

NANOTECHNOLOGIE

Informationstechnik



Spitzenforschung an NRW-Universitäten

Spitzenforschung an NRW-Universitäten



Prof. Dr. Heinrich Kurz
AMO GmbH
Institut für Halbleitertechnik,
RWTH Aachen



Dipl.-Kff. Maike Meyer,
Geschäftsstelle
NRW-NanoCluster
für Informationstechnik

Spaltet man ein Frauenhaar etwa 50.000-mal hintereinander, erreicht man den Bereich von Nanometern (10^{-9}m). In dieser Dimension verlässt man in der Festkörperphysik die Gesetze des Kontinuums und tritt in die granulare Struktur von Atomen und Molekülen ein. Werden Komponenten von elektronischen, optischen und chemischen Bauteilen auf diese Skala verkleinert, treten in den meisten Fällen überraschend neue Effekte auf, die für die zukünftige Entwicklung der Informationstechnik revolutionäre Wege beschreiten lassen. Neben diesem revolutionären Ansatz gibt es jedoch auch eine evolutionäre Entwicklung von bestehenden Bauelementen der Informationstechnik, die auf der ständigen Verkleinerung der heute verwendeten Strukturen beruht. Dieser evolutionäre Ansatz bringt in vielen Fällen eine deutliche Verbesserung der Leistungsmerkmale von elektronischen Prozessoren, Speicherelementen, optischen Schaltelementen und Biosensoren.

„Universitäten entfalten Dynamik“

In der Wissenschaft wurden bereits vor über zehn Jahren diese Potenziale der Nanotechnologie erkannt. Neue Dimensionen in der Informationstechnik, neue Perspektiven in den Lebenswissenschaften und attraktive Lösungsansätze für umweltschonende Verfahren zur Erzeugung und Speicherung regenerativer Energien konnten mit großer Sicherheit vorausgesagt werden. Die Universitäten haben diese Entwicklung von Anfang an aktiv begleitet und stellen heute ein Cluster dar, das eher unbemerkt von der Öffentlichkeit eine beachtli-

che Dynamik entfaltet. Eine Reihe wissenschaftlich-technischer Durchbrüche in den universitären Forschungszentren präzisierte die Möglichkeiten der Nanotechnologie für die Informationstechnik. Aufgrund eines stark zunehmenden Medieninteresses ist die Nanotechnologie heute in aller Munde, aber auch großen Verzerrungen zwischen Anspruch und Wirklichkeit ausgesetzt. Eine nüchterne Bestandsaufnahme der aktuellen Potenziale der Nanotechnologie, wie sie durch die Forschung an NRW-Universitäten sichtbar werden, ist daher dringend geboten.

Die Informationstechnik ist heute die stärkste wirtschaftliche Kraft und bestimmt noch immer in entscheidendem Maße die Entwicklung von hoch industrialisierten Zonen und die Zyklen in der Wirtschaftskraft. Neue Funktionalitäten und verbesserte Produkteigenschaften, die durch die Nanotechnologie mit Sicherheit in allernächster Zeit zu erwarten sind, werden die weitere Entwicklung der Informationstechnik deutlich beschleunigen und damit im globalen Wettbewerb um zukünftige Märkte entscheidende Vorteile bieten. Die Informationstechnik ist darüber hinaus auch die erste Branche, in der industriell nutzbare Prozesse der Nanotechnologie in großem Umfang bereits heute zum Einsatz kommen. Die zukünftige Entwicklung ist durch sorgfältige Betrachtung aller Potenziale, die in weltweiten Gremien erfolgt, bereits klar vorgezeichnet. In wenigen Jahren wird die kritische Dimension von nanoelektronischen Transistoren bei 65 und 45 nm liegen. Damit werden nicht nur die

Taktrate von Logikbausteinen in den oberen Gigahertzbereich getrieben, sondern auch die Speicherdichte elektronischer Medien in einem kaum vorstellbaren Maße erhöht.

„Den Herausforderungen gerecht werden“

Die Nanotechnologie spielt aber auch über die eigentliche Informationstechnik hinaus für die Entwicklung hocheffizienter Brennstoffzellen und photovoltaischer Elemente eine entscheidende Rolle. Die Prozesstechnik, die heute bereits für kommende Nanotransistoren entwickelt wurde, ist auch für die Herstellung hocheffizienter Solarzellen und energiespeichernder Elemente geeignet. Die pharmazeutische Wirkstoffforschung wird mit einer Reihe von neuen Konzepten in der Biosensorik, die ebenfalls durch die Nanotechnologie entscheidend bestimmt sind, eine beachtliche Beschleunigung erfahren.

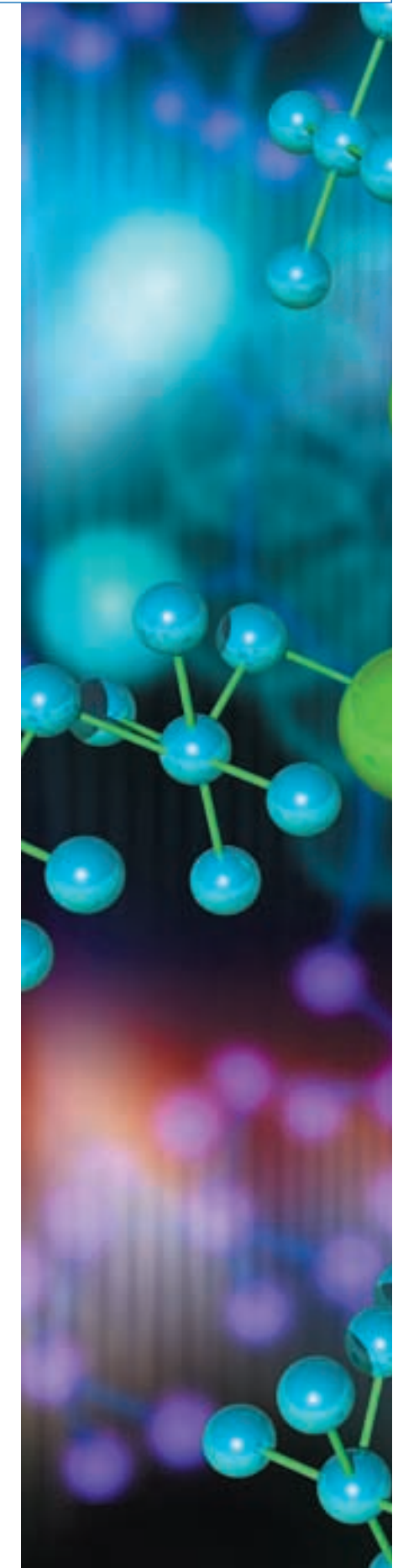
In NRW sind zurzeit elf universitäre Gruppen mit hohem wissenschaftlichem Erfolg auf dem Gebiet der Nanotechnologie für Informationstechnik tätig. In den meisten Universitäten haben sich interfakultative Zentren oder Clubs gegründet, um in Forschung und Lehre den Herausforderungen der Nanotechnologie gerecht zu werden, und eine breite Entwicklungsbasis für den Standort Deutschland zu sichern.

Die vorliegende Broschüre stellt in einer Übersicht diese Gruppen und ihre Schwerpunkte vor. Die wissenschaftliche Kompetenz wird mit konkreten Beispielen aus der Forschung













untermauert. Diese Projekte und Profile beweisen überzeugend, dass an den Universitäten in NRW ein dichtes Exzellenznetzwerk aus hochrangigen Forschern bereits seit Jahren auf dem Gebiet der Nanotechnologie sehr erfolgreich tätig ist, und auch nach internationalen Maßstäben einen beachtlichen Stand erreicht hat. An den Universitäten in NRW ist offenbar genügend Potenzial vorhanden, so dass diese auf dem Gebiet der Nanotechnologie bei ausreichender Förderung einen internationalen Spitzenplatz einnehmen können.

Prof. Dr. Heinrich Kurz,
Geschäftsführender Gesellschafter
AMO GmbH
Institut für Halbleitertechnik,
RWTH Aachen

Dipl.-Kff. Maike Meyer,
Geschäftsstelle
NRW-NanoCluster
für Informationstechnik



Inhalt

	Einleitung	2 - 3			Münster	27 - 29
	Prof. Dr. Heinrich Kurz, Dipl.-Kff. Maike Meyer AMO GmbH				<ul style="list-style-type: none"> ◦ Systeme für die Nanoelektronik ◦ Magnetoelektronik auf der Nanometerskala 	
	AMO/Aachen	6 - 8			Paderborn	30 - 32
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Nanoelektronik: Schnelle, energiesparende Nano-Schalter ◦ UV-Nanoimprint: Kostengünstige Lithographie für die Nanotechnologie 				<ul style="list-style-type: none"> ◦ Selbstorganisierte Nanostrukturen ◦ Photonische Kristalle 	
	Aachen	9 - 11			Siegen	33 - 35
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Nanoelektronische Bauelemente als Speicher der Zukunft ◦ Spinelektronik und Spin-Quanten-Informationsverarbeitung 				<ul style="list-style-type: none"> ◦ Lab-on-Microchip ◦ Nano-Optik: Einzelmolekülspektroskopie 	
	Bielefeld	12 - 14			Wuppertal	36 - 38
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Neue Materialien und Konzepte für die Mikroelektronik ◦ Neue Technologien zur Detektion, Adressierung, Manipulation und Schaltung einzelner Biomoleküle 				<ul style="list-style-type: none"> ◦ Thermische Rastersondenmikroskopie ◦ Nanostrukturierte Polymermaterialien 	
	Bochum	15 - 17			Die Entwicklung	39 - 40
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Elektronische und photonische Eigenschaften selbstorganisierter InAs-Quantenpunkte ◦ Organische Feldeffekt-Transistoren 				Entwicklung der Nanotechnologie an NRW-Universitäten	
	Bonn	18 - 20			Glossar	41 - 42
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Nanopinsel baut Strukturen auf ◦ Maßgeschneiderte Kristalle fürs Internet 					
	Dortmund	21 - 23			Impressum	43
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Untersuchung von Nanostrukturen am Elektronenspeicherring DELTA ◦ Quantenphysikalische Phänomene in Nanostrukturen 					
	Duisburg /Essen	24 - 26				
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Spin unter Kontrolle, ◦ Ballistische Elektronen 					



AMO GmbH/AMICA Nanolabor für Informationstechnik

Das "Advanced Microelectronic Center Aachen" (AMICA) wurde von der gemeinnützigen AMO GmbH als Nanotechnologie-Labor konzipiert und hat seit der Gründung 1997 den Schwerpunkt Nanoelektronik und -photonik. Eingebettet in die Ingenieurwissenschaften der RWTH ist AMICA bemüht, als Pfadfinder aus der Fülle an Ergebnissen der Grundlagenforschung die Potenziale der Nanotechnologie für die Informationstechnik zu identifizieren und zeitnah in industriell nutzbare Produktionsprozesse umzusetzen. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt zurzeit auf dem Gebiet der Nanolithographie und der Herstellung elektronischer und photonischer Bauelemente. Damit werden, neben weiterer Steigerung der Prozessorleistung und Speicherdichte von Computern sowie der Integration von Prozessor- und Speicherfunktionen, neue Funktionalitäten möglich: Applikationsfelder

für Halbleiterchips entstehen, die das Vorstellungsvermögen übertreffen. Bestimmt wird die Nanoelektronik durch die Elektronenstrahl-Lithographie und optisch induzierte Prägetechniken, die in AMICA intensiv eingesetzt werden. Darüberhinaus werden Potenziale für Anwendungen im Bereich "Life Science" und Energietechnik überprüft. AMICA entwickelt Methoden zur Früherkennung innovativer Technologien an interdisziplinären Kreuzungspunkten. Auf europäischer Ebene ist AMICA in einer Reihe von Netzwerken (NoE's) und integrierten Projekten (IP's) aktiv.

