel: 0345-5582657
Fax: 0345-5582557
EMail: goesele@mpi-halle.de

Max-Planck-Institut
für Mikrostrukturphysik
Weinberg 2
06120 Halle

Prof. Dr. **Dieter Katzer**
Tel: 0345-55890
Fax: 0345-5589101
EMail: dieter.katzer@iwmh.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Werkstoffmechanik (IWM)
Heideallee 19
06120 Halle

6. Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. **Alfred Blume**
Tel: 0345-5525851
Fax: 0345-5527157
EMail: blume@chemie.uni-halle.de

Martin-Luther-Universität Halle
Institut für Physikalische Chemie
Mühlpforte 1
06108 Halle

Prof. Dr. **Gunter Fischer**
Tel: 0345-5522818
Fax: 0345-5511972
EMail: fischer@enzyme-halle.mpg.de

Max-Planck-Gesellschaft Halle
Forschungsstelle "Enzymologie der Proteinfaltung"
Weinbergweg 22
06120 Halle

Prof. Dr. **Peter Gumbsch**
Tel: 0761-5142100
Fax: 0761-5142110
EMail: peter.gumbsch@iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Werkstoffmechanik (IWM)
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg

Prof. Dr. **Heinrich Graener**
Tel: 0345-5525321
Fax: 0345-5527221
EMail: graener@physik.uni-halle.de

Martin-Luther-Universität Halle
Fachgruppe Experimentelle Physik IX
Hoher Weg 8
06120 Halle

Prof. Dr. **Jürgen Kirschner**
Tel: 0345-5582655
Fax: 0345-5511223
EMail: kirschner@mpi-halle.de

Max-Planck-Institut
für Mikrostrukturphysik
Weinberg 2
06120 Halle

Prof. Dr. **Gert Strobl**
Tel: 0761-2035857
Fax: 0761-2035855
EMail: strobl@uni-freiburg.de

Albert-Ludwigs-Universität
Physikalisches Institut
Hermann-Herder-Str. 3
79104 Freiburg

Prof. Dr. **Dieter Weiss**
Tel: 0941-9433198
Fax: 0941-9433196
EMail: dieter.weiss@physik.uni-regensburg.de

Universität Regensburg
Institut für Experimentelle und
Angewandte Physik
Universitätsstr. 31
93040 Regensburg

Prof. Dr. **Hartmut Zabel**
Tel: 0234-3223650
Fax: 0234-3214173
EMail: hartmut.zabel@ruhr-uni-bochum.de

Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Experimentalphysik/ Festkörperphysik
44780 Bochum

7. Forschungsschwerpunkte

7.1. Nanomagnetismus (MN)

- MN1 Kritische Dynamik ferroelektrischer und ferromagnetischer Nanomaterialien
- MN2 Strukturierung metallpartikelhaltiger Gläser mittels starker elektrischer Felder
- MN3 Strukturbestimmung organischer Ankergruppen auf Übergangsmetalloxiden mittels Elektronenbeugung
- MN4 Manipulation von Spinpolarisation und Austauschwechselwirkung in Nanostrukturen durch Quantenkonfinement
- MN5 Dynamik von Gasen und Flüssigkeiten in Nanoporen in mesoporösem Glas
- MN6 Interface disorder and transport properties in tunnel junctions

7.2. Halbleitende Nanodrähte (NW)

- NW1 Halbleiternanodrähte auf geordneten Nanotemplaten: Komponenten für eine nanoskalige Elektronik und Sensorik
- NW2 Wachstum von Silizium-Germanium- Nanodrähten mittels Molekularstrahlepitaxie
- NW3 Untersuchungen zum Wachstum von SiGe/ Si Dots aus der Flüssigphase
- NW4 Nano-Röhren: Erzeugung und Applikation
- NW5 Dreidimensionale Verzerrungszustände in Nanostrukturen: Experimentelle Vermessung und numerische Simulationen
- NW6 Synthesis, characterization and optical properties of III-V semiconducting nanopowders synthesized by a new nonaqueous solgel approach

7.3. Oxidische Nanostrukturen (ON)

- ON1 Herstellung, Charakterisierung und Anwendung nanoskaliger Mischkristallpulver des Typs $\text{Ba}(\text{Ti},\text{Sn})\text{O}_3$
- ON2 Einfluß von Dimensions- und Mikrostruktureffekten auf die nichtlinearen dielektrischen Eigenschaften von nanoskaligen Ferroelektrika
- ON3 Struktur und Dynamik von Nanoteilchen in oxidischen Gläsern: EXAFS-Spektroskopie und Theorie
- ON4 Atomare Struktur und nanoskopische Strukturbildung ferroelektrischer Domänen in ultradünnen BaTiO_3 - Schichten

7.4. Nanostrukturierte Template (NT)

- NT1 Nanoporöse Monolithe mit hierarchischer Porenstruktur
- NT2 Relaxations-, Alterungs- und Kristallisationsverhalten amorpher Arzneimittel in nanostrukturierten Wirtssystemen
- NT3 Translokation von fluoreszenzmarkierten Polymeren durch funktionalisierte Nanoporen
- NT4 Struktur und elektrische Polarisierung von Nanoröhrchen und Nanostäben aus ferroelektrischen Polymeren
- NT5 Nanosphere Lithography geordneter Metall-Nanostrukturen

7.5. Selbstorganisierte Nanostrukturen (SN)

- SN1 Ultraschnelle Dynamik von inversen Mizellen in nanostrukturierten Flüssigkeiten nach laserinduziertem Temperatursprung
- SN2 Nanostrukturierte Flüssigkristallmaterialien und deren Strukturbildung in niederdimensionalen Systemen
- SN3 Physikalisch chemische Eigenschaften von Mikroemulsionen als Drug-Delivery Systeme
- SN4 Stimuliresponsive Hydrogele
- SN5 Strukturbildung und Dynamik hydrophobmodifizierter Hydroxyethylstärke in Wasser und an Grenzflächen
- SN6 Kettendynamik und Ordnung bei der Kristallisation in nanostrukturierten Blockcopolymeren

7.6. Nanocomposite (NC)

- NC1 Einfluss des Exfolierungsgrades auf mechanische und bruchmechanische Eigenschaften von polymeren Nanocompositen
- NC2 Modifizierung von Polyethylenblends durch Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Aufklärung von Struktur-Eigenschaftsbeziehungen
- NC3 Fabrikation und Eigenschaften einkomponentiger nanostrukturierter bzw. nanopartikelmodifizierter, kristallisationsfähiger Homopolymere

7.1. Nanomagnetismus (MN)

Nanomagnetismus constitutes one of the most dynamic and fruitful fields of research in solid state physics. A striking example is the current development of spintronics, initiated by the discovery in 1988 of the giant magneto resistance (GMR) of layered magnetic nanostructures by Grünberg (Jülich Research Center; also External Scientific Member at MPI) and Fert (Université Paris-Sud).

Only 7 years after the discovery of GMR, hard-disks with read-heads based on GMR were available. Nowadays, this revolutionary technology is used in all hard-disks produced in the world and has led to a tremendous increase in storage capacity. To sustain such a formidable technological development, a considerable effort on fundamental understanding of nanomagnetism is required.

The Halle groups active in this field (both at MLU and MPI) belong to the best experts worldwide, both experimentally and theoretically. Among the specific assets of the groups of the CoE working on nanomagnetism, one should mention the broad range of complementary techniques available, both experimentally and theoretically, and the excellent synergy between theorists and experimentalists.

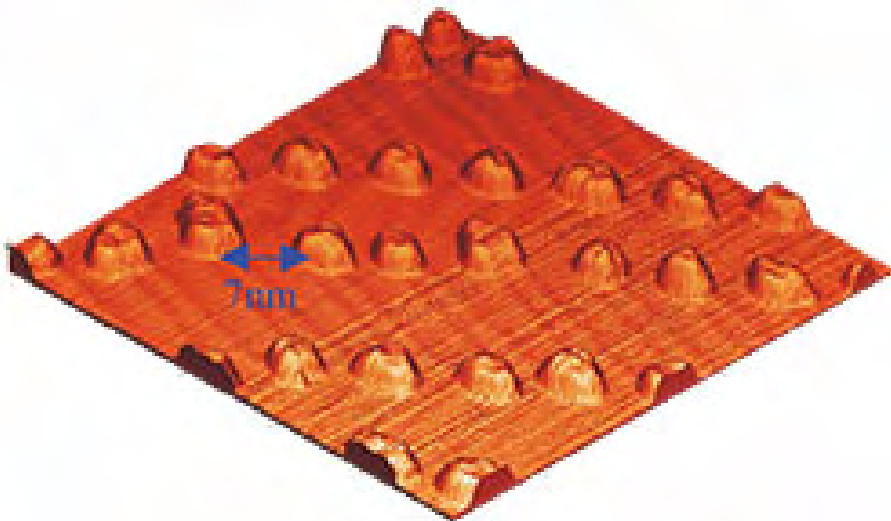


Figure 7.1, from: O. Fruchart, M. Klaua, J. Barthel, J. Kirschner,
Self-organized growth of nanosized vertical magnetic Co pillars on Au(111)
Phys. Rev. Lett. **83**, 2769 (1999)

Der Forschungsschwerpunkt Nanomagnetismus wird im Rahmen dieser Darstellung nicht durch einzelne Projekte unteretzt, da sich diese Projekte im Wesentlichen in der IMPRS befinden.

7.2. Halbleitende Nanodrähte (NW)

This project deals with the controlled growth, the characterization, the properties and potential applications of semiconductor nanowires and nanocrystals in areas such as electronics, photonics, sensorics, and photovoltaics for alternative energy generation. Depending on the size of the structures quantum effects become an essential tool to tailor the desired electronic properties.

Semiconductor materials form the basis of modern micro- and nano-electronic chip, optoelectronics devices and many sensors. Life in a modern society without electronic chips in computers, mobile phones, and cars is hardly imaginable. Continuing device shrinking as expressed in Moore's law is accomplished by a top-down approach involving lithographic techniques. A potential limit of this scaling approach might occur in the range of about ten nanometers or even below.

All major semiconductor companies work on alternatives beyond this limit. In the last five years the major contenders for potential structures beyond normal microelectronics have turned out to be carbon nanotubes and semiconductor nanowires. The area of semiconductor nanowires for nanoelectronic devices has especially been pushed by US research groups, e.g. by the group of Charles Lieber at Harvard University. In Europe, it was only recently noticed that this is a scientifically and technologically critically important area. Based on the experience of early work on silicon quantum wires by one of the principal investigators the DFG Priority Program 1165, Nanowires and Nanotubes was initiated by Dr. Margit Zacharias.

The growth of semiconductor nanowires can be accomplished by a number of different methods, such as chemical vapor deposition (Christiansen). The vapor-liquid-solid method, as originally developed about forty years ago and appropriately modified in recent years, allows the growth of nanowires with diameters down to a few nanometers.

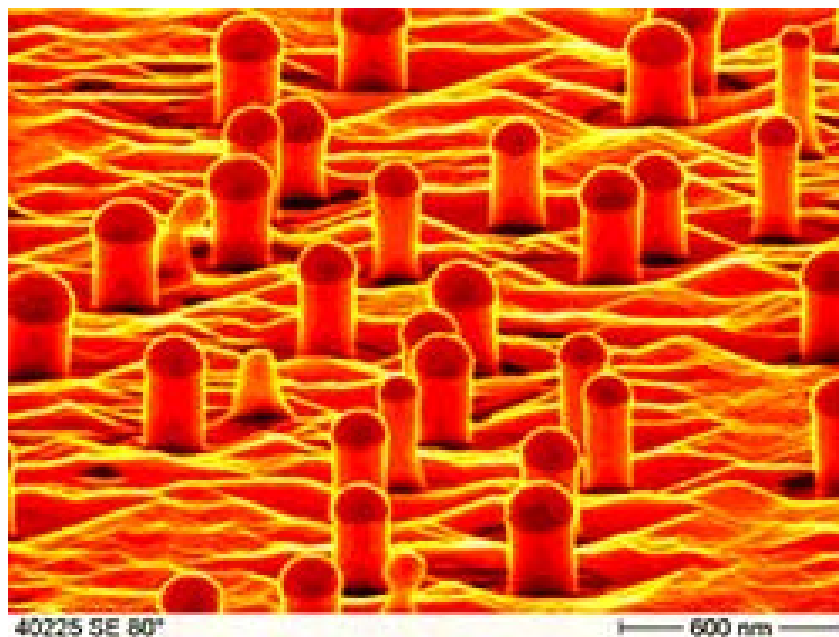


Figure 7.2, from: Schubert, Werner, Gösele et al,
Silicon nanowires grown by molecular beam epitaxy
Appl. Phys. Lett. **84**, 357 (2004)

Halbleitende Nanodrähte -Teilprojekt NW 1

Thema:	Halbleiternanodrähte auf geordneten Nanotemplaten: Komponenten für eine nanoskalige Elektronik und Sensorik	
Projektleiter:	Silke Christiansen	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
	Frank Altmann	Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik
	Ottwin Breitenstein	Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

Kurzfassung:

Geplant ist, im Hinblick auf eine zukünftige Anwendung in nanoelektronischen und Sensor-Bauelementen, eine kontrollierte Synthese von **Halbleiternanodrähten** mit der chemischen Gasphasenabscheidung (**CVD**), nach dem sogenannten 'Vapor-Liquid-Solid' (**VLS**)- Mechanismus, d.h. einer lokalen Flüssigphasenepitaxie aus metallischer Lösung. Als **metallische Lösungsmittel** sollen Gold, Gallium, Palladium, Indium und Aluminium getestet werden. Dabei soll Kontrolle hinsichtlich der Nanodrahtdurchmesser und -länge, Ort des Wachstums sowie Dotierung erzielt werden. Dies ist u.a. nur möglich über geordnete metallische Nanotemplate da der Nanodrahtdurchmesser über den Durchmesser der Metallpartikel definiert ist.