Das Themengebiet:

"Computer werden stets schneller und billiger." Diese einfache, für den Konsumenten angenehme Faustregel beruht auf dem Erfolg der Silizium-Halbleiterindustrie, die Herstellungskosten für Chips trotz steigender Anzahl an Transistoren pro Chip auf demselben Niveau zu halten. Die beeindruckende Tatsache, dass auf jedem Chip bis zu 100 Mio. einzelne Schalter (MOS-Transistoren) gleichzeitig mit hoher Präzision hergestellt werden, lässt die Produktionskosten für die Siliziumscheibe (Wafer) stets gleich bleiben, ungeachtet wie viele Transistoren oder Chips sie besitzt. Gelingt es, die Größe der einzelnen Transistoren zu verringern, können mehr Transistoren pro Fläche zu etwa gleichen Kosten gefertigt werden. Dieser Trend zur Miniaturisierung stößt nun an mehrere physikalische Grenzen. Ein wesentliches Problem: Ein Transistor mit immer kleineren Strukturen kann kaum mehr funktionssicher für digitale Anwendungen betrieben werden. Dieser wirkt wie eine Tür, die im geschlossenen Zustand möglichst keinen Strom, bei offener Tür jedoch maximalen Strom fließen lässt. Je kleiner der Schalter, umso problematischer ist es, die Tür ausreichend geschlossen zu halten und dann für den ungehinderten Stromfluss ganz zu öffnen. Die thermische Belastung bei Schaltvorgängen führt schnell zu einer Überhitzung der Nanoelemente.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Durch den gezielten Einsatz spezieller Nanotechnologie-Prozesse ist es gelungen, das "Tor" (Gate), welches die Nano-Schalter ein- und ausschaltet nicht mehr nur planar - d.h. von einer Seite auf den Strom im Transistor -, wirken zu lassen, sondern zusätzlich von zwei Seiten. Ein solcher Triple-Gate Transistor ist stark vergrößert in Abb.1 dargestellt. Man erkennt, wie sich das Gate um die Leiterbahnen des Transistors herumwindet. So wird ein wesentlich besseres Abschaltverhalten des Transistors erzielt. Auch wenn das Gate noch weiter auf 10 Nanometer (das entspricht etwa einem Zehntausendstel des Durchmessers eines menschlichen Haares) verkleinert wird, kann der Strom noch um acht Größenordnungen kontrolliert werden. Dies bedeutet, dass die MOS-Technologie noch viele, bis in das Jahr 2020 reichende Generationen von Computerchips bestimmen wird.

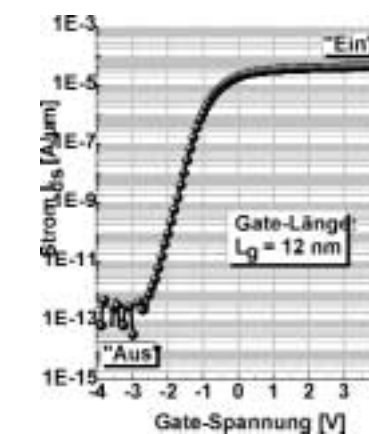


Abb.3:
Schaltverhalten eines 12 nm Transistors.

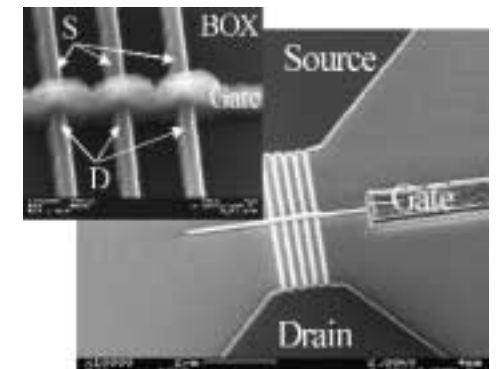


Abb.1:
REM-Aufnahme eines Triple-Gate-Transistors (unteres Bild 5.000-fache Vergrößerung, oberes Bild 20.000-fache Vergrößerung).

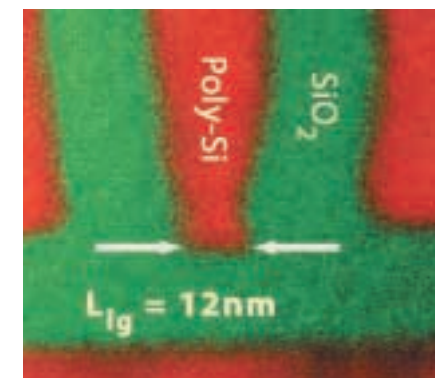


Abb.2:
TEM-Aufnahme des inneren Transistors mit einer Gatelänge von 12 nm.

Referenz

M. Lemme, T. Mollenhauer, W. Henschel, T. Wahlbrink, M. Baus, O. Winkler, B. Spangenberg, H. Kurz, "Subthreshold behavior of triple-gate MOSFETs on SOI Material", Solid State Electronics, Vol. 48, Issue 4, pp. 529-534, 2004.



Kontakt:
AMO GmbH
Huyskensweg 25
52074 Aachen
amo@amo.de

Ansprechpartner:
Dipl.-Ing. Christian Moormann
moormann@amo.de
Dr. Max Lemme
lemme@amo.de

Weblink:
www.amo.de

Ansprechpartner für
dieses Projekt sind:

Dr. Max Lemme
lemme@amo.de
Dr. Thorsten Wahlbrink
wahlbrink@amo.de

www.amo.de/nanoelectronics.html

UV-Nanoimprint: Kostengünstige Lithographie für die Nanotechnologie

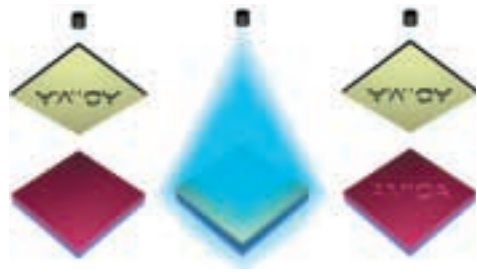


Abb.1:
Prozessablauf beim UV-Nanoimprint: Der gläserne Prägestempel wird in eine, auf das Siliziumsubstrat aufgetragene, flüssige Lackschicht gepresst. Anschließend wird der Lack mittels UV-Bestrahlung durch den Stempel ausgehärtet und am Ende der Prozesskette entfernt.

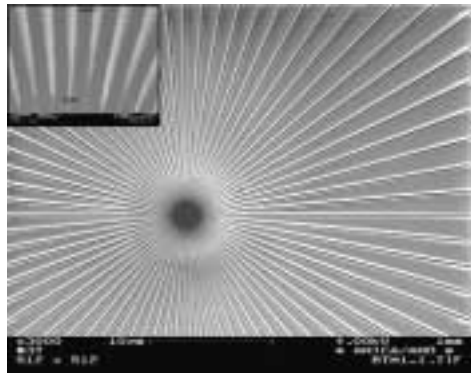


Abb.2:
REM-Aufnahmen von Nanostrukturen übertragen in Siliziumsubstrat. Sternförmig aufeinander zulaufende Linien können bis auf 8 nm reproduziert werden (großes Bild 1.400-fache Vergrößerung, kleines Bild 20.000-fache Vergrößerung).

Das Themengebiet:

Spezielle Substrukturen von elektronischen und optischen Bauelementen können dank der Nanotechnologie immer kleiner und komplizierter ausgelegt werden. Damit wird die Frage nach der Umsetzung der Nanotechnologie in industrielle Produkte auch eine Frage nach Verfahren zur kontrollierten Strukturierung von Oberflächen mit minimalen Dimensionen von weniger als 50 nm. Dabei sollten diese kleinen Strukturen nicht nur mit derselben Präzision reproduziert werden, sondern auch in ihren minimalen Größen flexibel gehandhabt werden können. Damit wird es möglich, eine möglichst große Anzahl von Prozessen bei geringen Anschaffungs- und Betriebskosten von Anlagen für verschiedene Anwendungen einzusetzen. Besonders attraktiv in dieser Hinsicht ist ein mechanisches Prägeverfahren, das UV-Nanoimprint. Eine dünne, flüssige Lackschicht wird auf die Oberfläche des Siliziumsubstrates aufgebracht. Diese formt nach Kontakt mit der strukturierten Oberfläche eines Prägestempels dessen Muster maßstabsgetreu ab und wird vor der Entfernung des Stempels unter Einstrahlung von UV-Licht verhärtet (Abb. 1), um das Relief zu erhalten. Der Prägestempel kann anschließend für weitere Prägezyklen verwendet werden. Auf dieser Kopiertechnik im Nanomaßstab beruht im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Mit Hilfe des UV-Nanoimprints (UV-NIL) können bereits heute in AMICA parallel liegende Strukturen über einer Fläche von $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$ mit Dimensionen kleiner als 10 nm abgebildet werden. Man überträgt diese Strukturen mittels einer Ätztechnik in Siliziumsubstrate. Bei diesem Verfahren liegt die Auflösungsgrenze zurzeit bei 10 nm und ist in erster Linie durch die Ungenauigkeit, mit der die Prägestempel hergestellt werden können, limitiert. In Abb. 2 ist diese Hochauflösung durch eine Rasterelektronenmikroskopieaufnahme demonstriert. Ohne sichtbare Degradierung oder zwischenzeitliche Reinigung können die auf diese Weise hergestellten Stempel mehr als 1000-mal eingesetzt werden. Damit ist die Prozesstechnik des UV-Nanoimprint so weit ausgereift, dass zusammen mit Geräteherstellern die ersten Prototypen von UV-NIL-Anlagen entwickelt werden können.

Referenz:
"Large scale UV-based Nanoimprint lithography", B. Vratzov, A. Fuchs, M. Lemme, W. Henschel, H. Kurz, Journal of Vacuum Science & Technology, Vo. 21, Issue 6, pp. 2760-2764, 2003.

www.amo.de/amica/nanoimprint.html

Dipl.-Ing. Andreas Fuchs
fuchs@amo.de
Dr. Markus Bender
bender@amo.de

Ansprechpartner für dieses Projekt sind:



Universität Aachen Fachbereich Nanotechnologie

Die Zusammenarbeit in Sachen Nanotechnologie wird an der RWTH Aachen groß geschrieben: Seit Februar 2002 sind dort die Kompetenzen von 40 Arbeitsgruppen aus fünf Fakultäten im NanoClub gebündelt. Zu den Themenschwerpunkten mit Blickrichtung auf die Informationstechnologie zählen insbesondere die Forschung an zeitlich stabilen Computerarbeitspeichern sowie die Miniaturisierung von Schaltern und Verstärkern von Strömen bis hinunter in den Bereich weniger Nanometer. Auch gänzlich neue Konzepte der Informationsverarbeitung werden untersucht. Dabei könnten die um sich selbst rotierenden Elektronen mit ihrem Spin zukünftig die Rolle herkömmlicher Bits übertreffen. Winzige Nanopartikel und sogar einzelne Moleküle sind für die NanoClub-Forscher von Interesse, weil sie in der Sensorik bzw. Nanoelektronik eingesetzt werden sollen.

Über die Vernetzung hinaus baut der NanoClub eine effiziente Plattform für regionale, Landes-, Bundes- und Europa-Aktivitäten auf. Die Zusammenarbeit mit verschiedenen außeruniversitären Einrichtungen wie dem Nanotechnologie-Labor AMICA in Aachen und dem Forschungszentrum Jülich dient der verstärkten Schwerpunktbildung sowohl innerhalb der Region als auch im Land NRW.

Die Nähe zu den Ingenieursfakultäten sorgt in Aachen für eine kompetente Umsetzung des Grundlagenwissens, das innerhalb des NanoClubs erworben wird.



Kontakt:

RWTH-NanoClub
Prof. Dr. Gernot Güntherodt
gernot.guentherodt@physik.rwth-aachen.de
Dr. Marion E. Franke
nanoclub@rwth-aachen.de
II. Physikalisches Institut
Physikzentrum Seffent-Melaten
Huyskensweg
52074 Aachen

Weblink:

www.nanoclub.rwth-aachen.de

Nanoelektronische Bauelemente als Speicher der Zukunft



Abb.1a:
Querschnitt durch eine
Nanodot-Speicherzelle.

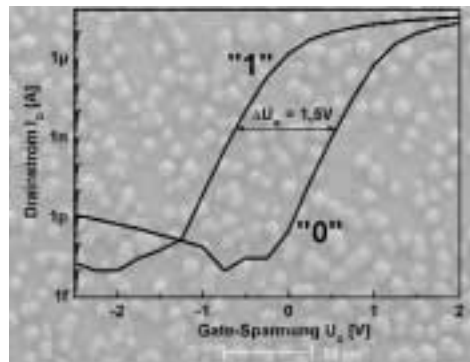


Abb.1b:
Übertragungskennlinien eines
MOSFET's für be- („0“) und
entladene („1“) Nanodots.
Der Ladungsunterschied jedes einzel-
nen Dots beträgt hier vier Elektronen.

Das Themengebiet:

Der Multimedia- und Kommunikationsbereich benötigt elektronische Speicherchips z. B. für Handys, Digitalkameras und MP3-Player. Diese sollen es gestatten, die Information auch ohne Versorgungsspannung zu erhalten, mehrfach zu löschen bzw. zu überschreiben. Um diesen Anforderungen nachzukommen, wird der zukünftige Einsatz von Nanodot-Speichern als Nachfolger für die bislang verwendeten Flash-Speicher prognostiziert, da durch die Informationsspeicherung in punktförmigen Nanostrukturen die Funktionsfähigkeit nichtflüchtiger Datenspeicher wesentlich verbessert wird.

Die elementare Speicherzelle dieser Nanodot-Speicher basiert auf dem in der Digitaltechnik sehr häufig verwendeten Feldeffekttransistor (FET) und ist in Abb.1a dargestellt. Die Information wird in Form von elektrischen Ladungen (Elektronen) auf vielen kleinen Silizium-Nanodots abgelegt, die im isolierenden Gate-Oxid des Transistors eingebettet sind. Durch elektrisches Be- und Entladen der Nanodots kann sie mehrfach gelöscht und wiederbeschrieben werden. Durch den Transistor kann die Information jederzeit ausgelesen werden.

Am Institut für Halbleitertechnik (IHT) der RWTH-Aachen forscht man derzeit an einem neuen Verfahren zur Herstellung zukünftiger Speicherzellen.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Mit Hilfe des in Aachen entwickelten Verfahrens wird es möglich, winzige, voneinander isolierte Nanodots durch Selbstorganisation aus Silizium als Speicher-Inseln zu deponieren. Der Durchmesser dieser Dots beträgt nur 5-10 nm, ihre Dichte beträgt $4 \cdot 10^{11}$ Dots pro cm^2 . Ca. 10 Millionen dieser Dots fänden auf der Querschnittsfläche eines menschlichen Haares Platz (s. Abb.2). Sollte in dieser Nano-Speicherkonfiguration eine lokale Degradation in der umgebenden Isolatorschicht auftreten, würde sich nicht die komplette Speicherzelle entladen, sondern nur die partielle Ladung einzelner Nanodots verloren gehen. Da in jeder Speicherzelle extrem viele dieser Nanodots angeordnet sind, fällt der Verlust weniger nicht ins Gewicht. Die Funktionsweise des entwickelten Nanodot-Speichers ist somit wesentlich robuster und zuverlässiger als bei bisherigen Speicherbausteinen.

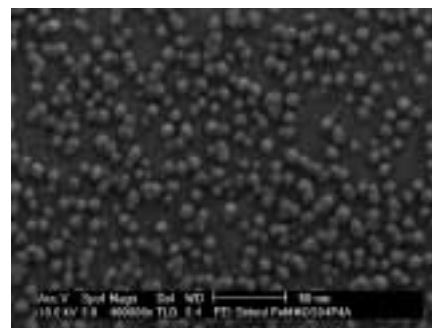


Abb.2:
Aufnahme von abgeschiedenen
Silizium-Nanodots
(200.000-fache Vergrößerung).

Spinelektronik und Spin-Quanten-Informationsverarbeitung

Das Themengebiet:

In der modernen Informationstechnologie erfolgt die Informationsverarbeitung durch Halbleitertransistoren in integrierten Schaltungen auf Silizium-Basis und die Informationsspeicherung in magnetischen Materialien auf Eisen-Basis mit höchster Speicherdichte (Festplatten). In der Spinelektronik werden Halbleiter mit Ferromagneten kombiniert, um kleinere und schnellere elektronische Bauelemente mit zusätzlichen Funktionen zu entwickeln, die neben der Ladung des Elektrons auch seinen quantenmechanischen Spin ausnutzen. Der Spin eignet sich auch als Speichereinheit (Quanten-Bit oder QuBit) für die Quanten-Informationsverarbeitung (Quantencomputer).

Im Konzept des Spinelektronik-Feldeffekt-Transistors (Spin-FET) sind Quelle und Senke ferromagnetisch (Abb. 1). Aus der Quelle werden spinpolarisierte Elektronen in den Halbleiterkanal injiziert. Diese Spins fließen in die Senke, wenn sie diese unverändert erreichen (a). Eine am Gate angelegte Spannung ruft ein magnetisches Feld hervor, das die Spins der Elektronen rotieren lässt. Nun passen sie nicht mehr zur Orientierung der Magnetisierung in der Senke (b). Der Strom der Elektronenspins wird blockiert, was weniger Energie und Zeit kostet als im konventionellen FET, bei dem die Elektronen durch ein elektrisches Feld aus dem Kanal herausgedrängt werden.

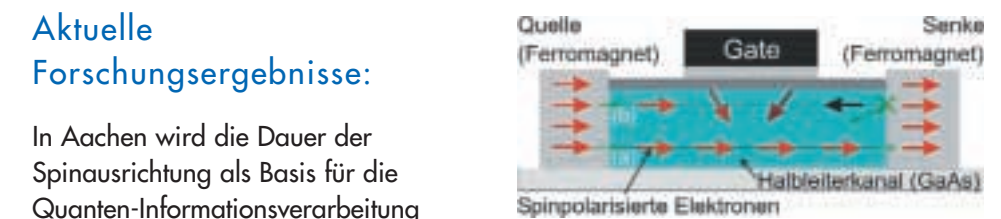


Abb.1:
Querschnitt eines Spintransistors.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

In Aachen wird die Dauer der Spinausrichtung als Basis für die Quanten-Informationsverarbeitung untersucht. Spinlebensdauern von über einer Mikrosekunde (1 Million mal länger als für die Ladungen) konnten im Halbleiter Gallium-Arsenid nachgewiesen werden. Die Quantenkohärenz der Elektronenspins (Präzession aller Spins im Gleichtakt) kann durch die Koppelung mit den Spins der schweren Atomkerne kontrolliert und manipuliert werden. Die Überlagerung von kohärenten Präzessionszuständen gekoppelter und ungekoppelter Elektronenspins ergibt so genannte Quantenschwebungen (QuBits). Die Änderung der zirkularen Lichtpolarisation bei der optischen Anregung (Pumpen) der Spins erlaubt die Kontrolle der QuBits. Für das Rechnen mit QuBits sollen künftig kohärente Elektronenspins in benachbarten Halbleiter-Nanodots genutzt werden, deren Koppelung bzw. Überlagerung zu QuBits durch elektrische Gate-Spannungen kontrolliert werden.

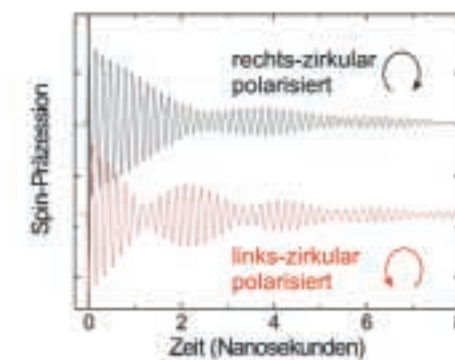


Abb.2:
Quantenschwebungen (QuBits)
von kohärenten Präzessionszuständen
der Elektronenspins im Halbleiter
Gallium-Arsenid, kontrollierbar
durch die zirkuläre Lichtpolarisation.

Universität Bielefeld Fachbereich Nanotechnologie

An der Universität Bielefeld wurde durch die Zusammenarbeit der Physik mit der Biologie und Chemie der Forschungsschwerpunkt Nanowissenschaften und Biophysik etabliert. Es handelt sich dabei um ein spannendes Forschungsfeld, das praxisnah und interdisziplinär arbeitet. Schwerpunkte sind Informationstechnologien und Life Sciences. Im neu gegründeten "Bielefeld Institute for Biophysics and Nanoscience" (BINAS) kooperieren derzeit folgende Forschungsbereiche miteinander: die "Experimentelle Biophysik und Angewandte Nanowissenschaften" (Dario Anselmetti), die "Physik supramolekularer Systeme" (Armin Gölzhäuser), die "Molekül- und Oberflächenphysik" (Ulrich Heinzmann), "Dünne Schichten und Nanostrukturen" (Günter Reiss) und die "Angewandte Laserphysik und -spektroskopie" (Markus Sauer). Nanowissenschaften und Biophysik

gehören zu IT-relevanten Forschungsfeldern, in denen klassische Disziplinengrenzen überwunden werden müssen. Im BINAS sind enge Kooperationen mit der Biologie, der Chemie, der Technischen Fakultät (Gentechnologie und Bioinformatik) sowie der Industrie geplant. Die größten IT-relevanten Teilgebiete sind die Magneto- und Spinelektronik, also die Nutzung des Elektronenspins für nichtflüchtige Speichertechnologien. Außerdem werden neue Konzepte für Prozessorarchitekturen und Sensoren behandelt.



Kontakt:

Prof. Dr. Günter Reiss
reiss@physik.uni-bielefeld.de
Universitätsstraße 25
33615 Bielefeld

Weblink:

www.physik.uni-bielefeld.de

Neue Materialien und Konzepte für die Mikroelektronik

Das Themengebiet:

Für die Nano-Lithographie werden an der Universität Bielefeld ultradünne Schichtsysteme entwickelt, die Röntgenlicht effektiv reflektieren. Ein Beispiel dafür ist in der Abb.1 zu sehen. Aufgrund der kurzen Wellenlänge können die Forscher mit dieser Reflexionslithographie laterale Nanostrukturen großflächig erzeugen. Die so genannte EUVL ist der aussichtsreichste Kandidat für künftige Lithographieverfahren bis zu Abmessungen um 20 nm. Solche Nanostrukturen können zum Beispiel magnetische Tunnelemente mit zwei ferromagnetischen Elektroden sein. Für parallele und antiparallele Magnetisierungsrichtungen nimmt der elektrische Widerstand des Elementes aufgrund des quantenmechanischen Tunneleffektes zwei definierte Werte an (beschrieben in Abb.2) – das Element kann als Speicher für eine Informationseinheit dienen. Die Marktreife dieses so genannten MRAM ("magnetic random access memory") ist für das Jahr 2005 angekündigt. Darüber hinaus können die westfälischen Wissenschaftler mit dieser Technologie auch programmierbare Logik-Schaltkreise und Sensoren realisieren – die Vision einer gemeinsamen Basistechnologie für Anwendungen in Rechnern, Kommunikationsgeräten und intelligenten Sensorsystemen (wie zum Beispiel "handheld Biochips") treibt diese Entwicklungen weltweit voran.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Die "figure of merit" für Röntgenspiegel ist die hohe Reflektivität nahe am theoretischen Maximum, gekoppelt mit lateraler Homogenität auch auf gekrümmten Substraten. In Bielefeld werden derzeit 68 Prozent Reflektivität für Mo/Si Multilag (50 Perioden mit einer Dicke von 6.6 nm) erreicht. Lateral strukturiert werden die Röntgenspiegel entweder durch Beschichtung eines vorstrukturierten Substrats oder durch nachträgliches reaktives Ionenätzen (Abb.1). Magnetische Tunnelemente werden derzeit mit Widerstandsänderungen bis zu 86 Prozent bei tiefen Temperaturen beherrscht. Die Herstellung erfolgt hier durch Kathodenzerstäubung und Elektronenstrahlolithographie, sowie durch neue ultragenauere Oxidationsverfahren für die Tunnelbarrieren (Abb.2). Zudem werden auch neue Anwendungen in Kooperation mit der Industrie vorangetrieben - zum Beispiel eine programmierbare Logikschaltung.