Die **Metall-Nanotemplate** sollen mit verschiedenen nanolithographischen Verfahren (z.B. Nanoimprintlithographie, Ionenimplantation durch Masken, Focussed-Ion-Beam (FIB) Implantation und Bestrahlung von α -GaAs/Si, Elektronenstrahlithographie u.a.) in Zusammenarbeit verschiedener Institutionen die sich zum Reinraumtechnikum 'Nanostrukturierte Materialien' am Weinbergcampus zusammengefunden haben, hergestellt werden.

Die **elektrischen Eigenschaften** der Nanodrähte sollen über den CVD-Prozess eingestellt werden (z.B. **Dotierung** aus der Gasphase bei der CVD, Dotierung über Diffusion aus einer Beschichtung der Nanodrähte). Dabei können für elektronische oder photovoltaische Anwendungen pn-Übergänge entlang des Nanodrahtes oder über seinen Querschnitt gefragt sein, die es durch entsprechende Prozesstechnik zu realisieren gilt. Für die Sensorik ist eine Funktionalisierung der Nanodrahtoberflächen anzustreben, wobei die elektrischen Eigenschaften dann weitgehend uninteressant sind. Exemplarisch sollen ausgewählte **Oberflächenfunktionalisierungen** in interdisziplinärer Zusammenarbeit am Weinbergcampus durchgeführt werden.

Charakterisierung der strukturellen und elektrischen Eigenschaften mit **elektronenmikroskopischen** und **rastersondenmikroskopischen Verfahren** ist wesentlicher Teil des Projektes.

Halbleitende Nanodrähte -Teilprojekt NW 2

Thema:	Wachstum von Silizium-Germanium-Nanodrähten mittels Molekularstrahlepitaxie	
Projektleiter:	Hartmut Leipner Peter Werner	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

Kurzfassung:

Der vorliegende gemeinsame Antrag zielt auf die Herstellung von geordneten Nanodrähten aus Halbleitermaterialien. Es wird angestrebt, dass diese **Nanodrähte (ND)** einerseits Längen von etwa einem Mikrometer besitzen, andererseits einen Durchmesser von nur wenigen 10 Nanometern aufweisen sollen, was zu besonderen mechanischen, elektrischen und optischen Eigenschaften dieser Nanostrukturen führen wird. Die Untersuchungen werden exemplarisch am Materialsystem Silizium und Silizium/Germanium durchgeführt werden; die gewonnenen Erkenntnisse sollen aber auf andere Halbleitersysteme übertragbar sein.

Als Herstellungsmethode für die Erzeugung von ND wird die **Molekularstrahlepitaxie (MBE)** im Ultrahochvakuum zur Anwendung kommen. Dieses Verfahren ermöglicht eine breite Variation der kinetischen und thermodynamischen Wachstumsparameter, deren Kenntnis für die zukünftig Applikation von ND in Bauelementen von entscheidender Bedeutung ist.

Darauf aufbauend sollen diese ND in periodischen Strukturen angeordnet werden („**kontrollierte Selbstorganisation**“). Als Methode für diese Nanostrukturierung wird schwerpunktmäßig die „Nanokugel“-Lithographie eingesetzt werden, die am IZM kürzlich erfolgreich entwickelt wurde (s. Projektantrag NT5 „Nanosphere Lithography“). In solchen regelmäßigen Arrays sollten die Si-ND eine scharfe Größenverteilung haben, was eine Voraussetzung sowohl für besondere physikalische Eigenschaften, als auch von technologischem Interesse ist. Das Projekt ordnet sich unter der grundlagenorientierten Plattform des „**Clusters of Excellence**“ in den übergeordneten Schwerpunkt Nanocharakterisierung ein, wobei das Projekt speziell die Nanostrukturierung verfolgt

Halbleitende Nanodrähte -Teilprojekt NW 3

Thema: Untersuchungen zum Wachstum von SiGe/Si Dots aus der Flüssigphase

Projektleiter: Michael Hanke Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Kernziel des vorliegenden Projekts bildet der ambitionierte Versuch, Kristallwachstum von nanoskaligen Inseln während der Flüssigphasenepitaxie (LPE) *in situ* mittels diffuser Röntgenstreuung zu untersuchen. Da bei dieser Züchtungsmethode das Wachstum unter einer metallischen Lösung stattfindet und erst nach Entfernung ebendieser - defacto *ex situ* - das Resultat beurteilt werden kann, können Oberflächen abtastende Rastersondenverfahren im allgemeinen nur retrospektiv zur Aufklärung des eigentlichen Wachstumsgeschehens beitragen. Mittel der Wahl sind und bleiben Streumethoden. Der wohl nahe-liegendste Gedanke - eine bereits existierende LPE-Anlage für die Röntgenanalytik umzurüsten – lässt sich jedoch aus mehreren Gründen nicht in die Praxis übertragen. Stattdessen wird ein Experiment vorgeschlagen, das mit vorpräparierten sandwichartigen Strukturen auskommt, wobei in einem eigens für diesen Zweck zu konstruierenden Untersuchungssofen über einen geeigneten Temperaturgradienten das Wachstum aus der flüssigen Phase gesteuert wird. Sofern das zu bewachsende Substrat nur hinreichend dünn genug gewählt ist, lässt sich in diesem Umfeld durch die Substratrückseite hindurch diffuse Röntgenstreuung sowohl zur Aufklärung der fest-flüssig Grenzfläche als auch der sich unmittelbar anschließenden Gebiete in Flüssigkeit und Festkörper betreiben. SiGe auf Silizium dient in diesem Zusammenhang als geeignetes Modellsystem u.a. wegen des in weiten Grenzen einstellbaren Germaniumgehaltes, respektive der zwischen Schicht und Substrat auftretenden Gitterfehlpassung.

Ungeachtet der einer *ex situ* Analytik anhaftenden Beschränkungen kann diese dennoch wichtige Informationen zum Wachstumsprozess beitragen. So werden die auf den technologisch relevanten Aspekt hochgeordneter Dotensembles zielenden *ex situ* Arbeiten zum Einfluss künstlich im Substrat bzw. durch Selbstorganisationsphänomene eingebrachter Spannungsmodulationen weiter vorangetrieben.

Berechnungen mittels der Finiten Elemente Methode (FEM) flankieren die experimentellen Arbeiten, dies einerseits in Hinblick auf ein besseres Verständnis der Prozesse beim Wachstum selbst, zum anderen bietet sich FEM aber auch im Rahmen von Streusimulationen für eine numerische Bestimmung der Deformationsfelder als eine exzellente Alternative zu analytischen Ansätzen an. Im Gegensatz zu Streumethoden mit hoher Auflösung im Fourierraum eröffnen Verfahren wie die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) einen direkten Einblick in die Strukturen, und dies mit einer Auflösung im atomaren Bereich. Aufgrund des komplementären Charakters lassen sich mittels höchstauflösender TEM, Rasterelektronen- und Atomkraftmikroskopie an subsequenten Wachstumsstadien Aussagen zu strukturellen Änderungen während des Wachstums, zum finalen Deformationszustand und der chemischen Komposition ableiten.

Halbleitende Nanodrähte -Teilprojekt NW 4

Thema: Nano-Röhren: Erzeugung und Applikation

Projektleiter: Joachim Ulrich Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Matthew J. Jones Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Kristalline Nano-Röhren können erzeugt werden aus sich umwandelnden Solvatkristallen unter Abgabe der eingeschlossenen Kristallflüssigkeit (z. B. wenn diese wie im Falle von Hydraten ihr Wasser an ein Lösungsmittel abgeben, welches eine deutlich geringe Löslichkeit für den kristallinen Stoff aufweist als das Wasser).

Diese Nano-Röhren, optisch (mit dem Mikroskop) nur als Nadeln wahrzunehmen, wachsen 1. kristallin, 2. bis zu vier Zehnerpotenzen schneller als „normales“ Kristallwachstum des Stoffes und 3. in Richtung eines Mediums, in dem definitiv zuvor keine Übersättigung zum Wachstum der Nadeln vorliegt. Die Ziele des Projektes sind primär die Applikationen der Nano-Röhren im pharmazeutischen Bereich hinsichtlich des reproduzierbaren Herstellens von „Nanocontainern“ mit benötigten Eigenschaften zu prüfen und sekundär die physikalische begründete Modellierung zum Einstellen der gewünschten Nano-Röhren-Strukturen. Des weiteren sind Fallstudien geplant, um Erkenntnisse für die Produktion von Nano-Röhren zu gewinnen.

Damit verbunden gilt es auch Anwendungsgebiete für die Nano-Röhren zu schaffen. Eine Möglichkeit ist es den Innendurchmesser der Röhren weiter zu verringern um diese noch gezielter im medizinischen Bereich einsetzen zu können (z. B. Langzeitdosierung von Medikamenten in vivo (tägliche Injektionen vermeiden (Insulin, andere Hormone)) oder an direkt benötigten Wirkorten (Wundstellen)).

Halbleitende Nanodrähte -Teilprojekt NW 5

Thema: Dreidimensionale Verzerrungszustände in Nanostrukturen:
Experimentelle Vermessung und numerische Simulationen

Projektleiter: Frank Altmann Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik
Silke Christiansen Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Ziel des vorliegenden Projektes ist es, möglichst effiziente und weitgehend zerstörungsfreie Verfahren zur Charakterisierung dreidimensionaler Verzerrungszustände in Nanostrukturen zu entwickeln. Experimentell sollen diese Verzerrungszustände mit Elektronenbeugungsverfahren, im Rasterelektronenmikroskop mit der Electron beam backscattering diffraction (EBSD) [1] und im Transmissionselektronenmikroskop mit der Convergent beam electron diffraction (CBED) [2] charakterisiert werden. Als unabhängiges drittes Messverfahren zur Verzerrungsmessung wird die höchstauflösende Raman-Spektroskopie eingesetzt werden. Dabei werden Möglichkeiten zu ‚Nano-Raman‘-Messungen evaluiert (Laserspot nicht kleiner als ~500nm).

Simulationen dreidimensionaler Verzerrungszustände in Nanostrukturen mit der Finite-Element Methode (FEM) werden an experimentellen Verzerrungsmessungen verifiziert und dienen dann der schnellen, kostengünstigen und zerstörungsfreien Analyse und Interpretation von Verzerrungszuständen in Nanostrukturen.

Als Modellsystem für Experiment und Simulation dienen nanostruturierte verzerrte Siliziumschichten (sogenanntes ‚strained-Silicon‘, kurz sSi) auf relaxierten dicken SiGe-Pufferschichten und oxidierten Si-Wafern (sogenannten ‚Silicon-on-insulator‘, kurz SOI Wafern). Verzerrungen zwischen 0.05% und bis zu 1% in 10-20nm dicken sSi-Schichten auf SiGe (200nm-4µm) und SOI (100-200nm Oxidschicht) sollen bestimmt werden.

Zur Nanostrukturierung wird die Elektronenstrahlolithographie (EBL) und ‚Focussed-Ion-Beam‘ (FIB) Technik eingesetzt.

Halbleitende Nanodrähte -Teilprojekt NW 6

Thema: Synthesis, characterization and optical properties of III-V nitride semi-conducting nanopowders synthesized by a new non-aqueous sol-gel approach

Projektleiter: Kurt Merzweiler Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Non-aqueous sol-gel routes have already proven to be versatile for the synthesis of several oxidic nanoparticles previously impossible to synthesize (c.f. References).

In this project we propose to extend these routes to the preparation of III-V nitrides semi-conducting nanocrystals, to characterize them and to study their intrinsic optical properties.

7.3. Oxidische Nanostrukturen (ON)

Oxides are one of the most important classes of solids. The properties of bulk oxides are generally well understood. There is, however, a considerable deficit with respect to the understanding of oxidic surfaces and interfaces.

The volume-to-interface ratio being particularly large in nanostructures, structure and physical properties of nanostructures are dominated by those of the interfaces surrounding them, requiring their investigation in a joint effort.

A main focus of the research activities in Halle is structure and dynamics of oxidic interfaces and nanostructures involving 3d transition metals. Since the 3d states are only partially filled, these systems exhibit interesting magnetic and ferroelectric properties and offer the opportunity to design multicomponent structures and multiferroic systems.

A variety of well-defined growth methods of layered systems and nanostructures is combined with high resolution microscopy, spectroscopy and surface X-ray diffraction to analyze the chemical and structural properties of the surfaces, interfaces, and nanostructures. These experimental activities are combined with state-of-the-art electronic structure calculations based on density functional theory (DFT). In order to properly describe electron correlation effects relevant to this field, DFT in local density functional approximation (LDA) has to be supplemented with methods such as LDA+U, self-interaction corrections (SIC) or dynamical mean field (DMF).

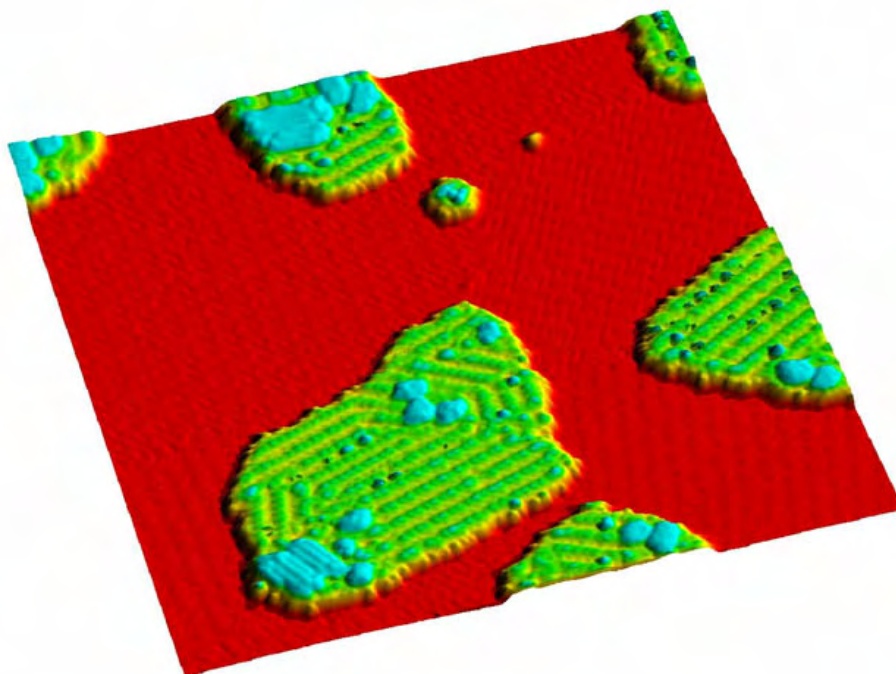


Figure 7.3, from: Ch. Hagendorf and W. Widdra (submitted),
**Atomically-resolved structure of ultrathin antiferromagnetic oxide domains (width 15 nm):
MnO(100) grown on Pt(111)**

Oxidische Nanostrukturen -Teilprojekt ON 1

Thema:	Herstellung, Charakterisierung und Anwendung nanoskaliger Mischkristallpulver des Typs $\text{Ba}(\text{Ti},\text{Sn}/\text{Ge})\text{O}_3$ und daraus hergestellter Keramik	
Projektleiter:	Lothar Jäger	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
	Hans-Peter Abicht	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Keramiken auf der stofflichen Basis von BaTiO_3 sind vielgenutzte Funktionskeramiken mit einem breiten Anwendungsfeld in der Hochtechnologie. Ihre Eigenschaften können in vielfältiger Weise durch chemische Modifizierung „maßgeschneidert“ werden. So zeigen feste Lösungen des Typs $\text{Ba}(\text{Ti},\text{Sn})\text{O}_3$ interessante dielektrische und elektromechanische Eigenschaften.

Wie orientierende Vorarbeiten zeigen, können die Eigenschaften zusätzlich durch ein Downscaling der Keramikausgangspulver in den nm-Bereich dramatisch verändert/verbessert werden. Zur Darstellung und Weiterverarbeitung solcher Pulver müssen die klassischen Pfade verlassen werden. Die Herstellung dichter nanokristalliner Keramiken stellt eine schwierige und komplexe Aufgabe dar.

Zudem erfordert der anhaltende Trend zur Miniaturisierung von Bauelementen die Beherrschung von Herstellung und Handhabung feinsten Pulver. Dies gilt in gleicher Weise für die Dünnschichttechnik.

Im Rahmen des Projektes sollen mischkristalline $\text{Ba}(\text{Ti}_{1-x}\text{Sn}_x)\text{O}_3$ -Pulver (BTS-x) sowie $\text{Ba}(\text{Ti}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{O}_3$ -Pulver (BTG-x) mit $x = 0-0.15$ mit mittleren Korngrößen < 200 nm nach einer Sol-Gel- und nach einer Solvothermal-Methode bzw. auch nach einer Komplex-Precursor-Methode (im Falle des Germaniums) hergestellt, charakterisiert und zur Darstellung entsprechender Keramiken verwendet werden. Das „Zudotieren“ von Germanium soll die Sintertemperaturen beträchtlich erniedrigen und somit das Kornwachstum besonders im finalen Sinterstadium reduzieren (\rightarrow nanoskalige Gefügestruktur).

Zum Sintern soll neben der klassischen Widerstandsheizung alternativ ein Monomode-Mikrowellenofen zum Einsatz kommen („rapid sintering“). Die damit zu erzielenden hohen Aufheizraten (bis 100 K/min.) stellen ein weiteres effektives Werkzeug zur Konstruktion nanoskaliger Keramikgefüge dar.

Vorgesehen ist der Vergleich der dielektrischen und elektromechanischen Eigenschaften der Keramiken nach der Korngröße und dem Herstellungsverfahren.

Mit Blick auf eine zielgerichtete Anwendung sollen erste Untersuchungen zur Eignung als bleifreie Aktuatoren durchgeführt werden.

In Schema I (Band 2) ist eine längerfristige Strategie der geplanten Arbeiten vorgestellt. Die daraus abgeleiteten Arbeiten für den Antragszeitraum sind im Arbeitsprogramm formuliert.

Oxidische Nanostrukturen -Teilprojekt ON 2

Thema: Einfluß von Dimensions- und Mikrostruktureffekten auf die nichtlinearen dielektrischen Eigenschaften von nanoskaligen Ferroelektrika

Projektleiter:	Horst Beige	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
	Martin Diestelhorst	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
	Dietrich Hesse	Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle
	Marin Alexe	Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

Kurzfassung:

Mit dem vorliegenden Antrag soll die Materialklasse der Ferroelektrika innerhalb der ferroischen Materialien (Ferromagnetika, Ferroelektrika, Ferroelastika) bearbeitet werden. Diese Materialklasse wird wegen ihrer ausgeprägten dielektrischen, elektromechanischen, optischen und pyroelektrischen Eigenschaften sehr vielseitig technisch genutzt. Neue Impulse ergeben sich durch die technologischen Möglichkeiten, wenige Nanometer dicke ferroelektrische Filme herzustellen (für eine Übersicht der Methoden siehe z. B. [1], Abschnitt II und Referenzen darin). Mit dem vorliegenden Antrag sollen die Kapazitäten der beiden in Halle auf dem Gebiet der Erforschung ferroelektrischer Materialien tätigen Arbeitsgruppen des Fachbereiches Physik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik genutzt werden, um eine lückenlose Untersuchungskette von der Herstellung ausgewählter Materialien über die strukturelle Charakterisierung bis zur Charakterisierung der dielektrischen, elektromechanischen, optischen und pyroelektrischen Eigenschaften einschließlich ihrer Nichtlinearitäten vorzunehmen.

Dazu werden am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle ferroelektrische Strukturen mit definierten kristallographischen Schicht- und Grenzflächencharakteristika hergestellt. Geplant sind u.a. die Herstellung von mit CSD erzeugten polykristallinen Metall/Ferroelektrikum/Metall-Strukturen vom Typ Pt/PZT/Pt, von mit PLD erzeugten einkristallinen SrRuO₃/PZT/SrRuO₃-Strukturen verschiedener Schichtdicke bis herab zu weniger als 10 nm, sowie Metall/Ferroelektrikum/Halbleiter-Strukturen vom Typ Pt/PZT/Si. Diese Proben werden an der Fachgruppe Physik Ferroischer Materialien der Martin-Luther-Universität hinsichtlich ihrer linearen und nichtlinearen dielektrischen Eigenschaften untersucht. Im Ergebnis sollen damit Beiträge zum besseren Verständnis der Eigenschaften ferroelektrischer Materialien mit Nanometerabmessungen und zur gezielten Anwendung der untersuchten Materialien geleistet werden.

Oxidische Nanostrukturen -Teilprojekt ON 3

Thema: Struktur und Dynamik von Nanoteilchen in oxidischen Gläsern: EXAFS-Spektroskopie und Theorie

Projektleiter: Manfred Dubiel Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Angelika Chassé Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Nanoteilchen (< 10 nm) haben wegen ihrer speziellen chemischen und physikalischen Eigenschaften, die deutlich von denen des Festkörpers abweichen, in den letzten Jahren rasant an Bedeutung gewonnen. Im vorliegenden Projekt sollen Systeme von metallischen Nanoteilchen in einer oxidischen Glasmatrix, die insbesondere wegen ihren spezifischen linearen und nichtlinearen optischen, katalytischen und elektrischen Eigenschaften von großem Interesse sind, systematisch in einem Größenbereich von 0,5 bis 4 nm untersucht werden.

Die besonderen Eigenschaften von Systemen mit matrixgebundenen Nanoteilchen hängen wesentlich von ihrer inneren Struktur und Dynamik als Funktion von der Temperatur sowie den Oberflächen- bzw. Grenzflächeneffekten ab. Darüber gibt es bisher nur sehr begrenzte Informationen wegen der geringen Größe der Partikel und der steigenden Unordnung mit abnehmender Ausdehnung. Deshalb soll für die Charakterisierung der Nanoteilchen die Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) eingesetzt werden, die für diese Aufgabenstellung im Vergleich zu anderen Methoden besonders geeignet ist. Um die angestrebten Informationen mit entsprechender Genauigkeit zu erhalten, werden hohe Anforderungen an die experimentelle Technik (Anwendung von Synchrotronstrahlung) und die theoretischen Grundlagen für die Dateninformation gestellt. Zur systematischen Untersuchung der Quantum-Size- und Grenzflächeneffekte der Metallnanoteilchen sollen zunächst Ag-Nanoteilchen, später komplexere Konfigurationen wie bimetallische Ag-Au-Systeme, in oxidischen Natriumsilikatgläsern hergestellt und untersucht werden.

Den theoretischen Schwerpunkt des Projektes bildet die Interpretation der XAS-Experimente in Abhängigkeit von der Partikelgröße und von unterschiedlichen Grenzflächenstrukturen. Es ist zuerst die Anwendbarkeit der bisherigen Theorien, die für das kompakte Material entwickelt worden sind, zu klären. Es konnte bereits gezeigt werden, dass die Schwingungszustände und die starke Zunahme sowohl der statischen als auch der dynamischen (thermischen) Unordnung für sehr kleine Teilchen nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Nachfolgend sind erweiterte theoretische Modelle für die Streutheorie auf der Basis der Methode der Greenschen Funktion oder durch Anwendung der Störungstheorie in höherer Ordnung für XAS zu entwickeln und mit Hilfe der Experimente zu testen.

Im Ergebnis dieses Projekts entsteht die Möglichkeit, die strukturellen und dynamischen Zustände der Teilchen im Nano- und Subnanobereich einschließlich der Grenzflächeneffekte zu beschreiben, und damit wesentlich zur Klärung der Struktur-Eigenschafts-Beziehung von eingebetteten Nanoteilchen beizutragen.

Oxidische Nanostrukturen -Teilprojekt ON 4

Thema: Atomare Struktur und nanoskopische Strukturbildung ferroelektrischer Domänen in ultradünnen BaTiO₃-Schichten

Projektleiter: Christian Hagendorf Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Wolf Widdra Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Dynamik und Struktur von ferroelektrischen Domänen in dünnen Filmen werden durch die besonderen Eigenschaften der Oberflächen und Grenzflächen wesentlich beeinflusst. In diesem Projekt sollen unter definierten Bedingungen ultradünne ferroelektrische Schichten präpariert und deren ferroelektrische Domänenstruktur bestimmt werden. Zentrales Anliegen ist dabei die Aufklärung des Einflusses von Oberflächenstruktur bzw. -terminierung und lokalen Defekten auf Ausbildung, ‚Pinning‘ und Stabilität der Domänenstruktur. Zur Abbildung von topografischen und atomaren Oberflächeneigenschaften soll vorrangig die Rasterkraftmikroskopie (AFM) und die Rastertunnelmikroskopie (STM) bei variablen Temperaturen eingesetzt werden.

Die strukturellen und dynamischen Eigenschaften von ferroelektrischen Domänenkonfigurationen werden in Abhängigkeit von der Temperatur mit ‚piezo-response‘-AFM (PFM) charakterisiert. Basierend auf spektroskopischen STM- und AFM-Methoden können elektronische und ferroelektrische Eigenschaften wie die elektrische Leitfähigkeit, der ‚piezo-response‘ und die permanente Polarisierbarkeit lokal untersucht werden.

Zusätzlich stehen weitere oberflächenphysikalische Methoden zur Verfügung: Die Photoemissions-elektronenmikroskopie (PEEM) und die Sekundärelektronenmikroskopie (SEM) erlauben dabei alternative Zugänge zur lokalen Oberflächen- und Domänenstruktur mit sub- μm -Auflösung. Einen besonderen Schwerpunkt soll die gezielte Präparation und Modifikation von Domänenstrukturen im sub- μm -Bereich für den späteren Einsatz als eindimensional strukturierte Unterlagen für das Wachstum organischer Schichten bilden. Dabei soll sowohl die lokale Manipulation durch rastersondenmikroskopische Methoden als auch die selbstorganisierte Konfiguration von Domänenstrukturen durch die gezielte Beeinflussung von Oberflächen- und Grenzflächeneigenschaften ausgenutzt werden.

7.4. Nanostrukturierte Template (NT)

For the controlled deposition or removal of materials at predefined locations on a nanometer scale nanostructured templates or masks play a crucial role. Well-known examples of masks are those used in microelectronic chip processing involving typical top-down approaches such as photo- and electron beam lithography (EBL).

Similarly, focused ion beam (FIB) techniques may be used to structure masks or materials directly. A top-down technique presently under development and a potential major competitor to conventional lithography is nanoimprint lithography (NIL). The most advanced EBL, FIB, and NIL equipment combined with deposition and etching systems will be available for use within the planned CoE, partly in close collaboration with the companies developing the equipment, at the nanofabrication facility of technology incubator (TGZ III) which is presently under construction.