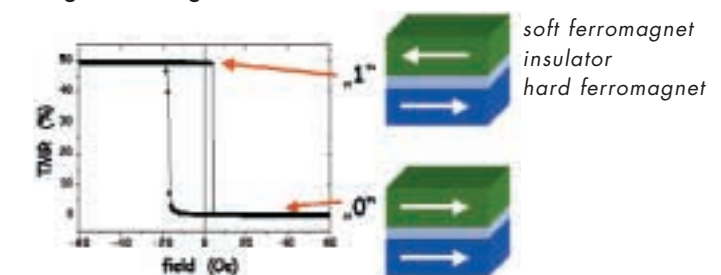


Abb.2: Magnetische Tunnelemente bestehen aus zwei magnetischen Metallelektroden, die durch eine isolierende Barriere getrennt sind. Alle Schichtdicken müssen mit der Genauigkeit mindestens einer Atomlage realisiert sein. In lateral strukturierten Elementen lassen sich dann aufgrund des quantenmechanischen Tunneleffektes zwei definierte Widerstandswerte für parallele und antiparallele Magnetisierungsrichtungen realisieren.

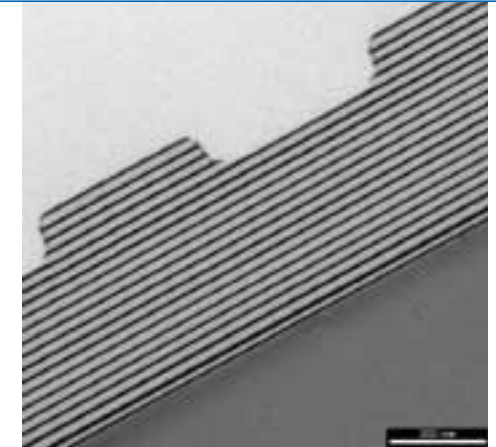


Abb.1: Ein elektronenmikroskopischer Querschnitt durch einen so genannten EUVL-Röntgenspiegel für die Nano-Lithographie. Die einzelnen Schichten sind wenige nm dick. Sowohl die Dicke als auch die Rauigkeit muss auf großen Flächen mit atomarer Präzision kontrollierbar sein.

Ansprechpartner
für dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Günter Reiss
reiss@physik.uni-bielefeld.de

www.physik.uni-bielefeld.de

Neue Technologien zur Detektion, Adressierung, Manipulation und Schaltung einzelner Biomoleküle

Das Themengebiet:

Erforscht werden neue Technologien zur Detektion, Adressierung, Manipulation und Schaltung einzelner Biomoleküle, die in die Entwicklung neuer höchstempfindlicher, bioanalytischer Detektionsverfahren und diagnostischer Systeme für Molekularbiologie und Biomedizin einfließen. Dies stellt die Grundlage für zukünftige Anwendungen in der biomolekularen Informationsverarbeitung auf der Basis von Adressierung, Speicherung, Transport und Schalten einzelner Moleküle dar. Mit mikroskopischen und spektroskopischen Verfahren können einzelne Molekülpaaire als kleinste biomolekulare Informationseinheiten (Rezeptor-Ligand, Antigen-Antikörper) vom gebundenen in den ungebundenen Zustand geschaltet und manipuliert werden. Transport, Verteilung und Steuerung in Netzwerken von flüssigkeitsgefüllten Kanälen mit Abmessungen im Mikrometer- und Nanometerbereich bedeutet ebenfalls die Verarbeitung von biomolekularen Informationseinheiten. Dies gilt insbesondere, da die makromolekularen Objekte ja selber noch biologische Informationen enthalten. Zusätzlich werden neue Methoden und Verfahren entwickelt, um extrem hohe Datenspeicherdichten in organischen und anorganischen Dünnschicht-Systemen durch lateralstrukturierende Lithographieverfahren und molekulare Selbstorganisationsprozesse herzustellen.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Einzelne (biologische) Moleküle können in nanophysikalischen Experimenten mit der Präzision von Atomdurchmessern nachgewiesen und manipuliert werden. Sie lassen sich gezielt schalten – zum Beispiel vom gebundenen in den ungebundenen Zustand –, und stellen biomolekulare Informationseinheiten dar. Experimentell wird dies mit Hilfe höchstauflösender Rasterkraftmikroskopie in Flüssigkeiten realisiert (Abb. 1). Einzelne DNA-Moleküle bewegen sich durch strukturierte Nanokanäle und können transportiert bzw. einzeln als biologische Informationseinheiten gesteuert werden ("Lab-on-a-Chip"). Die Kanalstrukturen werden dabei durch optische Lithographieverfahren erzeugt. Die Manipulation erfolgt durch elektrische Felder (Abb. 2). Durch die präzise Herstellung von Informationseinheiten bei höchster Speicherdichte herstellen.

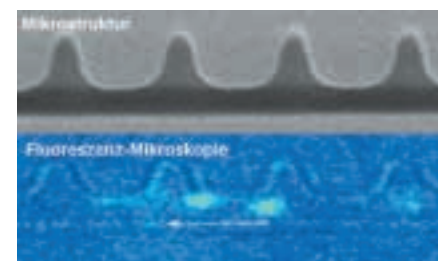


Abb.2: 'Lab-on-a-Chip': Einzelne DNA-Moleküle bewegen sich durch strukturierte Nanokanäle und können transportiert sowie einzeln als biologische Informationseinheiten gesteuert werden.

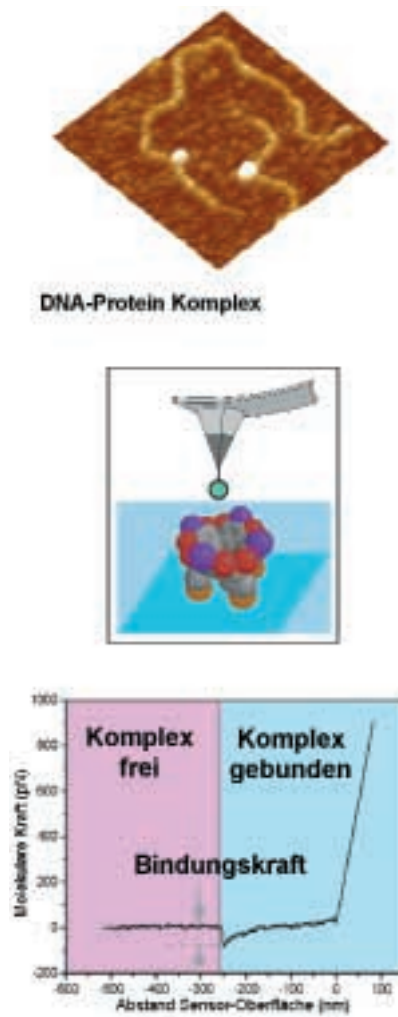


Abb.1: DNA-Protein Komplex.



Universität Bochum Fachbereich Nanotechnologie

Das NanoCenter der Ruhr-Universität Bochum wurde im Jahr 2002 als „Center of Excellence Nanostrukturen und Nanomaterialien“ durch eine Vereinbarung mit dem NRW-Wissenschaftsministerium eingerichtet. Ziel ist es, interdisziplinäre Forschung und den wissenschaftlichen Nachwuchs auf dem Gebiet der Nanostrukturwissenschaften zu fördern. Das größte Forschungsgebiet - die auf Informationstechnik bezogene Nanotechnologie -, umfasst Projekte mit Wissenschaftlern aus den Fakultäten Chemie, Elektrotechnik und Physik. Schwerpunkte liegen auf folgenden Themen: "Herstellung funktionaler Nanostrukturen durch Selbstorganisation (bottom-up) und durch Nanolithographie (top-down)". Hier werden durch Abscheidung im Ultrahochvakuum, aus der Dampfphase oder durch Aufschleudern halbleitende und metallische Nanostrukturen präpariert. Diese werden

zum Teil in Bauelemente implementiert, oder durch Lithographie nanoskaliger Strukturen in Halbleiteroberflächen übertragen. Ein weiteres Forschungsfeld sind "Halbleiter-Nanostrukturen und neuartige Bauelemente". Untersucht werden Strukturen zur elektrischen und optischen Manipulation des Quantentransports. Beim Thema "Magnetische Heteroschichten und Spintronics-Strukturen" geht es um die Erschließung des Elektronenspins für Bauelement-Funktionen und zur Informationsspeicherung.



Kontakt:

Prof. Dr. Ulrich Kunze
ulrich.kunze@rub.de
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
44780 Bochum

Weblink:

www.nanocenter.rub.de

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Dario Anselmetti,
dario.anselmetti@physik.uni-bielefeld.de

www.physik.uni-bielefeld.de

Elektronische und photonische Eigenschaften selbstorganisierter InAs-Quantenpunkte

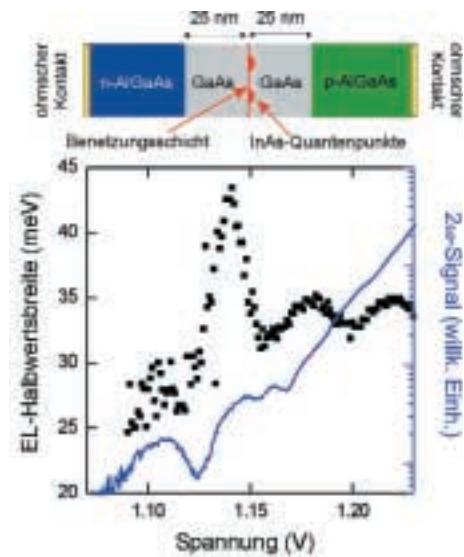


Abb. 1: Eine Doppelheteropinj-Diode erlaubt es, durch Kombination von Elektrolumineszenz (EL-Halbwertsbreite: Quadrate) und elektronischem Transport (2w-Signal, Krümmung der Strom-Spannungs-Kennlinie: Linie) die Wechselwirkung zwischen Elektronensystem und Lochsystem zu studieren.

Abb. 2: Das sukzessive Laden der Quantenpunkte mit Löchern wird mit Hilfe einer Schottky-Diode mit eingebetteten QPn und einem hochdotierten p-Rückkontakt untersucht. Aus den Spannungspositionen der Kapazitätsresonanzen und ihrer Abhängigkeit von der Isolatorstärke f_2 werden die Coulomb-Blockade-Energie des Lochgrundzustands sowie die Lochbindungsenergie bestimmt.

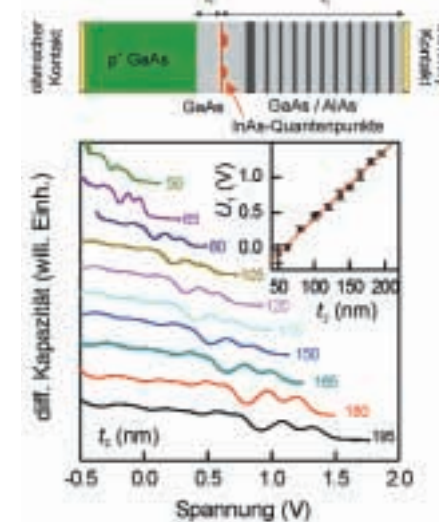
Das Themengebiet:

Selbstorganisierte InAs-Quantenpunkte (QPe), die sich als Inseln z.B. in einer Schicht eines Lasers bilden, stellen nulldimensionale elektronische Modellsysteme dar, deren Quanteneffekte fundamental interessant sind. So werden von zahlreichen Gruppen an der Ruhr-Universität die Coulomb-Blockade, die Niveaulstruktur (sie ähnelt derjenigen eines Atoms), der "Quantum-Confined-Stark-Effekt" und die optischen Übergangsenergien der InAs-Quantenpunkte eingehend untersucht. Ein umfassendes Verständnis ihrer elektronischen Eigenschaften ist eine unbedingte Voraussetzung dafür, dass die Effekte der Quantenpunkte z.B. in innovativen Speichern, Elektromotoren, elektrooptischen Modulatoren, Photodetektoren und neuartigen Lasern angewendet werden können. Durch den Einbau von QPn in die aktive Zone konnten bisher bereits temperaturstabilere 1,3 μm Telekommunikationslaser mit sehr niedrigem Schwellstrom realisiert werden. Für die Bochumer Forscher ist es absehbar, dass QPe bald in Hochleistungslasern das Strahlprofil verbessern werden. Außerdem erlauben QPe große Verstärkungsbandbreiten bei spektral abstimmbaren Laserdioden. Schließlich sind sie ein wichtiges Hilfsmittel bei der Realisierung von breitbandigen Superlumineszenzdiolen für Anwendungen in der biomedizinischen Bildgebung.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Das selbstorganisierte Wachstum von InAs-Quantenpunkten wird zwar seit über einem Jahrzehnt beherrscht - dennoch ist es Wissenschaftlern bisher nicht gelungen, ein detailliertes Modell ihrer elektronischen Struktur zu gewinnen. Dafür gibt es vor allem zwei Gründe: Einerseits lassen sich aus den strukturellen Parametern die Energieeigenwerte nicht zuverlässig berechnen. Und andererseits erlauben es die unterschiedlichen praktizierten Wachstumsbedingungen bisher nicht, Ergebnisse verschiedener Gruppen zu vergleichen. Nach großen Erfolgen in der Beschreibung des Elektronensystems der Inseln gilt das Lochsystem immer noch als „terra incognita“. Den Forschern der Ruhr-Universität Bochum ist es nun erstmals gelungen, die Coulomb-Blockade-Energie des Lochgrundzustands sowie die Lochbindungsenergie mit einem nicht-thermischen Verfahren zu bestimmen.