Even though many areas of nanoscience and -technology have greatly benefited from the availability of top-down lithographic techniques, in many cases major advances involved nanostructures fabricated based on self-organized processes. Nanostructures based on these bottom-up approaches may often be tailored down to the atomic or molecular level and may cost only a small fraction of those based on typical lithographical approaches. Presently, these self-organized structures have not yet shown the sophistication and complexity which can be attained by repeated application of lithographic techniques, but biological structures obviously exemplify that bottom-up approaches clearly have the ability to lead to highly complex structures.

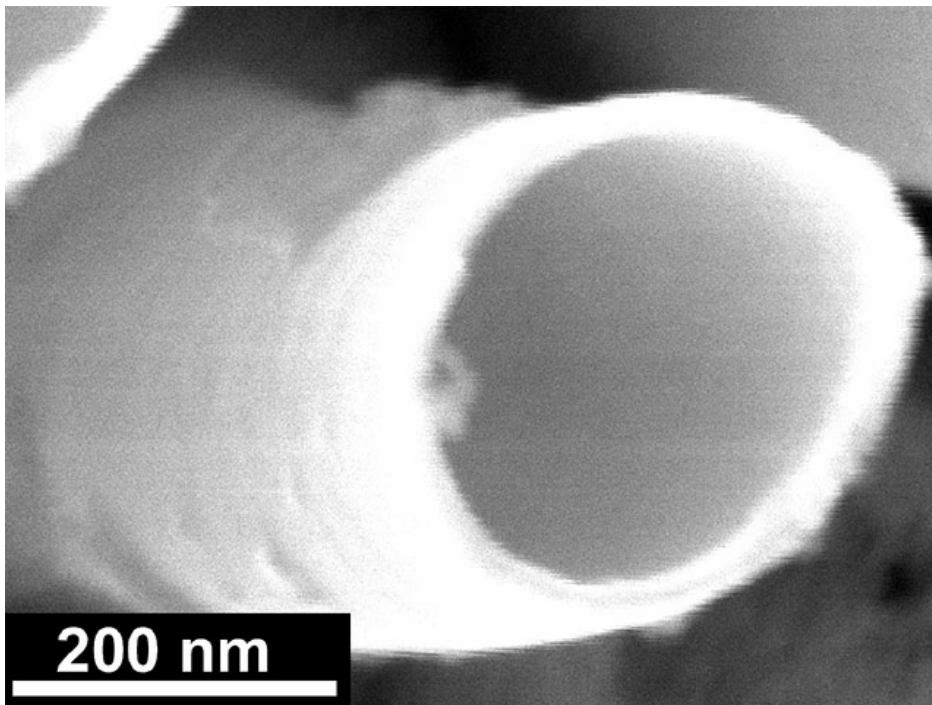


Figure 7.4, from: M. Steinhart, U. Gösele et al.,
**Palladium nanoshell tube (wall thickness about 20 nm) produced
by wetting a porous alumina template**
Adv. Mat. **15**, 706 (2003)

Nanostrukturierte Template -Teilprojekt NT 1

Thema: Nanoporöse Monolithe mit hierarchischer Porenstruktur

Projektleiter: Dirk Enke Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Durch Kombination der Phasenseparation im Sol-Gel-Prozess mit einer neuen Druck-Lösungs-mittel-Austausch- (DLA-) Synthese, sollen mechanisch stabile rissfreie hierarchisch strukturierte nanoporöse Monolithe mit flexibler geometrischer Form (Membranen, Rohre, Kappen etc.) auf Basis von SiO_2 hergestellt werden und deren Textur- und Stofftransporteigenschaften sowie die mechanischen und optischen Eigenschaften umfassend charakterisiert werden.

Weiterhin sollen die Syntheseprinzipien auf andere Metalloxidsysteme (TiO_2) übertragen werden.

Nanostrukturierte Template -Teilprojekt NT 2

Thema: Relaxations-, Alterungs- und Kristallisationsverhalten amorpher
Arzneimittel in nanostrukturierten Wirtssystemen

Projektleiter: Mario Beiner Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Im Rahmen des vorgeschlagenen Projekts soll das Relaxations-, Alterungs- und Kristallisationsverhaltens niedermolekularer Arzneimittel in Poren mit Abmessungen im Bereich 2.5-1000 nm untersucht werden. Durch Einbringen in die Poren nanostrukturierter Wirtssysteme sollen amorphe Arzneimittel erzeugt werden, die nahe der Glastemperatur T_g im ungeordneten Zustand bleiben, ohne dass Kristallisation auftritt, wie dies bei abgeschreckten oder gefriergetrockneten Arzneimitteln typischerweise der Fall ist.

Kombinierte Messungen mittels DSC, dielektrischer Spektroskopie und bildgebenden Verfahren (Rasterkraftmikroskopie = AFM) sollen benutzt werden, um die Auswirkungen der einschränkenden Geometrie und der Oberflächenwechselwirkung auf die Kristallisationskinetik zu studieren und zu quantifizieren und den Übergang von heterogener zu homogener Keimbildung zu beobachten. Das Relaxationsverhalten der amorphen Substanzen oberhalb T_g soll mittels dielektrischer Spektroskopie und temperaturmodulierter Kalorimetrie detailliert untersucht werden und isotherme Alterungsexperimente unterhalb der Glastemperatur T_g sind geplant, um die physikalische Alterung und etwaige Restrukturierungsprozesse gezielt zu verfolgen.

Nanostrukturierte Template -Teilprojekt NT 3

Thema:	Translokation von fluoreszenzmarkierten Polymeren durch funktionalisierte Nanoporen	
Projektleiter:	Christian Hübner Martin Steinhart	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

Kurzfassung:

Ziel des beantragten Projektes ist die Untersuchung der Mobilität synthetischer Polymere in ein-dimensionalen Geometrien. Zu diesem Zweck soll die Einzelmolekülfluoreszenz fluoreszierender oder fluoreszenzmarkierter Makromoleküle, die sich innerhalb der Poren hochgeordneter poröser Aluminiumoxidmembranen als Sonden befinden, gemessen werden. Dabei werden verschiedene molekulare Architekturen der Sondenmoleküle, insbesondere verschiedene Kettensteifigkeiten, betrachtet. Neben dem räumlichen Confinement sind die Wechselwirkungen der Sondenmoleküle mit der Porenwand, deren Polarität und chemische Natur systematisch variiert werden soll, von besonderem Interesse.

Eine zeitaufgelöste Untersuchung des Diffusionsprozesses durch die Nanoporen ermöglicht nicht nur die Bestimmung des makroskopischen Diffusionskoeffizienten, sondern liefert auch Informationen über die Trajektorie einzelner Polymermoleküle. Auf diese Weise ist die temporale und lokale Heterogenität des Diffusionsprozesses durch das nanoporöse Aluminiumoxid detektierbar. Letztlich sollen die Untersuchungen Aufschluss über den Mechanismus der Translokation von Polymeren bei unterschiedlichen Formen der Wechselwirkung mit der Wand geben. Die genaue Kenntnis dieser Mechanismen ist eine Voraussetzung für das Verständnis einer Vielzahl von natürlichen Prozessen, wie z. B. der Proteinfaltung, da synthetische Polymere als einfache Modellsysteme für komplexere Biomoleküle dienen können.

Darüber hinaus sind die Ergebnisse dieses Projektes relevant für das Design nanostrukturierter Bauelemente etwa für Stofftrennung, Filtration, oder kontrollierte Freisetzung pharmakologisch aktiver Substanzen.

Nanostrukturierte Template -Teilprojekt NT 4

Thema: Struktur und elektrische Polarisation von Nanoröhrchen und Nanostäben aus ferroelektrischen Polymeren

Projektleiter: Thomas Thurn-Albrecht Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Martin Steinhart Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

Kurzfassung:

Im Rahmen des beantragten Projekts sollen Nanoröhrchen und -stäbe aus ferroelektrischen Polymeren bezüglich ihrer strukturellen und ferroelektrischen Eigenschaften untersucht werden. Ensembles paralleler ferroelektrischer Nanoröhrchen und -stäbe lassen sich durch Benetzung von nanoporösem Aluminiumoxid kontrolliert herstellen.

Die Kristallisation im zweidimensionalen Confinement der Poren führt bei geeigneter Wahl der Kristallisationsbedingungen zur Ausbildung einer orientierten Kristallstruktur, die eine gleichzeitige oder anschließende einheitliche Polung durch ein äußeres elektrisches Feld erlauben sollte.

Mit Hilfe von Streuexperimenten sowie dynamischer Differentialkalorimetrie sollen die teilkristalline Struktur und Textur, wie sie sich in Abhängigkeit von den Kristallisationsbedingungen einstellt, untersucht werden. Aufbauend auf der Kenntnis der strukturellen Eigenschaften sollen die ferroelektrischen Eigenschaften untersucht werden.

Nanostrukturierte Template -Teilprojekt NT 5

Thema: Nanosphere Lithography geordneter Metall-Nanostrukturen

Projektleiter: Bodo Fuhrmann Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Hartmut Leipner Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Metall-Nanopartikel (Metallcluster) besitzen eine Reihe von Eigenschaften, die eine breit gefächerte Anwendung im Bereich der Nanotechnologie eröffnen. Abhängig von Material, Größe und Form zeigen einzelne oder in Arrays regelmäßig angeordnete Metall-Nanopartikel einerseits selbst spezifische optische Effekte, andererseits sind diese Effekte sensitiv auf die unmittelbare Umgebung der Partikel, was z.B. den Aufbau optischer Chemo-, Gas- oder Biosensoren ermöglicht.

Bei der Herstellung von Halbleiternanodrähten mittels unterschiedlicher Prozesse werden Metall-Nanopartikel als Aktivator bzw. Katalysator eingesetzt, wobei die Position auf dem Substrat und der Durchmesser der Drähte durch die Metall-Nanopartikel bestimmt werden. Weiterhin lassen sich Metall-Nanopartikel als Ätzmaske zur Herstellung von im nm-Maßstab strukturierten Oberflächen unterschiedlichster Materialien, z.B. zur Herstellung von Stempeln für die Nanoimprint-Lithographie einsetzen.

Schwerpunkt des Projektes ist die Ausarbeitung und Optimierung von Prozessen mittels einer alternativen, auf der Herstellung kolloidaler Masken durch Selbstanordnung basierenden Lithographie-technik (Nanosphere Lithography) zur Erzeugung geordneter Arrays von Metall-Nanopartikeln auf verschiedenen Substratoberflächen mit dem Ziel, Größe, Form und Abstand der Partikel im Hinblick auf die o.g. Anwendungen gezielt einstellen zu können.

7.5. Selbstorganisierte Nanostrukturen (SN)

Organic molecules and polymers are frequently able to self-organize, to organize on templates or to organize under the influence of external fields. Such phenomena were successfully studied in Halle in the field of block copolymers, lipids and liquid crystals. Building on this experience and in combination with complementary knowledge available in the other research topics more sophisticated systems containing different material classes will be engineered and investigated.

Oriented microphase structures in block copolymers will be studied with respect to microphase separation in external fields and in confined geometries (alignment, long range order, defects). The resulting structures are of potential interest for applications as:

- templates/scaffolds for ordered inorganic nanostructures with special magnetic, electronic or optical properties,
- chemical or biological nanoreactors, and
- nanoscopically heterogeneous functional polymeric materials, like e.g. ion conducting materials or materials for solar cells.

Inorganic ordered porous materials like etched alumina or silicon are used as a general template for nanostructuring soft materials. These templates provide e.g. the possibility to create polymeric nanorods and nanotubes by wetting processes. Fundamental problems arise in understanding crystallization and microphase separation in these objects. The resulting structures are of potential interest as:

- ferroelectric memories,
- piezoelectric nanoactuators, and
- semiconducting, polymeric nanorods.

Another possibility is to use etched alumina (as discussed in NT) structures to confine proteins in the pores or to deposit proteins on top of the pores. Scientific questions on the dynamics of proteins under confinement and morphology development of proteins on top of alumina membranes need to be addressed.

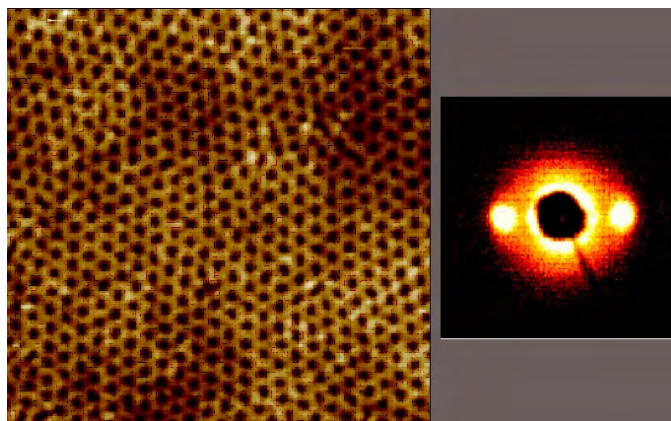


Figure 7.5, from: T. Thurn-Albrecht, J. Schotter, G. A. Kästle, N. Emley, T. Shibauchi, L. Krusin-Elbaum, K. Guarini, C. T. Black, M. T. Tuominen, T. P. Russell,
Ultrahigh-density nanowire arrays grown in self-assembled diblock copolymer templates
Science **290**, 2126 (2000)

Selbstorganisierte Nanostrukturen -Teilprojekt SN 1

Thema: Ultraschnelle Dynamik von inversen Mizellen in nanostrukturierten Flüssigkeiten nach laserinduziertem Temperatursprung

Projektleiter: Gerhard Seifert Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Selbstorganisierte Nanostrukturen in Flüssigkeiten wie (inverse) Mizellen oder Liposomen finden seit gut zwei Jahrzehnten eine zunehmende Vielfalt von Anwendungen in Bereichen wie Materialwissenschaft, Biotechnologie, Pharmazie und anderen. Für die weitergehende technologische Nutzung ist ein elementares Verständnis der dynamischen Prozesse, die sich in solchen Systemen auf molekularer Ebene abspielen, unerlässlich. Das hier beschriebene Projekt befasst sich mit der bisher nur wenig erforschten ultraschnellen Dynamik mizellarer Systeme auf der Zeitskala von Femto- bis Nanosekunden.

Die zeitaufgelösten Untersuchungen mit Hilfe verschiedener Pump-Probe-Techniken auf Basis ultrakurzer Laserimpulse sollen dabei flankiert werden von anderen spektroskopischen Techniken wie IR- und Ramanspektroskopie sowie, in Kooperation mit anderen Projekten des Forschungsclusters, dynamischer Lichtstreuung oder NMR-Spektroskopie zur unabhängigen Bestimmung der Partikelgrößen. Im Mittelpunkt des Projektes sollen zunächst Mikroemulsionen stehen, d.h. stabile ternäre Mischungen, in denen sich wenige Nanometer große, von einer monomolekularen Tensidhülle umgebene Wassertröpfchen (inverse Mizellen) in einer hydrophoben organischen Flüssigkeit befinden. An diesen Systemen soll durch verschiedene Verfahren die Reaktion auf durch Absorption von Pikosekunden-Laserimpulsen ausgelöste Temperatur- und Drucksprünge studiert werden.

Mit dem so erarbeiteten Wissen über das Verhalten gegenüber wohl definierten Nichtgleichgewichtszuständen sollen dann die Grundlagen für mögliche Anwendungen erarbeitet werden wie z.B. den Einsatz der inversen Mizellen als Nanoreaktoren (kontrollierter Ablauf chemischer Reaktionen im Tröpfchen durch gezielte Aktivierung mit ultrakurzen Laserimpulsen) oder die Freisetzung von (pharmazeutischen) Wirkstoffen aus der Mikroemulsion durch Auflösung der Tröpfchen unter Laserbestrahlung.

Selbstorganisierte Nanostrukturen -Teilprojekt SN 2

Thema: Nanostrukturierte Flüssigkristallmaterialien und deren Strukturbildung in niederdimensionalen Systemen

Projektleiter: Carsten Tschierske Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Ute Baumeister Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Martin Steinhart Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

Kurzfassung:

Im Rahmen des beantragten Projektes sollen neue polyphile Blockmoleküle synthetisiert werden, die sich im Bottom-up-Ansatz zu komplexen flüssigkristallinen Nanostrukturen selbstorganisieren. Die erhaltenen Strukturen sollen detailliert charakterisiert und der Einfluß der begrenzenden Geometrie von Nanoporen auf ihre Bildung untersucht werden.

Schließlich soll versucht werden, die im Rahmen des Projektes erhaltenen Strukturen zur Funktionalisierung von Modellmembranen zu verwenden.

Selbstorganisierte Nanostrukturen -Teilprojekt SN 3

Thema: Physikalisch chemische Eigenschaften von Mikroemulsionen als Drug Delivery Systeme

Projektleiter: Alfred Blume Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Reinhard Neubert Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

In dem Projekt sollen die Struktur und die Eigenschaften von Mikroemulsionen als Drug-Delivery-Systeme mit Hilfe physikalisch-chemischer Methoden aufgeklärt werden. Mikroemulsionen aus folgenden biologische verträglichen Tensiden sollen dabei untersucht werden: Fettsäurepolyoxyethylenester, Poloxamere und Alkylpolyglykoside, sowie neue polymere Tenside, die in der Arbeitsgruppe Kreßler synthetisiert werden. Außerdem ist geplant lipophile Vehikel aus folgenden Stoffen zu untersuchen: Isopropylpalmitat, Ölsäure, Myritol 318, Myritol 331, Cetiol B, Cetiol LC.

Als physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden sollen insbesondere die Isothermal Titration Calorimetry (ITC) und die Differential Scanning Calorimetry (DSC) zur Charakterisierung der thermodynamischen Eigenschaften der Mikroemulsionen eingesetzt werden, die vorher mit Hilfe der Rheologie, Polarisationsmikroskopie, und Dynamischen Lichtstreuung untersucht wurden.

Selbstorganisierte Nanostrukturen -Teilprojekt SN 4

Thema: Stimuliresponsive Hydrogele

Projektleiter:	Alfred Blume	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
	Bodo Dobner	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
	Karsten Mäder	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Bipolare Phospholipide mit einer langen Alkylkette (C_{32}) und zwei großen polaren Kopfgruppen bilden bei Kontakt mit Wasser auf Grund des hydrophoben Effektes 5-6 nm dicke Nano-Fibrillen, die zu einem neuartigen Hydrogel führen, dessen Gelverhalten temperaturabhängig ist. Besitzen die Kopfgruppen zusätzlich dissoziationsfähige Protonen, so entsteht ein stimuliresponsives Gel, das außerdem auf Änderungen des pH-Wertes mit verändertem Quellverhaltens reagiert. Ziel des geplanten Vorhabens ist es, die Einflußfaktoren Temperatur, pH-Wert und Ionenstärke auf das Quellverhalten des Bolaphospholipids Dotriacontan-1,1'-diyl-bis[2-(dimethylammonio)ethyl phosphate] ($Me_2PE-C32-Me_2PE$) zu untersuchen. Die Eigenschaften des durch Aggregatbildung entstehenden Hydrogels sollen durch physikalisch-chemische Methoden, wie Neutronen- und Lichtstreuung, Kalorimetrie, IR-, ESR-, NMR- und Fluoreszenzspektroskopie bzw. durch rheologische Messungen aufgeklärt werden.

Durch Synthese eines polymerisierbaren Bolalipids soll außerdem die Möglichkeit geschaffen werden, nach gezielter Einstellung des Hydrogels diesen Zustand durch Polymerisierung der Alkylketten einzufrieren und damit ein stabiles Gel zu erhalten, das nur noch durch Veränderung der Kopfgruppenladung verändert werden kann. Ein Bolalipid mit Phosphatidsäure-Kopfgruppen sollte sich aufgrund seiner deutlich kleineren Kopfgruppen als Nieter zur Stabilisierung von Lipidvesikeln eignen. Die Synthese dieses Bolalipids bietet zudem die Möglichkeit an die Kopfgruppe ESR-Spin-Label, Fluoreszenzlabel, bzw. pharmazeutische Wirkstoffe anzuknüpfen.

Im Rahmen des Projektes sollen ferner neue nanoskalige Arzneistoffträgersysteme auf Basis lipophiler Sucroseester hergestellt und eingehend charakterisiert werden. Pilotuntersuchungen zeigen, dass Sucroseester vorteilhaft als Lipidträgersysteme verwendet werden können. Es ist möglich, durch die Auswahl bestimmter Herstellungsmethoden, die Viskosität der Systeme zu beeinflussen, sie damit zu stabilisieren und so die Freigabekinetik zu optimieren. Mit diesen neuen Systemen sollen bisherige Probleme von festen Lipidnanopartikeln (SLN) auf Triglyceridbasis überwunden und neue Lipidträgersysteme entwickelt werden.

Durch eine umfassende und adäquate physikochemische Charakterisierung soll der gegenwärtig unbefriedigende Kenntnisstand über die Struktur, Dynamik und Einflussfaktoren dieser komplexen Trägersysteme verbessert werden.

Selbstorganisierte Nanostrukturen -Teilprojekt SN 5

Thema: Strukturbildung und Dynamik hydrophob modifizierter Hydroxyethylstärke in Wasser und an Grenzflächen

Projektleiter: Jörg Kreßler Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Karsten Mäder Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Durch teilweise Veresterung von Hydroxyethylstärke (HES) mit verschiedenen Fettsäuren werden amphiphile Makromoleküle erzeugt, die verschiedene Aggregate in wässriger Lösung im Nanometerbereich oberhalb der kritischen Mizellbildungskonzentration (CMC) bilden können. Das Aggregationsverhalten wird mit einer Reihe von Methoden (Dynamische Lichtstreuung, Field Flow Fractionation, Fluoreszenz, Isotherme Titrationskalorimetrie) bestimmt, und die Wechselwirkung mit Grenzflächen, speziell mit Lipid-Monoschichten, werden durch Infrarot-Reflektions- Absorptions-Spektroskopie und Röntgenreflexionsmessungen auf dem Langmuir-Trog im Detail untersucht.

Die Stabilität und Austauschdynamik der Partikel aus hydrophob modifizierter und gelabelter HES in Wasser wird mit Elektronen Spin Resonanz (ESR) Spektroskopie bestimmt. Es sollen Erkenntnisse über den Einsatz der Polymere für biomedizinische und pharmazeutische Zwecke gewonnen werden.

Selbstorganisierte Nanostrukturen -Teilprojekt SN 6

Thema: Kettendynamik und Ordnung bei der Kristallisation in nanostrukturierten Blockcopolymeren

Projektleiter: Kay Saalwächter Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Thomas Thurn-Albrecht Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Das Projekt SN6 behandelt das grundlegende Verständnis der molekularen Vorgänge bei der Kristallisation von Polymeren, die im Kontrast zur etablierten Vorstellung als Einzelkettenprozeß in jüngster Zeit zunehmend als kooperatives Phänomen diskutiert wird. Aufbauend auf aktuellen methodischen Entwicklungen im Bereich Festkörper-NMR und ersten Ergebnissen in Homopolymersystemen soll in diesem Projekt das Kristallisationsverhalten in selbstorganisierten nanostrukturierten, hier lamellaren Blockcopolymeren mit jeweils einem kristallisierbaren Block untersucht werden und mit Messungen an entsprechenden Homopolymeren verglichen werden.

Neben den üblichen polymerphysikalischen Charakterisierungsmethoden (SAXS, WAXS, DSC) werden dazu vor allem Festkörper-NMR-spektroskopische Verfahren eingesetzt, die Informationen über die Kristallinität, die Kristallisationskinetik, die Morphologie (Kristallitdicke) sowie insbesondere die molekulare Dynamik in den Kristalliten, den amorphen Bereichen und im Interface liefern. Gegenstand der Untersuchungen ist Poly(ethylenoxid), PEO, dessen Kristallisation im Bulk und im confinement lamellarer Strukturen von A-b-PEO und A-b-PEO-b-A Di- und Triblocks verglichen werden soll. Besondere Bedeutung kommt dabei der Natur des zweiten Polymerblocks A zu, an dessen Dynamik die Reorganisationsfähigkeit der PEO-Ketten während der Kristallisation gekoppelt ist.

Je nachdem ob A bei der Kristallisationstemperatur von PEO glasig erstarrt oder mobil vorliegt, werden Unterschiede in der Kristallisations- (bzw. Keimbildungs-) Kinetik, der Morphologie und der Dynamik innerhalb der kristallinen und amorphen Bereiche im PEO erwartet, die systematisch erarbeitet werden sollen.

7.6. Nanocomposite (NC)

The formation of precursor-derived nano-ensembles and their direct incorporation in a matrix are the subject of this topic. The resulting systems offer the generation of compositional gradient microstructures and tailored mechanical and electrical properties.

Such composites may form a novel group of molecularly designed functional materials based on the integration of, e.g., individual nanowires and nanotubes into addressable structures. The main tasks are to determine the optimum thermodynamic and kinetic conditions for the related microprocesses and to evaluate the mechanical and electrical properties of the resulting composite materials.

The main emphasis of current research is on the growth of specific nanowires, nanotubes and nanorods with precisely defined ordering structure and morphology. In addition, multiwall nanotube wires offer a great potential for a new class of microcomposite materials with significantly increased toughness compared to brittle matrix materials. Recently, work was performed to transfer the superior mechanical properties of nanotubes into ceramic matrices by dispersion in the green body and subsequent sintering or by in situ formation during firing in a carbon-containing methane atmosphere.