Abb. 2



Organische Feldeffekt-Transistoren

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Für die Herstellung von organischen Feldeffekt-Transistoren (OFETs) haben die Bochumer Forscher das Material Pentacen ($\text{C}_{22}\text{H}_{14}$) wegen seiner hohen Ladungsträgerbeweglichkeit ausgewählt. Während auf amorphen Oxidsubstraten (z.B. SiO_2) nur polykristalline Filme aufwachsen, können auf einkristallinen Metall-Oberflächen hochgeordnete, kristalline Pentacen-Filme durch UHV-Deposition abgeschieden werden. So gelingt ein detailliertes Studium der molekularen Nahordnung. Es lässt sich feststellen, dass diese von der Dicke der Schicht sowie von der elektronischen Wechselwirkung an Metall-Organik-Kontakten abhängig ist. Als kritisch hat sich bei den Experimenten die Tendenz dickerer Filme zur Aufrauung und Inselbildung erwiesen. Die Wissenschaftler beeinflussen diese Entwicklung jedoch zum Teil durch monomolekulare Zwischenschichten.

Abb. 2

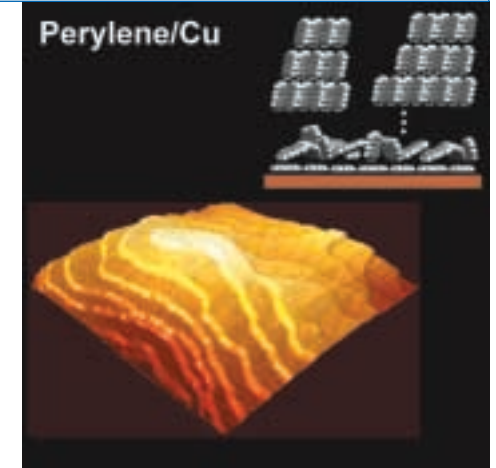
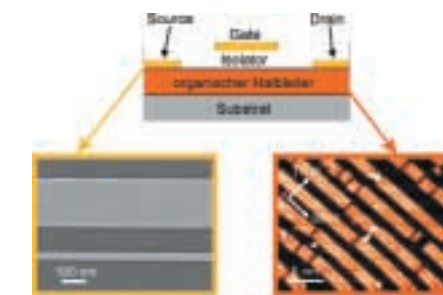


Abb. 1: Morphologie einer dünnen auf Kupfer aufgewachsenen Schicht aus dem organischen Halbleiter Pentacen ($\text{C}_{22}\text{H}_{14}$, Abbildung mittels Rasterkraftmikroskop $1.5\mu\text{m} \times 1.5\mu\text{m}$), zusammen mit einer schematischen Darstellung der molekularen Mikrostruktur.

Abb. 2: OFETs bestehen wie ihre anorganischen Vorbilder aus dem leitenden Kanal, hier aus organischem Material, den Stromkontakten Source und Drain und einer isolierten Gate-Elektrode (oben). Kurze und breite Kanäle verbessern die Performance, dazu werden parallele Metallstreifen mit geringen Abständen benötigt (REM-Aufnahme unten links). Entscheidend für die Funktion ist ein hochgeordneter organischer Film, hier aus Pentacen-Molekülen (STM-Bild unten rechts).

Universität Bonn Fachbereich Nanotechnologie

Auf dem Feld der photonischen Kristalle liegt der Schwerpunkt der nanotechnologischen Forschung an der Universität Bonn. Das 21. Jahrhundert soll das Jahrhundert des Photons werden: Die Möglichkeit, mit Hilfe der Lichtteilchen Daten über optische Glasfasernetze zu übertragen, macht das Internet erst so schnell. In Zukunft sollen noch größere Datenmengen bei höherer Bandbreite übertragen werden. So kann zum Beispiel jeder Haushalt nach Wunsch an ein Video on Demand-System mit Breitband-TV-Verbindungen angeschlossen werden. Die Voraussetzungen hierfür werden am Institut für Angewandte Physik der Uni Bonn erforscht, man erhofft sich eine Miniaturisierung der Optik bis in den Nanobereich. Als Technologie der Zukunft entwickeln die Wissenschaftler winzige optische Filter, die aus photonischen Kristallen bestehen. Sie sollen in der Lage sein,

viele verschiedene Lichtfarben in die bereits im Boden verlegten Glasfaserkabel einzuspeisen und beim jeweiligen Kunden wieder herauszufiltern. Mit dieser Aufgabenstellung sind verschiedene Arbeitsgruppen beschäftigt, sie entwickeln unter anderem metallische photonische Kristalle für die Filteranwendung bei optischen Netzen oder einen atomaren Nano-Pinsel für das Schreiben von Nanostrukturen. Die enge Nähe zur Anwendung repräsentiert der Bonner Heinrich-Hertz-Stiftungslehrstuhl der Telekom AG am Physikalischen Institut.



Kontakt:

Prof. Dr. Harald Gießen
giessen@uni-bonn.de
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Institut für Angewandte Physik
Wegeler Straße 8
53115 Bonn

Weblinks:

www.iap.uni-bonn.de
www.kbuse.de
www.condmat.uni-bonn.de

Nanopinsel baut Strukturen auf

Das Themengebiet:

Bevor ein photonischer Kristall das Licht leiten und filtern kann, stellen sich die Bonner Wissenschaftler die Frage, wie sie ihm am besten die dafür passende Struktur verleihen. Dabei gibt es zwei Ansätze. Die klassische Version lautet, dass man versucht, ein Material mit Löchern, Gräben und anderen Strukturen zu versehen, um ihm dadurch neue, funktionelle Eigenschaften zu verleihen. Bei dieser so genannten "top-down"-Strukturierung werden die vielfach erprobten Möglichkeiten der Mikro- und Nanotechnologie verwendet, die man auch bei der Chipherstellung nutzt. Der zweite, weitaus neuere Ansatz besteht darin, dass man völlig neue Nanostrukturen aus Einzelbausteinen zusammensetzt, ganz so, als würde man Legobausteine benutzen. Man nennt dieses Vorgehen "bottom-up". Weil die kleinsten Bausteine für Nanostrukturen und photonische Kristalle Atome sind, braucht man folglich ein Gerät, mit dem man Atom für Atom an seinen Platz setzen kann. Eine solche Nano-Baumaschine, die eine bestimmte Struktur konstruiert, wird in Bonn entwickelt: Es ist ein so genannter atomarer Nano-Pinsel, der auch äußerst komplizierte Nanostrukturen bewältigt. Mit seiner Hilfe will man künftig photonische Kristalle mit Strukturgrößen von 100 Nanometern für die Nano-Optik entstehen lassen.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Der Nano-Pinsel braucht einen Atomstrahl, um damit arbeiten zu können. Der momentane Forschungsstand erlaubt es den Bonner Wissenschaftlern des Instituts für Angewandte Physik, den Atomstrahl zu kühlen, ihn schmal zu machen und gezielt auszurichten. Gekühlt wird der Strahl durch einen starken, runden Magneten. Mit dem kleinen Brennpunkt des Strahls lassen sich die gewünschten Strukturen Atom für Atom auf ein Substrat schreiben. Die Abb.1 zeigt: Eine Quelle mit Atomen sendet von unten den Strahl aus, der gekühlt wird und durch den Magneten sein Ziel erreicht. Die Bonner Physiker sind bereits in der Lage, auf diese Weise Strukturen im Mikrometerbereich aufzubauen. Sie rechnen damit, in ein bis zwei Jahren Größen im Nanometerbereich zu erreichen. Dann ließen sich mit dieser Technologie die gewünschten photonischen Kristalle bauen.

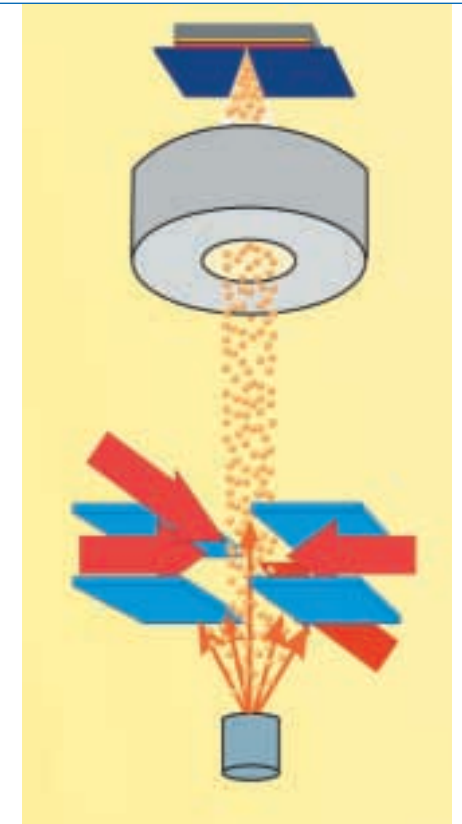


Abb.1:
Der atomare Nano-Pinsel aus Bonn.

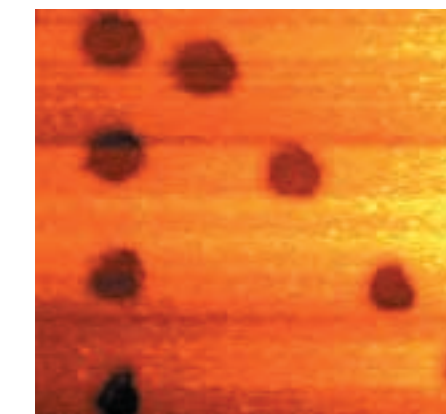


Abb.2:
Atomare Nanostruktur aus Indium, geschrieben mit dem Atom-Pinsel aus Bonn. Die Größe der Punkte beträgt etwa 2.300 Nanometer.

Ansprechpartner für
dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Dieter Meschede
meschede@uni-bonn.de

Maßgeschneiderte Kristalle fürs Internet

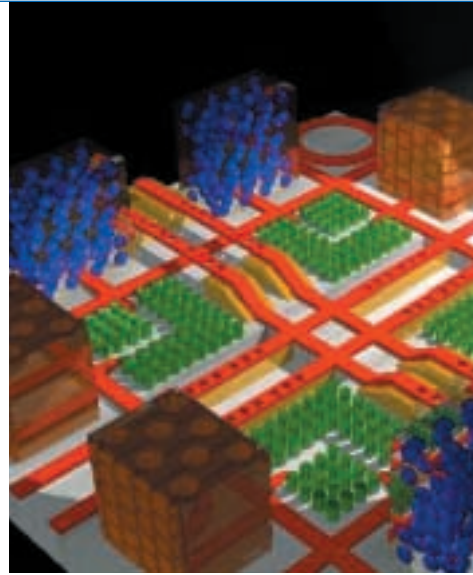


Abb.1
Die Vorstellung von einer nano-optischen Welt: Anstelle von herkömmlichen Linsen, Glasfasern, Spiegeln und großen Bauelementen benutzt man verschiedene Arten von photonischen Kristallen. Diese dienen als Wellenleiter für das Licht, als Schalter, als Spiegel und als Filter.