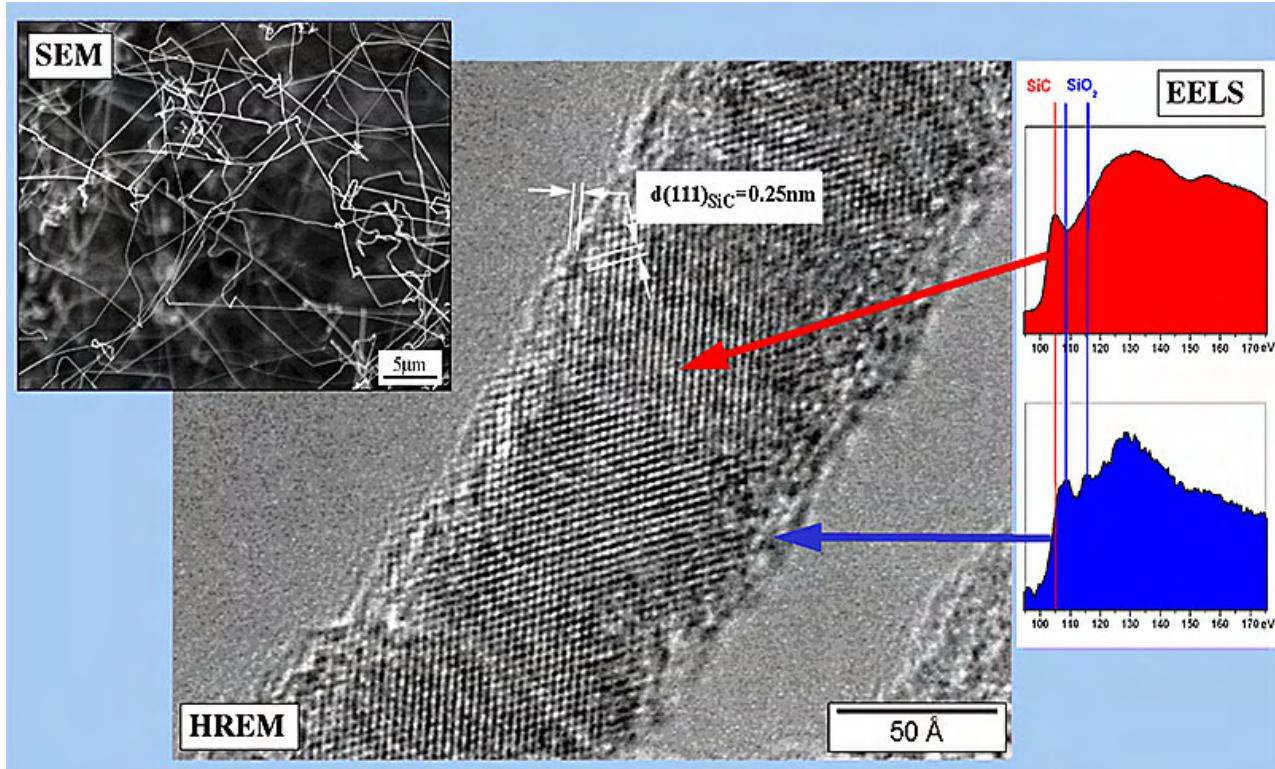


Figure 7.6, from: M. Scheffler, E. Pippel, J. Woltersdorf, P. Greil, **In situ grown SiC-SiO₂ nanocomposite based on pyrolytic transformation of Ni-doped silicon filler loaded poly (methylphenylsilsesquioxane)**, *Mat. Chem. Phys.* **80**, 565 (2003)

Nanocomposite -Teilprojekt NC 1

Thema:	Untersuchungen zum Einfluss des herstellungsbedingten Exfolierungsgrades auf mechanische und bruchmechanische Eigenschaften von thermoplastischen und elastomeren Nanocompositen	
Projektleiter:	Wolfgang Grellmann Katrin Reincke	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Die Aufstellung strukturell begründbarer Morphologie-Eigenschafts-Korrelationen nanostrukturierter Materialien erfordert die Erfassung von quantitativen und qualitativen Strukturgrößen sowie von Materialkenngrößen, die, wie z.B. bruchmechanische Kennwerte, möglichst sensitiv auf Änderungen der erfassten Strukturgrößen reagieren. Hinsichtlich der Strukturausbildung in schichtsilikatverstärkten Nanocompositen spielen Einflussgrößen wie z.B. Verarbeitungsbedingungen oder eingesetzte Modifikatoren eine entscheidende Rolle.

Unter diesem Aspekt sollen systematische mechanische, bruchmechanische und morphologische Untersuchungen an Nanocompositen mit thermoplastischer (PP) und elastomerer Matrix (EDPM) sowie nanoskaligen Füllstoffen (Schichtsilikate, gefällte Kieselsäure) durchgeführt werden. Wichtige Ziele des Projektes sind unter anderem die Charakterisierung des Einflusses des Exfolierungsgrades von schichtartigen Füllstoffen auf die Eigenschaften der resultierenden Nanocomposite, die Optimierung von Festigkeit, Steifigkeit und Zähigkeit derartiger Materialien sowie die quantitative Beschreibung der ablaufenden Mikrodeformationsmechanismen. Die Anwendung von hybriden Methoden der Kunststoffdiagnostik erlaubt weiterhin Aussagen zur Rissausbreitungskinetik in Abhängigkeit von der Mikro- und Nanostruktur.

Nanocomposite -Teilprojekt NC 2

Thema: Modifizierung von Polyethylenblends durch Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Aufklärung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen

Projektleiter: Georg Michler Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Reinhold Godehardt Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Mit dem Ziel, einen positiven Effekt bezüglich der mechanischen Eigenschaften zu erreichen, sollen im beantragten Projekt binäre Polyethylenblends aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE) und Ethylen-Octen-Copolymer (EOC) durch einen geringfügigen Anteil an Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) modifiziert werden. Da HDPE ein Thermoplast mit ausgeprägtem Fließverhalten ist und EOC hingegen typische Elastomereigenschaften aufweist, kann entsprechend dem Gewichtsanteil der Blendkomponenten sowohl das Spannungs-Dehnungs-Verhalten als auch die Morphologie der Blends in gezielter Weise variiert werden.

Somit bietet das Probensystem neben seiner Praxisrelevanz die Möglichkeit, in einer großen Variationsbreite die Eigenschaftsmodifizierung durch CNT zu untersuchen. Es ist ein wichtiges Ziel des Projekts, durch Untersuchungen an speziellen Miniaturprüfkörpern mittels unterschiedlicher Methoden die auf nano- und mikroskaliger Ebene wirksamen Mechanismen für die Ausbildung der mechanischen Eigenschaften aufzudecken, und möglichst vom konkreten Materialsystem ausgehend auch allgemeine Aussagen abzuleiten.

Nanocomposite -Teilprojekt NC 3

Thema:	Fabrikation und Eigenschaften einkomponentiger nanostrukturierter bzw. nanopartikelmodifizierter, kristallisationsfähiger Homopolymere	
Projektleiter:	Hans.Jürgen Radusch Rene Androsch	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kurzfassung:

Die Kristallisationsfähigkeit linearer und flexibler Makromoleküle ist eine optimale Voraussetzung zur Generierung nanostrukturierter polymerer Materialien. Aufgrund kinetischer Hemmnisse erfolgt die Kristallisation von Makromolekülen niemals vollständig, was eine Koexistenz multipler Phasen in einem metastabilen Gleichgewicht zur Folge haben kann. Im einfachsten Modell werden Kristallite an eine amorphe Phase gekoppelt und in diese eingebettet betrachtet. Der Anteil der kristallinen Phase und deren Morphologie werden hierbei sowohl von der Molekülarchitektur als auch den Kristallisationsbedingungen kontrolliert und determinieren alle ultimativen Eigenschaften des Materials. Während der grundlegende Zusammenhang zwischen den Kristallisations- bzw. Keimbildungsbedingungen und der Kristallitmorphologie in Anlehnung an die Erkenntnisse aus der Metallkunde seit vielen Jahrzehnten bekannt ist, besteht gegenwärtig jedoch noch eine bedeutende Erkenntnislücke über die gezielte Einstellung der Morphologie von Polymerkristallen und dessen Effekt auf anwendungsorientierte Eigenschaften.

Insbesondere ist das Kenntnisdefizit groß, wenn es sich dabei um Polymere mit nanopartikulären Füllstoffen handelt, welche die Strukturausbildung durch Beeinflussung der Keimbildungs- und Wachstumsbedingungen essentiell beeinflussen können. Es ist daher das Ziel dieses Forschungsvorhabens, die zur Fabrikation von aus Makromolekülen bestehenden und in Zahl, Größe und Gestalt definierten Nanostrukturen erforderlichen Kristallisationsbedingungen zu evaluieren und anschließend mit modernen werkstoffwissenschaftlichen Methoden zu charakterisieren. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf der kontrollierten Einstellung von Nanostrukturen durch Rekristallisation im festen Zustand nach erfolgter primärer Kristallisation während schneller Abkühlung aus der Schmelze. Darauf aufbauend soll der Einfluss nanopartikulärer Füllstoffe auf die Herausbildung der polymereigenen Nanostrukturen untersucht werden. Dabei werden sowohl partikuläre Nano-Füllstoffe als auch Nano-Schichtsilikate berücksichtigt.

Mit der Durchführung des Forschungsvorhabens sollen einerseits die Grundlagen zur Herstellung einkomponentiger sowie nanopartikelgefüllter Polymermaterialien sowohl mit lamellenförmigen als auch mit globulären Kristalliten definierter Abmessungen im Nanometerbereich und unterschiedlichem Kopplungsgrad an die amorphe Matrix geschaffen sowie der Einfluss von Nano-Füllstoffen auf solchermaßen nanostrukturierte Polymere herausgearbeitet werden.

Das anwendungstechnische Potential als Voraussetzung für eine wirtschaftliche Verwertbarkeit der unterschiedlichen Strukturen wird durch die Analyse des thermisch-mechanischen Verhaltens und dabei insbesondere des Spannungs-Dehnungsverhaltens abgeschätzt.

8. Strukturmaßnahmen

Die Landesfinanzierung ist dabei in erster Linie dazu gedacht, den Schwerpunkt durch Strukturmaßnahmen auszubauen. Eine gezielte Berufungspolitik zur Stärkung des Forschungsschwerpunktes schlägt sich in bereits realisierten Berufungen:

- **W3: Polymerreaktionstechnik**
Gemeinsame Berufung mit dem FhI
Prof. M. Bartke
- **W3: Mikrostrukturbasiertes Materialdesign**
Gemeinsame Berufung mit dem FhI
Prof. R. Wehrspohn

und in vorgezogenen Berufungen (VB)

- **VB I: Nanostrukturierte Materialien** (Ruf an Prof. L. Eng erteilt)
- **VB II: Makromolekulare Chemie** (Ruf an Prof. Binder erteilt)
- **VB III: Anorganische Festkörperchemie** (Vorstellungsvorträge abgeschlossen)
- **VB IV: Quantenfeldtheorie von Vielelektronensystemen** (Ruf von Dr. J. Berakdar angenommen)
- **VB V: Theoretische Polymerphysik** (Nachfolge Prof. Straube, W2, 2008)
- **VB VI: Nanostrukturierte Polymere** (Nachfolge Prof. Michler, W3, 2008)
- **VB VII: Technische Chemie** (W3, 2008)
- **VB VIII: Physikalische Chemie** (Nachfolge Prof. Blume, W3, 2009)

Nieder. Die Bleibeverhandlungen von Herrn Prof. Thomas Thurn-Albrecht, der einen Ruf an die Universität Freiburg erhalten hatte, wurden erfolgreich abgeschlossen. Die Förderung des Forschungsschwerpunktes durch das Land Sachsen-Anhalt ermöglicht es uns, exzellente Wissenschaftler für den Standort Halle zu gewinnen.

9. Nachwuchsgruppen

Weiterhin ist die gezielte Arbeit mit Nachwuchsgruppen (NW) vorgesehen:

- NW I: **Nanodrähte** Dr. Silke Christiansen (besetzt seit dem 01.06.2005)
- NW II: **Nanokristalle** Dr. Nicola Pinna (besetzt vom 01.02.2005-28.02.2006; Berufung auf eine Professur in Portugal)
- NW III: **Quantenchemie** (Ausschreibung)

Nachwuchsgruppen sind eine attraktive Möglichkeit, talentierten wissenschaftlichen Nachwuchs an den Standort Halle zu holen und somit das wissenschaftliche Spektrum zu erweitern.

9.1. Nachwuchsgruppe „Nanodrähte“

Konzeption zur Entwicklung des Forschungsgebietes der **Nachwuchsgruppe ‘Christiansen’** im Exzellenzcluster ‘Nanostrukturierte Materialien’

Elektronik-, Sensor- und Aktorsysteme und die dafür notwendigen High-Tech-Materialien mit speziellen elektrischen, magnetischen, dielektrischen und optischen Eigenschaften werden in den nächsten Jahren weiter an Bedeutung gewinnen. Denn in den verschiedensten Technologiebereichen und in zunehmendem Masse auch in natürlichen Systemen müssen Signale aufgenommen und so gewandelt werden, dass mit ihnen Prozesse erfasst, kontrolliert, beeinflusst und gesteuert werden können.

Die Herstellung und die Verarbeitung der entsprechenden Funktionswerkstoffe erfolgt mit speziellen Technologien, die nur wenig mit den bekannten Technologien für die traditionellen Konstruktionswerkstoffe gemein haben.

Sie erfordern spezielle Syntheseverfahren, die Herstellung extremer Stoffreinheiten, die Züchtung von grob- und insbesondere einkristallinen Werkstoffen, Beschichtungstechniken im Bereich von wenigen Nanometern bis Millimetern, spezielle Verbindungs- und Fügeverfahren, komplexe Bauelementefertigung, wie sie in der Mikro- und Optoelektronik, der Mikrosystemtechnik und Sensorik bekannt sind.

Die Ausbildung von Physikern als Spezialisten für Werkstoffe moderner Querschnitts- oft Nano-Technologien schließt die gesamte Breite der Funktionsmaterialien ein. Es soll in ausgewählten Bereichen Gegenstand der Ausbildung sein, Materialeigenschaften und deren technologische Beeinflussbarkeit, spezielle Werkstofftechnologien sowie Qualitätskontrolle und Werkstoffdiagnostik (Ermittlung von Festkörperstruktur und -eigenschaften), die chemische Analytik in Nano- und Mikrobereichen mit höchster Empfindlichkeit sowie die funktionale Diagnostik von kompletten Werkstoffsystemen, zu vermitteln.

Im Exzellenzcluster ‘Nanostrukturierte Materialien’ in dem Wissenschaftler aus mehreren Fakultäten interdisziplinär zusammenarbeiten stehen gut ausgerüstete Laboratorien zur Verfügung für die Materialsynthese (z.B. Beschichtungstechnik mit chemischen und physikalischen Verfahren,



PD Dr. S.H.
Christiansen

Epitaxie) und Reinigung, die Charakterisierung physikalischer Eigenschaften (z.B. Strukturanalyse mit festkörperphysikalischen, z.B. röntgenographischen und elektronenmikroskopischen Verfahren; elektrische und optische Charakterisierung) und chemische Analytik, sowie zur Nanostrukturierung mit modernen lithographischen Verfahren (z.B. Elektronenstrahlolithographie und Nanoimprintlithographie).