Abb.2
Metallischer photonischer Kristall aus Bonn. Rechts oben eine Schemazeichnung: Ein regelmäßiges Feld aus Gold-Nanopartikeln ist auf einem Wellenleiter angeordnet. Der Lichtstrahl fällt durch den photonischen Kristall hindurch, und nur ganz bestimmte Farben werden hindurchgelassen und treffen auf den Detektor. Links unten ist eine Aufnahme des photonischen Kristalls im Elektronenmikroskop. Der Durchmesser der Goldpunkte ist 100 Nanometer.

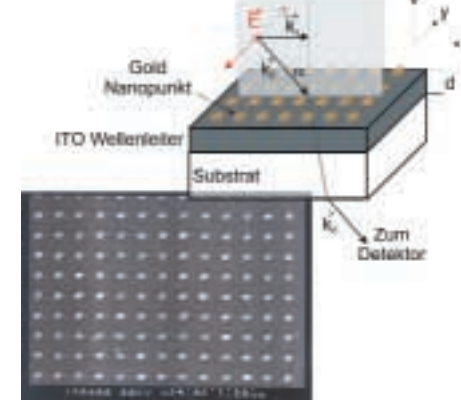
Das Themengebiet:

Damit die optischen Glasfasernetze künftig in der Lage sind, noch schneller Informationen weiterzuleiten, müssen die Eigenschaften der dabei eingesetzten photonischen Kristalle maßgeschneidert sein. Eine von den Anwendern geforderte Eigenschaft ist zum Beispiel, dass nur ganz bestimmte Wellenlängen des Lichts (besonders schmale Bereiche aus dem Farbspektrum) von den winzig kleinen Kristallfiltern durchgelassen werden. Dafür müssen letztere eine ganz regelmäßige Struktur besitzen. Und weil sie in großer Menge mit gleichbleibend hoher Qualität von der Industrie hergestellt werden sollen, gilt es für die Bonner Physiker als eine besondere Herausforderung, die geeignete Methode für immer gleich reproduzierbare Nanostrukturen herauszufinden. Darüber hinaus wollen sie genau wissen, welche Abweichungen es bei der Produktion der Strukturen geben kann - und auf welche Art sich diese auf die gewünschten optischen Eigenschaften des Kristalls auswirken. Abb.1 zeigt, wie aufwändig eine solche nano-optische Welt aus verschiedenen Elementen aufgebaut ist. Sie besteht nicht wie bisher aus Linsen, Glasfasern, Spiegeln und großen Bauelementen, sondern aus unterschiedlichen Arten von photonischen Kristallen. Diese dienen als Wellenleiter für das Licht, als Schalter, als Spiegel und als Filter.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Die Bonner Forscher stellen winzige Kristallwelten aus Gold-Nanopunkten von nur 100 Nanometer Durchmesser her. Diese werden auf ein Wellenleitermaterial aufgebracht - was künftig durch den atomaren Nano-Pinsel möglich werden soll. Momentan baut man die Strukturen mit der Elektronenstrahl-Lithographie beim Forschungszentrum CAESAR auf. Dabei werden die Goldpunkte in einem regelmäßigen Muster angeordnet. Anschließend schickt man weißes Licht durch den Kristall und untersucht, welche Farben durchgelassen werden. Die Ergebnisse reichen bereits an diejenigen herkömmlich verwendeter Systeme mit vielen Schichten durchsichtiger Flächen heran. Die Bonner Kristalle sind jedoch nicht nur kleiner, sondern vor allem in der Herstellung wesentlich günstiger. In zwei bis drei Jahren will man mit ihnen weitaus schmalbandigere Filter bauen, als es mit bisher bekannten Techniken möglich ist.

Abb.2



Universität Dortmund

Fachbereich Nanotechnologie

Um die Aktivitäten in der Mikro- und Nanotechnologie zu koordinieren, hat die Universität Dortmund im Jahr 2002 ein Forschungsband eingerichtet, das mehrere Fachbereiche umspannt. Damit will die Universität die interdisziplinäre Forschung auf diesem innovativen Gebiet fördern. Ziel der Westfalen ist es ebenso, junge Wissenschaftler auszubilden, die für die Forschung auf dem Zukunftsfeld Nanotechnologie hochqualifiziert sein werden. Forscher aus den Fachbereichen Physik sowie Elektrotechnik und Informationstechnik arbeiten gemeinsam an konkreten Projekten zum Einsatz von Nanostrukturen für die Informationstechnologie. Sie sind schwerpunktmäßig auf folgenden Forschungsfeldern aktiv:

- Die weitere Miniaturisierung nanoskaliger, elektronischer Bauelemente sowie die Entwicklung neuartiger, funktionaler Einheiten.
- Die Untersuchung von selbstorganisierten Nanostrukturen auf ihre Eignung in optoelektronischen Bauelementen wie Leuchtdioden und Lasern.
- Die Entwicklung und Untersuchung von Nanostrukturen, bei denen der Spin des Elektrons die Aufgaben übernimmt, die die Ladung in der Elektronik erfüllt – die Spintronik.
- Prinzipuntersuchungen zur Machbarkeit einer neuartigen Informationsverarbeitung unter Ausnutzung quantenphysikalischer Effekte, mit dem Potenzial einer deutlich gesteigerten Performance.

**Kontakt:**

Prof. Dr. Edgar Voges
edgar.voges@udo.edu
Universität Dortmund
August-Schmidt-Straße 4
44227 Dortmund

Weblinks:

www.micro-nano.uni-dortmund.de
www.e-technik.uni-dortmund.de
www.physik.uni-dortmund.de

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Harald Gießen
giessen@uni-bonn.de

Untersuchung von Nanostrukturen am Elektronenspeicherring DELTA

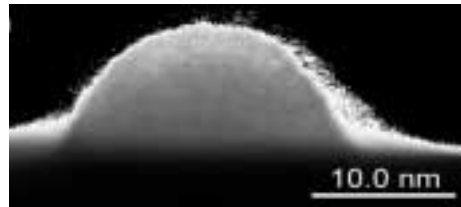


Abb.1:
Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Halbleiter-Quantenpunkts mit einer Auflösung, die die direkte Beobachtung der Atome, aus denen der Quantenpunkt aufgebaut ist, ermöglicht.

Das Themengebiet:

Ein zentraler Schwerpunkt der interdisziplinären, wissenschaftlichen Aktivitäten im Bereich der Nanotechnologie an der Universität Dortmund ist die Realisierung neuartiger Strukturen, die sich in geeigneter Weise zu neuartigen, funktionalen Einheiten zusammenfügen lassen. Dazu ist es erforderlich, die Struktur und die Zusammensetzung der entwickelten Nanosysteme mit möglichst hoher Präzision zu bestimmen. Ein solches Verständnis ist sowohl für eine Perfektionierung des Herstellungsprozesses als auch für die Erlangung einer quantitativen Beschreibung durch Modellrechnungen unerlässlich. Für die Untersuchung von Nanostrukturen steht den Forschern an der Universität Dortmund ein hervorragendes Werkzeug zur Verfügung - die Elektronenspeicherring-Anlage DELTA. Diese können die westfälischen Wissenschaftler als eine Synchrotronstrahlungsquelle mit hoher Brillanz nutzen. Über die Strukturanalyse mit Hilfe von Röntgenstrahlung lässt sich die Geometrie der Nanostrukturen mit atomarer Auflösung bestimmen. DELTA bietet den Dortmunder Forschern umfassende Möglichkeiten und ist eine Einrichtung, die auch für externe Nutzer von Interesse ist. Dies hat sich im Aufbau von Experimentierplätzen durch die Universitäten in Bochum, Bonn, und Wuppertal sowie das Forschungszentrum Jülich manifestiert.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Den Forschern ist es gelungen, die Geometrie von Nanostrukturen mit atomarer Auflösung zu bestimmen. Ein Beispiel hierfür ist die Abb.1, die einen Halbleiter-Quantenpunkt zeigt (Europhys. Lett. 63, 268, 2003). In einem solchen Quantenpunkt können sich Elektronen nicht mehr frei bewegen, sondern sind dreidimensional wie in einer Schachtel eingeschlossen. Da dies auf einer Längenskala von wenigen Milliarden Metern erfolgt, machen sich quantenmechanische Effekte bemerkbar. Daher werden Quantenpunkte auch als künstliche Atome bezeichnet, deren Eigenschaften sich präzise maßschneidern lassen. Quantenpunkte sind beispielsweise Grundbausteine einer neuen Generation von Lichtemittern für die Telekommunikation. Sie weisen eine besonders hohe Effizienz bei der Umwandlung von Strom in Licht auf und erlauben es, in neue Wellenlängenbereiche vorzustoßen.



Abb.2:
Rastertunnelmikroskopische Aufnahme eines Kohlenstoff-Nanoröhrchens. Solche Nanoröhrchen könnten Leiterbahnen in einer künftigen Nanoelektronik bilden.

Quantenphysikalische Phänomene in Nanostrukturen

Das Themengebiet:

Schwerpunkt der wissenschaftlichen Aktivitäten der Dortmunder Forscher ist die Untersuchung von Nanostrukturen durch die Abfrage ihrer Eigenschaften mittels intensiver Laserlichtquellen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf Fragestellungen aus den Bereichen der Quantenoptik und Quanteninformationsverarbeitung gerichtet. Die Reduzierung der Abmessungen der Systeme in den Bereich weniger Milliarden Meter macht ein Vordringen in die Quantenphysik unausweichlich. Phänomene, die in der makroskopischen Welt unbekannt sind, wie der Tunneleffekt, durch den sich Elektronen nicht mehr absolut in bestimmte Raumgebiete einschließen lassen, verurteilen klassische Konzepte für Bauelemente, wie sie etwa in Computern verwendet werden, zum Scheitern. Andererseits eröffnet sich die Möglichkeit, Quanteneffekte gezielt auszunutzen. Um nur einige Beispiele zu geben: Die sichere Datenübertragung in der Quantenkryptografie beruht auf der Unmöglichkeit, einen quantenmechanischen Zustand zu klonen. Beim Quantum Computing werden Rechenaufgaben mit sehr viel höherer Geschwindigkeit als bei traditionellen Computern bearbeitet, weil nicht mehr Bit für Bit hintereinander angesteuert, sondern alle Bits gleichzeitig geschaltet würden. Es erfolgt also eine massive Parallelprozessierung der Daten.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Während der vergangenen Jahre wurde eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt, die grundlegende Aspekte einer Quanteninformationsverarbeitung betreffen. Beispiele für einige dieser Fragestellungen sind: 1. Kopplung der Nanostrukturen an ihre Umgebung, durch die ein quantenmechanischer Zustand und die darin gespeicherte Information zerstört werden könnten (Phys. Rev. Lett. 91, 267401, 2003). 2. Effizienz, mit der Licht mit Nanostrukturen wechselhaft wirkt. Durch diese Wechselwirkung können quantenmechanische Zustände erzeugt und manipuliert werden. 3. Koppelung von Nanostrukturen wie innerhalb eines künstlichen Moleküls. Durch eine solche Molekülstruktur könnte ein so genanntes Quantengatter realisiert werden, mit dem zwei Bits so verschränkt werden, dass ihre Parallelprozessierung möglich wird (Phys. Rev. Lett. 90, 086404, 2003).

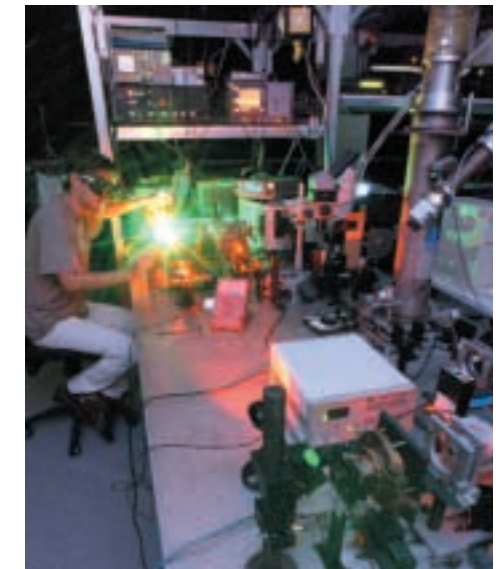
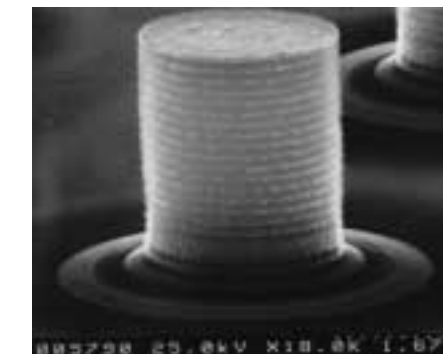


Abb.1:
Justage eines Single-Mode Ring-Lasers mit extrem scharfer Frequenz. Durch Verwendung unterschiedlicher Farbstoffe ist es möglich, verschiedene Anregungsenergien bei den einzelnen Experimenten abzudecken.

Abb.2:
Elektronenmikroskopisches Bild eines Resonators, in den Licht dreidimensional eingeschlossen werden kann (Aufnahme von A. Forchel, Universität Würzburg). Über diesen Einschluß kann die Stärke, mit der Licht mit Materie wechselwirkt, genau eingestellt werden.



Von der Theorie bis zur guten Zusammenarbeit mit der Industrie - diesen weiten Bogen schlägt die Universität Duisburg-Essen in den Bereichen Nanotechnologie und Informationstechnologie. Spezialisten verschiedener Disziplinen sind dort gemeinsam auf dem Weg, kleinere und haltbare Materialien zu finden, deren elektronische und magnetische Eigenschaften für die Kommunikationstechnologie maßgeschneidert sind: Grundlagenforscher, etwa Festkörperphysiker, entwickeln neue Konzepte für Computerchips, die mit Ingenieuren, Elektrotechnikern und Maschinenbauern bis zur Produktionsreife geführt werden sollen. In lokalen und universitätsübergreifenden Netzwerken arbeiten Wissenschaftler zusammen - finanziert beispielsweise durch Sonderforschungsbereiche der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Die Forscher widmen sich etwa den Themen Nanopartikel in der Gas-

phase, Magnetische Heteroschichten und Energiedissipation an Oberflächen. Darüber hinaus gibt es verschiedene Graduiertenkollegs sowie das Zentrum für Halbleitertechnik und Optoelektronik. Schnittstellen zur industriellen Verwertung der Forschungsergebnisse bieten mehrere An-Institute, das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, die Start-Up-Unternehmen im Microelectronicspark und die Zusammenarbeit mit der Firma Degussa.



Kontakt:
Prof. Dr. Axel Lorke
axel.lorke@uni-duisburg.de
Universität Duisburg-Essen
Forsthausweg 2
47048 Duisburg

Weblinks:
<http://nano.uni-duisburg-essen.de>
www.forum-forschung.de
(Hier finden Sie ein allgemein verständliches Themenheft zum Herunterladen)

Spin unter Kontrolle

Das Themengebiet:

Wer heute seinen Computer einschaltet, um im Internet zu surfen, setzt Zehn- oder gar Hunderttausende von Elektronen in Bewegung, wenn auch nur einziges Bit verändert wird. Außer seiner negativen Ladung, die das Elektron transportiert, hat es noch eine weitere Eigenschaft, die die Wissenschaftler des Lehrstuhls für Werkstoffe der Elektrotechnik der Universität Duisburg-Essen fasziniert: den so genannten "Spin". Anschaulich am ehesten als eine Art Drehung um die eigene Achse zu verstehen, ist der Spin verantwortlich für das winzige magnetische Moment des Elektrons. Wie man einem Kinderkreisel, der sich in eine bestimmte Richtung dreht, einen Drehsinn zuordnen kann, ordnet man dem Elektron eine Spinorientierung zu und spricht entweder von 'Spin-auf' oder von 'Spin-ab'. Die Spintronik nutzt gerade die Spinorientierung des Elektrons zur Informationsdarstellung in einem Chip. Das Ziel der Wissenschaftler in Duisburg-Essen ist es, mit Hilfe nanostrukturierter Magnete den Spin und damit die Information im Halbleiter zu manipulieren. Mit diesen so genannten Hybrid-Nanostrukturen könnten in Zukunft neue Bauelemente entwickelt werden, die vielleicht sogar innerhalb eines Chips die Speicherung und die Verarbeitung von Informationen miteinander verknüpfen.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Um innovative Bauelementkonzepte für den Computer zu entwickeln, haben die Forscher an der Universität Duisburg-Essen neue Strukturen im Blick, welche die Spinzustände von Elektronen beeinflussen und kontrollieren. Es werden dünne Schichten aus magnetischen Halbleitern entwickelt, innerhalb denen sich die Elektronen bewegen. Auf diese Schichten werden winzige, nanostrukturierte Magnete aufgesetzt. Ein Querschnitt zeigt, dass sich die willkürliche Ausrichtung der Elektronen-Spins in der Schicht unterhalb des Magneten verändert: Bei den dort angesammelten Elektronen zeigen die Spins alle in die gleiche Richtung. Experimentell zeigt sich dies in einer Reduktion der Energie der Spin-ab Elektronen unterhalb des Nanomagneten. Der Spin kann also auf diese Weise kontrolliert und gegebenenfalls gezielt manipuliert werden.



Abb.2
Elektronenmikroskopische Aufnahme nanostrukturierter Ferromagnete auf magnetischen Halbleiterschichten.

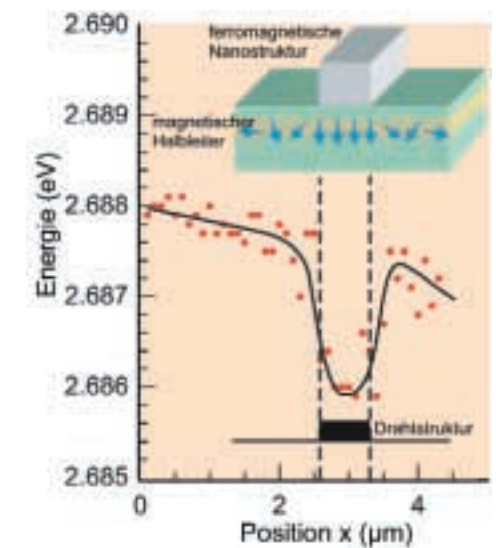


Abb.1
Laterale Modulation der Energie und des Spins der Elektronen in nanostrukturierten Halbleiter-Ferromagnet Hybriden.

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Gerd Bacher
g.bacher@uni-duisburg.de

www.uniduisburg.de/FB9/WET/ferro_d.htm

Ballistische Elektronen

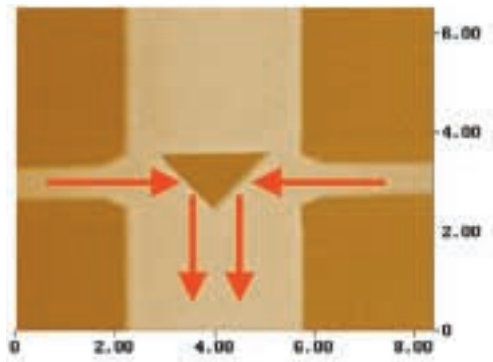


Abb.1: Eine nahezu ideale Gleichrichtungscharakteristik eines Bauteils, in das eine Barriere eingesetzt wurde.

Das Themengebiet:

Dank der nanotechnologischen Entwicklungen werden Computerchips auch künftig immer kleiner, immer schneller - das bedeutet aber auch, dass die Elektronen, die in ihnen die Informationen transportieren, immer schneller unterwegs sind. Sie bewegen sich nicht mehr ungeordnet und scheinbar zufällig wie in makroskopischen Bauelementen, sondern folgen wie kleine, geladene Schrotkugeln den elektrischen Feldern ungestört und gradlinig. Dabei entwickeln sie eine enorme ballistische Bewegungsenergie, die in der Lage ist, Kristallatome aus ihrem Verband herauszuschlagen. So könnten ganze Bauteile elektrischer Bauelemente zerstört werden. Wie erreicht werden kann, dass nanoskopische Bauelemente dem elektronischen Dauerbeschuss standhalten, wird in einem Projekt des Sonderforschungsbereichs Energiedissipation an Oberflächen untersucht. Im Laboratorium für Festkörperphysik der Universität Duisburg-Essen wird sogar versucht, durch eine bewusste Lenkung der ballistischen Elektronen innerhalb ihrer Bahnen neuartige Konzepte für elektronische Schaltungen zu realisieren. Auf diese Weise sollen die negativen Auswirkungen der flotten Elektronenbewegung quasi ins Gegenteil verkehrt werden. So entwickeln die Physiker aus einem altbekannten Problem eine neue Funktionalität der Elektronen.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Die Bewegung ballistischer Elektronen lässt sich nach Beobachtung der Wissenschaftler manipulieren, indem man Bauteile mit bestimmter Form in bestehende Strukturen einsetzt. Wie das funktioniert, zeigt Abb.1: Die schmalen, hellen Bereiche des Bildes stellen dünne Kanäle dar, durch die von rechts oder links Strom getrieben wird. Dann werden die Elektronen durch eine eingesetzte Barriere (das Dreieck in der Mitte) nach unten umgelenkt. Auf diese Weise entsteht - unabhängig von der Stromrichtung - eine negative Spannung zwischen dem unteren und oberen Kontakt. Experimente zeigen (Abb.2), dass sich bei einer Umkehr des Stroms die Spannungsrichtung nicht umkehrt. Das Beispiel dieses Gleichrichtungseffektes macht deutlich, wie sich neuartige Bauelement-Konzepte realisieren lassen, in denen die Bewegung der Elektronen nicht durch das *Material*, sondern durch die *Form* bestimmen wird.

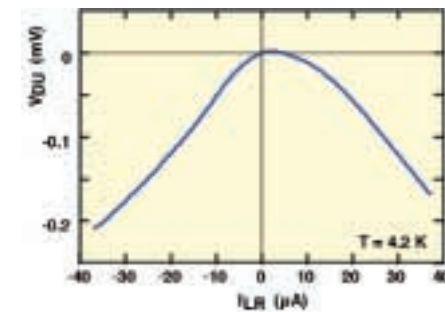


Abb.2: Eine Probenstruktur, mit der ballistische Gleichrichtungseffekte untersucht werden.



Universität Münster
Fachbereich Nanotechnologie

Die Nanophysik ist einer der vier zukunftsweisenden Forschungsschwerpunkte am Fachbereich Physik der Universität. Zentrale Forschungsthemen sind:

- Die Herstellung von Strukturen auf der Nanometerskala.
- Die Charakterisierung der Strukturen mit mikroskopischen, spektroskopischen sowie spektromikroskopischen Methoden.
- Transportphänomene in Nanostruktoren bis hin zum Transport in Einzelmolekülen.
- Magnetische Nanostrukturen für Sensoren und Datenspeicher sowie ihr magnetisches Schaltverhalten auf ultraschneller Zeitskala.
- Photonische Bauelemente für die optische Datenspeicherung und Informationsverarbeitung.

Herausragende Kompetenz in Münster ist die Methodik zur hochauflösenden Analyse und Abbildung von Nanostrukturen. Verschiedene Arbeitsgruppen stehen an vorderster Front der methodischen Entwicklung. Diese Grundlagenexperimente für die Informationstechnik von morgen werden ergänzt durch anwendungsnahe Forschung in Kontakt mit Firmen, letzteres besonders im 2003 eingeweihten Center for NanoTechnology CeNTech. Im neu eingerichteten Interdisziplinären Forschungszentrum für Kooperative und Nanoskalige Systeme FOKUS werden in enger Zusammenarbeit mit Gruppen der Chemie und Biologie Konzepte für die Herstellung funktionaler Systeme für die Nanoelektronik erarbeitet und experimentell umgesetzt.