Forschungsprofil – S.H. Christiansen basierend auf laufenden Projekten

Schwerpunkte meiner bisherigen Forschung lagen auf dem Gebiet der Herstellung, Charakterisierung und Optimierung von ‚Advanced Materials‘ der Mikro- und Nanoelektronik, Optoelektronik, Photovoltaik und Sensorik.

Schwerpunkte:

- Halbleiterschichtsysteme mit Heteroepitaxie und direktem Wafer-bonding und Layer Transfer für verschiedene Gebiete der Elektronik und Sensorik (z.B. verspanntes Silizium (sSi) auf SOI, GaN/Saphir, GeOI, InP/Si, sSi/SiGe/Si, multikristallinesSi/Glas, GaAs/Si, ZnO/Si u.a.)
- Nanolithographische Strukturierung (‚Next-Generation-Lithography‘ (NGL)) mit z.B. Elektronenstrahlolithographie (EBL), Nanoimprinttechniken und ‚Focussed Ion Beam‘ (FIB) (z.B. Herstellung von Metallnanotemplaten für das kontrollierte Wachstum von Halbleiternanodrähten) und reaktivem Ionenätzen bzw. selektive isotrope und anisotrope Ätzverfahren
- ‚Top-down‘ meets ‚Bottom-up‘: Kombination von lithographischen Verfahren und selbstorganisierter Synthese von Nanostrukturen (guided self-assembly)
- Integration neuer Materialsysteme und Nanostrukturen in neue Bauelementkonzepte (sSi in FINFETs, Halbleiternanodrähte in der Elektronik und Sensorik, z.B. als künstliche Nasen und künstliche Ohren)
- ‚Strain-Engineering‘ auf Waferlevel und in mikro- und nanostrukturierten Schichtsystemen: Elastische und plastische Relaxation; experimentelle Bestimmung und numerische Simulation von mechanischen Kenngrößen
- Interdisziplinäre Ansätze: Materialherstellung und -optimierung für Anwendungen z.B. in der bio-medizinischen Sensorik

Charakterisierungsmethoden:

- Charakterisierung der Realstruktur von Schichtsystemen und Nanostrukturen mit elektronenmikroskopischen Verfahren [Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), Hochauflösende TEM, Analytische TEM (Elektronenenergieverlustspektroskopie, Analyse energiedispersiver Röntgenstrahlung), Rasterelektronenmikroskopie (REM) mit Orientierungsbestimmung durch Elektronenbeugung (EBSD)]
- Zusammensetzungsanalyse auf der Nanoskala mit elektronenmikroskopischen und röntgenographischen Verfahren
- Mechanische Eigenschaften und Festigkeit von Nanostrukturen: experimentelle Messungen und numerische Simulation mit der Finite-Element-Methode
- Elektrische und optische Eigenschaften von Halbleiter-Nanostrukturen
- Oberflächenanalytik bei Nanostrukturierung mit Rastersondenverfahren und REM

Aktuelle Projekte:

Die von mir derzeit bearbeiteten Projekte (z.T. in Kooperation mit dem MPI Mikrostrukturphysik) sind thematisch auf folgende Gebiete fokussiert:

- Herstellung und Charakterisierung von geordneten, wohldefinierten Halbleiter-Nanodrähten für verschiedenste Anwendungen in der Elektronik und Sensorik.
- Wafer Bonding zur Herstellung von Material und Komponenten/Strukturen für zukünftige Nanoelektronik.
- Herstellung von Nanostrukturen (Halbleiter, Metall, Dielektrika) mit nanolithographischen Verfahren („Next-Generation-Nanolithography“)

TESIN (BMBF, 3 Jahre, bewilligt, 05/2004-05/2007):

Herstellung und Charakterisierung von tetragonal verzerrtem Si für die CMOS Technologie mit AMD, Infineon, Siltronic, Aixtron, IMEC, FZ Jülich

TESIN+ (BMBF, 1 Jahre, bewilligt, 05/2006-05/2007):

Herstellung und Charakterisierung von tetragonal verzerrtem Si für die CMOS Technologie mit AMD, Infineon, Siltronic, Aixtron, IMEC, FZ Jülich

Medea+ (EU) bewilligt:

Herstellung und Charakterisierung von tetragonal verzerrtem Si für die CMOS Technologie mit SOITEC, LETI, Phillips, IMEC, Ivon Joubin, Freescale

1D-NanoSi (DFG, 3 Jahre, bewilligt, 03/2005-03/2008):

Herstellung und Charakterisierung von Si Nanotemplaten und Nanodrähten mit Uni Jena (D), TU-Wien (A), EMPA (CH)

Forschergruppe SiC für Leistungselektronik (in ER und HAL)

(DFG, 3 Jahre, bewilligt, 01/2005-12/2008) :

Herstellung und Charakterisierung von 4H-SiC Material und Bauelement-Strukturen (z.B. Dielektrika auf 4H SiC, Kontakte auf 4H-SiC) mit Physik und WW Uni Erlangen

Strukturelle Charakterisierung von Dünnsfilm-Si/Glas für die

Photovoltaik (BMW-Unterauftrag IPHT-Jena, 2 Jahre, bewilligt, 2004-2005: 20k€):

Elektronenmikroskopie und Analytik an Si/Glasschichten; Kornverteilung und Texturanalyse mit EBSD

Ultra-Si (Land ST, 1 Jahr, bewilligt, 2004/2005):

Herstellung und Charakterisierung von dünnen Si-Wafern und Strukturen für die flexible Elektronik und Bio-medizinische Sensorik mit MPI Mikrostrukturphysik und IWMH der FhG

Transfer von 4'' InP (Industriekooperation mit Freiburger Compound Semiconductors, 2005/2006) :

Schichttransfer von InP auf preisgünstige Unterlagen mit Smart Cut und Wafer Bonding

Exzellenzcluster ‚Nanostruturierte Materialien des Landes Sachsen-Anhalt‘ (2006-2008):

Charakterisierung von lokalen Verzerrungszuständen auf der Nanoskala mit der μ -Ramanspektroskopie und Elektronenmikroskopischen Verfahren [EBSD, konvergente Elektronenbeugung (CBED)]

Exzellenzcluster ‚Nanostruturierte Materialien des Landes Sachsen-Anhalt‘ (2006-2008):

Herstellung, Charakterisierung und Bauelemente-Integration von halbleitenden Nanodrähten

Industrieprojekt mit Infineon Dresden (Vorlaufforschung):

Charakterisierung von lokalen Verzerrungszuständen auf der Nanoskala mit der μ -Ramanspektroskopie und Elektronenmikroskopischen Verfahren [EBSD, konvergente Elektronenbeugung (CBED)]

Industrieprojekt mit Jobin Yvon:

Entwicklung der ‚Nano-Raman-Spektroskopie, für die Festkörperanalytik basierend auf der ‚Tip-Enhanced Raman Spectroscopy‘

Bi-nationales PhD-Projekt mit EMPA/Schweiz:

Herstellung von metallischen und halbleitenden Nanostrukturen mit FIB/FEB und chemischer Gasphasenabscheidung und ihre Charakterisierung

CRYSGAN (BMBF, 3Jahre, bewilligt, 10/2006-10/2009):

Vom freistehenden GaN-Wafer zum gebondeten Schichtsystem

Mitarbeiter

Doktoranden:

Björn Eisenhawer
Ives Ritterhaus

PostDocs:

Vladimir Sivakov
Thomas Stelzner
Rajendra Singh
Cameliu Himchinschi
Andreas Berger
Michael Becker

9.2. Nachwuchsgruppe „Nanopartikel“

Konzeption zur Entwicklung des Forschungsgebietes
der **Nachwuchsgruppe 'Pinna'**
im Exzellenzcluster 'Nanostrukturierte Materialien'

The synthesis of nanoparticles with control over particle size, shape, and crystalline structure has been one of the main objectives in nanochemistry, and yet, this is only the beginning towards the use of these materials in nanotechnology. In a next step, these nanoparticle building blocks have to be arranged into well-defined ensembles and superstructures leading to novel and unique properties that are not found in the individual components.

One of the most promising strategies for the fabrication of hierarchical structures is the use of self-assembly processes. In this context, the crucial step is the proper design of the individual components that organize themselves into desired patterns and functions.

In most cases, self-assembly requires that the building units are mobile and therefore, it takes place in fluid phases or on smooth surfaces.

There is no doubt that adequately tailored surface properties are the fundamental parameter in the design of novel nanobuilding blocks. The surface properties determine the interactions among the components, as well as the solubility and agglomeration behaviour in different solvents, and, thus, decide whether individual nanoparticles are suitable as nanobuilding blocks for the design of nanocomposites or for self-organizing nano devices.

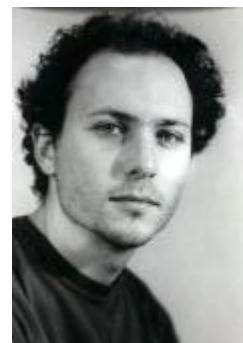
The long term research goal is to develop general concepts for the fabrication of complex architectures, made up of nanocrystalline components that are hierarchically ordered by specific interactions between the nanoparticle building blocks. At the heart of this research is the high scientific and technological interest in general methodologies that make it possible to reproducibly synthesize and process metal oxide nanoparticles into 1-, 2- and 3-dimensional nanostructures over "all" length scales.

We are focussing on three main objectives:

- (1) Synthesis of crystalline metal oxide nanoparticles with appropriate surface functionality,
- (2) Assembly of these nanoscale building blocks into hierarchically organized superstructures and
- (3) Implementation of the expertise gained to fabricate nanodevices.

We are synthesizing oxidic nanoparticles with good control over particle size, shape and crystallinity. This means that the particles are highly crystalline, uniform in shape, and exhibit a small particle size distribution. Furthermore, the surface of the particles will be functionalized with coordinating ligands, mainly by in-situ functionalization during the particle synthesis.

Since the potential applications of oxidic nanostructures are mainly expected in the fields of electrochemistry, electronics, sensing and catalysis, the nanobuilding blocks have to be chosen accordingly. Especially perovskites (BaTiO_3 and $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3,\dots$), conducting oxides (ZnO , SnO_2 , $\text{In}_2\text{O}_3,\dots$) and oxides that were made conducting by the incorporation of dopants and defects (TiO_2 , V_2O_5 , ZrO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , WO_3 , MoO_3,\dots) are promising precursor particles. The assembly of



Dr. Nicola Pinna

the nanoparticle building blocks into hierarchically ordered structures is performed by self-assembly of nanoparticles with specifically functionalized crystal surfaces. This concept is based on the adsorption of polydentate ligands to the surface of the nanoparticles in a crystallographically selective manner leading to differentially functionalized crystal faces. The surface functionalization controls the solubility as well as the assembly behaviour and allows the controlled fabrication of highly complex architectures.

Mitarbeiter

Guylhaine Clavel (PhD student)

Mohamed Karmaoui (PhD student)

Ankush Mane (PhD student)

9.3. Nachwuchsgruppe „Quantenchemie“

An der **Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg** sind zum nächstmöglichen Zeitpunkt folgende Stellen zu besetzen

Leiterin/Leiter einer Nachwuchsgruppe (BAT Ia)

für die Gebiete

Physikalische Chemie flüssigkristalliner Materialien

(Erwartet wird eine innovative Forschung auf dem Gebiet der Charakterisierung von Phasenstrukturen bzw. Materialeigenschaften, der Entwicklung neuer experimenteller Techniken für die Untersuchung oder Anwendungen flüssigkristalliner Materialien in Verbindung mit nanostrukturierten Templaten.)

Theoretische Quantenchemie

(Erwartet wird eine innovative Forschung auf dem Gebiet der ab-initio Beschreibung organischer Moleküle und deren Wechselwirkung mit metallischen, halbleitenden oder oxidischen Oberflächen.)

Die Stellen sind im Forschungsnetzwerk **nanostrukturierte Materialien** angesiedelt und auf einen Zeitraum von 3 Jahren befristet. Gesucht werden promovierte Chemiker/innen und Physiker/innen, möglichst mit internationaler Erfahrung als Postdoktorand/in.

Es wird großer Wert gelegt auf die Fähigkeit zur Kooperation mit den organisch präparativ und materialwissenschaftlich arbeitenden Gruppen der Universität, dem Interdisziplinären Zentrum für Materialwissenschaften, dem Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und dem Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik.

Eine angemessene Beteiligung in der Lehre und an Aufgaben im Rahmen der akademischen Selbstverwaltung ist erwünscht.

Jede der beiden Nachwuchsgruppen ist ausgestattet mit zwei Stellen für wissenschaftliche Mitarbeiter (Doktorandenstellen).

Die Hochschule ist bestrebt, den Frauenanteil auch beim wissenschaftlichen Personal zu erhöhen und bittet qualifizierte Frauen nachdrücklich, sich zu bewerben. Bewerbungen von Schwerbehinderten werden bei gleicher Eignung bevorzugt berücksichtigt.

Bewerbungen mit Lebenslauf, Darstellung des wissenschaftlichen Werdeganges und der bisherigen Lehrtätigkeit sowie Schriftenverzeichnis werden (auch in elektronischer Form) bis zum **30. Dezember 2006** erbeten an

**Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Dekan des Fachbereiches Chemie und Physik
06099 Halle**

10. IMPRS

10.1. Übersicht Graduiertenförderung

Finanzierung von 6 Doktoranden in der IMPRS durch das Land Sachsen-Anhalt:

- Kritische Dynamik ferroelektrischer und ferromagnetischer Nanomaterialien (Trimper)
- Strukturierung metallpartikelhaltiger Gläser mittels starker elektrischer Felder (Graener)
- Strukturbestimmung organischer Ankergruppen auf Übergangsmetalloxiden mittels Elektronenbeugung (Schindler/Widdra)
- Manipulation von Spinpolarisation und Austauschwechselwirkung in Nanostrukturen durch Quantenconfinement (Hergert/Stepanyuk)
- Dynamik von Gasen und Flüssigkeiten in Nanoporen in mesoporösem Glas (Krause-Rehberg/Enke)
- Struktur und Transport durch metallische Nanokontakte (Mertig/Stepanyuk)

10.2. Finanzierungskonzept

Ergänzungsfinanzierung des Landes Sachsen-Anhalt
**International Max Planck Research School for
Science and Technology of Nanostructures**
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

10.2.1. Einleitung

Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist von elementarer Bedeutung für die Zukunft von Wissenschaft, Forschung und Innovation in Deutschland. Seit einigen Jahren hat die Max-Planck-Gesellschaft deshalb „International Max Planck Research Schools“ (IMPRS) eingerichtet. Diese Schulen sollen helfen, die Ausbildung hochqualifizierter Nachwuchswissenschaftler in enger Kooperation mit in- und ausländischen Universitäten zu verbessern. Diese Initiative, die gemeinsam mit der Hochschulrektorenkonferenz gestartet wurde, bietet besonders begabten deutschen und ausländischen Studentinnen und Studenten die Möglichkeit, sich im

Rahmen einer strukturierten Ausbildung unter exzellenten Forschungsbedingungen auf die Promotionsprüfung vorzubereiten.

Die IMPRS sind Zentren wissenschaftlicher Exzellenz auf innovativen und interdisziplinären Forschungsgebieten. Im Wintersemester 2000/2001 gingen die ersten gemeinsamen Research Schools an den Start - als Kooperationen von Max-Planck-Instituten und deutschen, zum Teil auch ausländischen Universitäten und anderen Forschungsinstitutionen.

Die IMPRS sind ein Angebot für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die zwischen dem ersten berufsqualifizierenden Abschluss und der Promotion stehen. Sie streben an, durch ein erstklassiges, interdisziplinäres Ausbildungsangebot, wissenschaftliche Schwerpunktbildung, thematische Verzahnung der einzelnen Promotionen und durch die enge Zusammenarbeit von Doktoranden und ihrer Betreuer einen wissenschaftlichen Mehrwert zu erzeugen.

Ein Schwerpunkt liegt auf der internationalen Zusammenarbeit: Die Research Schools wollen insbesondere ausländische Bewerberinnen und Bewerber für eine Promotion in Deutschland gewinnen, sie mit den Forschungseinrichtungen vertraut machen und ihr Interesse für eine spätere Tätigkeit in oder Kooperation mit deutschen Forschungsinstituten wecken. Die Hälfte der Studentinnen und Studenten soll daher aus dem Ausland kommen. Die Promotionsprüfung legen sie wahlweise an einer deutschen oder an ihrer Heimatuniversität ab.

Es wurden bereits 28 International Max Planck Research Schools initiiert¹, an denen 34 Max-Planck-Institute und entsprechend viele Universitäten beteiligt sind. Die Partner finanzieren die Research Schools, teilweise unter Einwerbung von Drittmitteln.

Eine wissenschaftliche Kommission der Max-Planck-Gesellschaft und der Hochschulrektorenkonferenz hat alle Vorhaben geprüft. Die Research Schools sind zunächst für eine Dauer von sechs Jahren eingerichtet; nach vier Jahren werden sie evaluiert. Auf Basis der Empfehlungen der Kommission ist eine Verlängerung um sechs Jahre möglich. Weitere International Max Planck Research Schools sind in den nächsten Jahren geplant - ein Beitrag, Nachwuchstalente vermehrt zu fördern und den Forschungsstandort Deutschland zu stärken.

Im September 2003 beantragten das MPI für Mikrostrukturphysik Halle und die Martin-Luther-Universität die Einrichtung einer International Max Planck Research School in Halle mit dem Titel **„International Max Planck Research School for Science and Technology of Nanostructures“**. Eine Reihe von Gutachtern sprach sich sehr positiv zum gestellten Antrag aus, so dass im Herbst 2004 ein modifizierter Antrag genehmigt wurde. Der offizielle Förderbeginn dieser IMPRS ist der erste April 2005. Ein Koordinator wird seine Arbeit bereits früher aufnehmen.

Diese Schule ist ein gemeinsames Ausbildungsprogramm, das aus einer Zusammenarbeit zwischen der Martin-Luther-Universität, dem Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik und dem Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle resultiert. Die IMPRS bietet ausländischen wie deutschen Studenten eine umfangreiche Ausbildung auf den Gebieten Nanowissenschaften und Nanotechnologie mit dem Ziel der Doktorarbeit an. Die Expertise der beteiligten Partner stellt einen hohen Ausbildungsstandard in einem interdisziplinären Forschungsumfeld sicher. Erfolgreiche Bewerber werden in den Genuss einer engen Einbindung in laufende Forschungsvorhaben kommen und dabei vielseitige Aspekte wie elektronische, magnetische und optische Eigenschaften auf der Nanoskala, Spinelektronik, Nanokontakte und Synthese von Nanostrukturen kennenlernen.

Theoretische und experimentelle Aspekte der Forschungsarbeiten werden im Curriculum behandelt werden. Es werden sich experimentelle und theoretische Forschergruppen des MPI für Mikrostrukturphysik Halle, der Martin-Luther-Universität Halle und des Fraunhofer Institutes für Werkstoffmechanik Halle an der Schule beteiligen.

¹ <http://www.mpg.de/instituteProjekteEinrichtungen/schoolauswahl/index.html>

10.2.2. Schwerpunkte des Lehrprogramms

Das die Forschungsarbeit der Doktoranden begleitende Lehrprogramm sieht im Einzelnen folgendes vor

- Grundkurs Festkörperphysik (6 Semester, 2 SWh)
- Ringvorlesung “Nanostrukturen” (6 Semester, 1 SWh)
- jährlicher IMPRS-Workshop (1 Woche im Jahr)
- Laborpraktikum (4 Semester, 1 Woche pro Semester)

Es wird außerdem ein Montorensystem eingerichtet, um eine optimale soziale Integration und eine intensivere Betreuung zu gewährleisten. Es werden weltweite anerkannte Spezialisten auf dem Gebiet der Nano-Physik und -Technologie zu Vorlesungen und Kolloquien eingeladen.

10.2.3. Forschungsthematik der IMPRS

Die Nanotechnologie entwickelt sich immer deutlicher zur Schlüsseltechnologie der nächsten Jahrzehnte. Die genehmigte “International Max Planck School for Science and Technology of Nanostructures” in Halle kombiniert das Wissen und die Fähigkeiten der am Standort Halle aktiven und ausgewiesenen Forschergruppen auf dem Gebiet nanostrukturierter Materialien. An der aufzubauenden Schule werden neue Techniken zur Synthese und Modifizierung von Nanostrukturen entwickelt und optimiert (Themen A1-A4; Liste der Themen s. nachfolgende Tabelle).

Solche Strukturen werden dann durch innovative physikalische Techniken analysiert (Themen B1-B5), so dass eine Optimierung der strukturellen und physikalischen Eigenschaften erfolgen kann. Diese Arbeiten werden durch theoretische Simulationen und Rechnungen begleitet (Themen C1-C4).

Dadurch wird ein Synergieeffekt erwartet, der der Fortführung der Forschungsaktivitäten, aber vor allem auch der Entwicklung der Lehre auf diesem innovativen und schnell expandierendem Gebiet dienlich sein wird. Das Ziel ist, die vorhandene Kompetenz auf dem Gebiet der nanostrukturierten Synthese, der Analyse von Nanostrukturen und deren theoretische Beschreibung zu bündeln, um eine bisher einmalige Schule für wissenschaftliche und technologische Entwicklung von Nanostrukturen aufzubauen.

Die Nanotechnologie benötigt, wie kaum ein anderes Gebiet die Interdisziplinärität der experimentellen und theoretischen Methoden. Die beteiligten Studenten werden daher in einem breiten Feld modernster Materialforschung tätig werden, wobei durch geeignete Maßnahmen der Austausch insbesondere zwischen experimentellen Gruppen und der Theorie gesichert wird.

Nr	Betreuer	M P I	M L U	F h G	Titel
<u>A1</u>	<u>R. Krause-Rehberg</u>		x		<u>Gettern von Verunreinigungen durch Nano-Voids in Silizium</u>
<u>A2</u>	<u>U. Gösele</u> <u>A. Heilmann</u>	x		x	<u>Poröses Ti als biokompatible Schichten auf Ti-Implantaten</u>
<u>A3</u>	<u>U. Gösele</u>	x			<u>Synthese von Nano-Drähten</u>

	<u>M. Zacharias</u>				
<u>A4</u>	<u>H. Schneider</u> <u>G. Hempel</u>		x		<u>Charakterisierung der molekularen Struktur von Backbones von flüssig-kristallinen Polymeren</u>
<u>B1</u>	<u>J. Kirschner</u> <u>W. Kuch</u>	x			<u>Elektronische und strukturelle Eigenschaften von magnetischen nanoskaligen Systemen</u>
<u>B2</u>	<u>H.-R. Höche,</u> <u>H. Leipner</u>		x		<u>Strukturelle Charakterisierung von nanoskopischen Objekten mit EELS und diffuser Röntgenstreuung</u>
<u>B3</u>	<u>H. Graener</u> <u>J. Lange</u>		x		<u>Nichtlineare optische Eigenschaften von Nanoteilchen in Dielektrika</u>
<u>B4</u>	<u>W. Widdra</u> <u>K.-M. Schindler</u>		x		<u>Atomare Struktur In nanoskaligen Systemen</u>
<u>B5</u>	<u>J. Kirschner</u> <u>W. Wulfhekel</u>	x			<u>Selbstorganisiertes Wachstum und Charakterisierung von magnetischen Nanostrukturen</u>
<u>C1</u>	<u>P. Bruno</u> <u>L. Sandratskii</u>	x			<u>First-principle Material Design für halbleitende Spin-Electronic Bauelemente</u>
<u>C2</u>	<u>I. Mertig</u> <u>W. Hergert</u> <u>V. Stepanyuk</u>	x	x		<u>Struktur, Magnetismus and Transport in Nano-Kontakten</u>
<u>C3</u>	<u>P. Bruno</u> <u>J. Berakdar</u>	x			<u>Transport und elektronische Eigenschaften von metallischen Nanoteilchen in Terahertz-Laser Feldern</u>
<u>C4</u>	<u>S. Trimper</u>		x		<u>Kritische Dynamik von dünnen ferroelektrischen Filmen</u>

10.2.4. Finanzierung der IMPRS

Die folgende Tabelle zeigt die von der MPG für die Zeit von April 2005 bis März 2011 zur Verfügung gestellten Ressourcen. Im genehmigten Antrag läuft die Finanzierung ab dem 6. Jahr aus. Allerdings ist geplant, nach einer Evaluation der Schule im vierten Jahr einen Fortsetzungsantrag für weitere sechs Jahre zu stellen.

Jahr	Doktoranden (Anzahl) T€	Bachelors (Anzahl) T€	Koordinator ggfs. weitere Personalkosten T€	Sachmittel z.B. Reisekosten und Sonstiges T€	Gesamtsumme T€
1	(4,5) 90	-	65 ^{**})	16	171
2	(9) 180	-	65	30	275
3	(12,25) 245	-	65	33	343
4	(13) 260	-	65	36	361
5	(10) 200	-	65	31	296
6	(6,75) 135	-	65	27	227
7	(1,5) 30	-	16	8	54
Summe	(57) 1140	-	406	181	1727

Damit ergibt sich eine langfristige Perspektive für die Ausbildung von Doktoranden am Forschungsstandort Halle, wobei sich das Thema sehr gut in den Forschungsschwerpunkt Materialwissenschaften der Universität einordnet. Außerdem erwarten wir durch das im Moment im Aufbau befindliche TGZ III mit dem integrierten „Technikum nanostrukturierter Materialien langfristige Impulse und eine bilaterale Stimulation der Forschungstätigkeit.

10.2.5. Beantragte Mittel

Obwohl der Hauptanteil der notwendigen Ressourcen für die IMPRS durch die Max-Planck-Gesellschaft zur Verfügung gestellt wird, müssen doch die anderen beteiligten Partner Anteile übernehmen. Neben den in der Tabelle genannten Doktorandenzahlen werden weitere Studenten in die Schule integriert (ca. 10-15 weitere ständige Doktoranden), die aus anderen Quellen finanziert werden müssen. Diese Stellen sind fester Bestandteil des genehmigten Antrages und machen daher eine Realisierung erforderlich.

Wir beantragen daher, im Rahmen der Förderung des Schwerpunktes „Nanostrukturierte Materialien“ der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg im Hinblick auf die IMPRS 6 Doktorandenstellen inklusive Reisekosten und Verbrauchsmaterial zunächst für die Zeit vom 01.07.2005-30.06.2007 (siehe AZA-Vorlage) generell aber für die Laufzeit der IMPRS zur Verfügung zu stellen. Damit werden das Land Sachsen-Anhalt und die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg seiner Verantwortung für eine exzellente Graduiertenförderung gerecht.

11. Projektorientierte Förderung

Siehe: Band 2, „Projektorientierte Förderung“

12. Forschungsprofile

Siehe: Band 3, „Forschungsprofile“