Kontakt:
Prof. Dr. Markus Donath
markus.donath@uni-muenster.de
Physikalisches Institut
Westfälische Wilhelms-Universität
Wilhelm-Klemm-Straße 10
48149 Münster

Weblinks:
<http://nanophysik.uni-muenster.de>
www.centech.de

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Axel Lorke
axel.lorke@uni-duisburg.de

Systeme für die Nanoelektronik

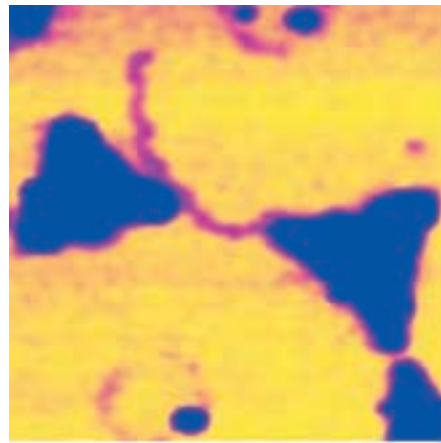


Abb.1:
Nanodraht aus einer Polymerkette mit eingelagerten Au₅₅-Clustern. Der Draht verbindet zwei Metallinseln, die als Elektroden fungieren (Dreiecke im Abstand von 60 nm).

Das Themengebiet:

Die Herstellung von Strukturen auf der Nanometerskala, insbesondere durch Selbstorganisation, ist ein zentrales Forschungsthema der Wissenschaftler der Wilhelms-Universität. Bauelemente der Mikroelektronik können in ihrer Leistungsfähigkeit durch weitere Miniaturisierung und Mikrostrukturierung mittelfristig nur noch so lange gesteigert werden, bis sie an ihre natürlichen physikalischen Grenzen stoßen, die durch die Quantenmechanik gegeben sind. Zu einer langfristigen Weiterentwicklung der Elektronik in noch kleineren Dimensionen sind neue Konzepte unter Verwendung neuer Materialien notwendig. Die Münsteraner gehen davon aus, dass sich insbesondere Systeme, deren Eigenschaften sich durch geeignete Strukturierung auf der Nanometerskala definieren lassen, dabei als sehr nützlich erweisen könnten. Dazu zählen zum Beispiel Transistoren, die mit einzelnen Elektronen funktionieren. In diesem Zusammenhang spielen unter anderem selbstorganisiert wachsende Nanodrähte und durch organische Moleküle funktionalisierte Oberflächen eine zentrale Rolle. Das Ziel der physikalischen Grundlagenforschung auf diesem Gebiet liegt darin, die Regeln des atomaren Zusammenspiels zu entschlüsseln, um schließlich Bauelemente für die Nanoelektronik mit "maßgeschneiderten" Eigenschaften herstellen zu können.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

In diesem Projekt werden quasi eindimensionale Strukturen, so genannte Quantendrähte, sowohl experimentell als auch theoretisch untersucht. Insbesondere werden eindimensionale organische Strukturen, die teilweise selbstorganisiert auf Oberflächen aufwachsen, mit Hilfe der Molekularstrahlepitaxie oder der Langmuir-Blodgett-Technik hergestellt. Die Abb.1 zeigt zum Beispiel die Realisierung eines Nanodrahtes aus einer Polymerkette mit eingelagerten Goldclustern. Darüber hinaus werden quantenmechanische Berechnungen zur Bildung von Siliziumnanodrähten und Wasserstoffnanodrähten auf Halbleiteroberflächen durchgeführt. Die Abb. 2 zeigt als Beispiel einen Wasserstoffnanodraht auf Siliziumkarbid. Die untersuchten Systeme haben großes Potenzial für Anwendungen in der Nanoelektronik bis hin zur Nutzung in Quantencomputern.

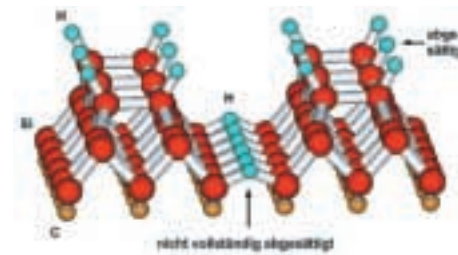


Abb.2:
Ausschnitt einer mit Wasserstoff (H) bedeckten Siliziumkarbidoberfläche. H-Atome sättigen die Bindungen in der obersten Lage vollständig, im Graben aber nur teilweise ab. So entsteht ein metallischer Wasserstoffnanodraht.

Ansprechpartner für dieses Projekt sind:

Frau Dr. Lifeng Chi
chi@uni-muenster.de
Prof. Dr. Johannes Pollmann
pollmann@uni-muenster.de

Magnetoelektronik auf der Nanometerskala

Das Themengebiet:

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt an der Wilhelms-Universität ist die Magnetoelektronik. Ziel der Münsteraner Wissenschaftler ist die Erweiterung herkömmlicher Elektronik durch die zusätzliche magnetische Information der Elektronen. Daraus ergeben sich aufregende Möglichkeiten zur Herstellung nichtflüchtiger Datenspeicher hoher Packungsdichte oder neuer Magnetsensoren. Mit Leseköpfen, die dieses Prinzip ausnutzen, konnte die Speicherdichte von Festplatten um ein Vielfaches erhöht werden. Magnetoelektronik-Bauelemente werden als Sandwich-Strukturen aus nur wenigen Nanometer dicken Schichten aufgebaut. Das Projekt, an dem Wissenschaftler aus Experiment und Theorie beteiligt sind, erforscht die Weitergabe magnetischer Information über die verschiedenen Materialschichten hinweg. Das Schaltverhalten eines zukünftigen Speichers wird in einem bisher unverstandenen Kurzzeitbereich studiert. Damit wollen die Forscher höhere Schaltfrequenzen in Datenspeichern erreichen. Das Problem: Aufgrund ihrer feinen Strukturierung sind diese Bauelemente sehr fragil. Bewegen sich bei Erwärmung nur einige Atome, wird eine Sensorschicht bereits zerstört. Deshalb studieren die Wissenschaftler solche strukturellen Umwandlungen in höchster Auflösung, um thermisch stabile Anordnungen zu finden.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Bei der chemischen Analyse durch die Atomsondentomographie werden die Atome von nur wenigen Nanometern großen Bauelementen abgelöst, einzeln identifiziert und lokalisiert. Auf diese Weise entsteht eine vollständige räumliche Rekonstruktion des atomaren Aufbaus. Dabei zeigte sich, dass die Zerstörung eines magnetischen Sensors durch den Transport entlang flächenhafter Defekte - Korngrenzen genannt - einsetzt. Dafür fanden die Wissenschaftler eine Lösung: Durch die spezielle Behandlung der Schichten gelang es den Forschern, einen thermisch stabilen Orientierungssensor für erhöhte Einsatztemperaturen herzustellen. Außerdem wurde die magnetische "Kommunikation" zwischen den Schichten studiert. Die Forscher identifizierten Elektronen, die zwischen den Schichten "eingesperrt" sind, und mit ihren magnetischen Eigenschaften die Koppelung vermitteln.

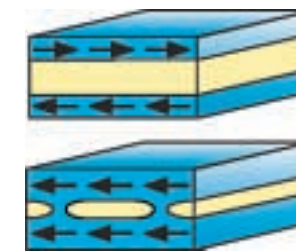


Abb.2:
Koppelung der magnetischen Orientierungen dünner ferromagnetischer Schichten. Schichtdurchbrüche zwingen das System von der gewünschten antiparallelen (oben) in eine parallele Ausrichtung (unten).

Ansprechpartner für dieses Projekt sind:

Prof. Dr. Markus Donath
markus.donath@uni-muenster.de
Prof. Dr. Guido Schmitz
gschmitz@nwz.uni-muenster.de

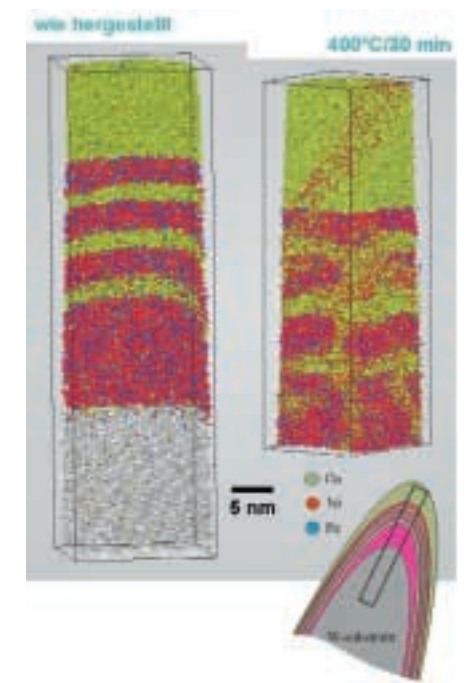


Abb.1:
Atomsondentomographie eines gezielt zerstörten Magnetsensors. Die Positionen der Atome sind durch farbig kodierte Punkte wiedergegeben. Zwischen den horizontalen Metallschichten erfolgt der Atomtransport entlang vertikaler Pfade.

Universität Paderborn Fachbereich Nanotechnologie

"Universität der Informationsgesellschaft": Diese Leitidee aus dem Bereich der Informationswissenschaften steht auch über den Aktivitäten der Universität Paderborn in den Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten im Bereich der optischen Technologien.

Die Paderborner Wissenschaftler sehen es als ihre Mission an, innovative Konzepte durch die konsequente Nutzung nanostrukturierter Systeme zu erarbeiten. Forschungsgebiete sind die Optoelektronik, die Photonik und die optische Sensorik. Der Ansatz ist interdisziplinär: Im Zentrum für Optoelektronik und Photonik der Universität Paderborn (CeOPP) kooperieren mehr als zehn Arbeitsgruppen aus den Fachgebieten der Physik, Chemie und Elektrotechnik. Ziel der wissenschaftlichen Arbeiten ist es, neue optische und elektronische Funktionalitäten durch Design, Herstellung und Charakte-

risierung innovativer nanostrukturierter Materialien zu erreichen. Hierzu gehört die Realisierung maßgeschneiderter nano-optischer Strukturen, wie z.B. photonischer Kristalle, die zukunftsweisende Anwendungen und Funktionen im Bereich integrierter photonischer Bauelemente erlauben. Einen weiteren Schwerpunkt der Forschung bilden selbstorganisierte Nanostrukturen auf Halbleiterbasis. Diese Systeme sind die Basis für künftige Bauelemente im Bereich der Quanteninformationstechnologie.



Kontakt:

Prof. Artur Zrenner
zrenner@physik.upb.de
Universität Paderborn
Warburger Str. 100
33098 Paderborn

Weblinks:

www.photonik.upb.de
www.ceopp.de

Selbstorganisierte Nanostrukturen

Das Themengebiet:

Die aktiven Schlüsselkomponenten der modernen Informationstechnologie basieren auf Halbleiter-Bauelementen mit elektronischen oder optoelektronischen Funktionen. Nach Jahren intensiver Forschung und Entwicklung ist die Leistungsfähigkeit dieser Elemente exzellent, doch die Paderborner Wissenschaftler schauen in die Zukunft: Die innovative Vorfeldforschung auf dem Gebiet der Halbleiterphysik beschäftigt sich bereits mit neuen Klassen von Quantenbauelementen auf der Basis selbstorganisierter Nanostrukturen. Diese bringen die Funktionalität atomarer Systeme auf die Ebene der halbleiterbasierenden Quantenoptik und Elektronik. Damit diese neuartigen Konzepte erfolgreich umgesetzt werden können, ist es erforderlich, dass einzelne Quantensysteme auf der Ebene von Elementarladungen, Lichtquanten oder Spins präzise kontrolliert werden. Es ist nun die Aufgabe der Grundlagenforschung und angewandten Forschung, geeignete Hardware-Konzepte zu untersuchen. Die Forscher der Universität Paderborn haben sich auf diesen lohnenden Weg zu einer ultimativen Informationstechnologie begeben. Ihr Ziel ist es, insbesondere durch die Nutzung kohärenter Phänomene Raum für völlig neuartige Funktionen zu schaffen, die grundlegende Innovationen im Bereich der Quanten-Informationstechnologie erwarten lassen.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Die Ergebnisse der Wissenschaftler sind jetzt schon beachtlich: Sie produzieren selbstorganisierte Nanostrukturen, sog. Quantenpunkte, in hervorragender Qualität. Durch Einsatz geeigneter Strukturierungsverfahren ist es gelungen, einzelne Strukturen für optische und elektrische Untersuchungen zu nutzen. Dies führte etwa zur Entwicklung der Einzelquantenpunkt-Photodiode. Man könnte eine derart winzige Photodiode einfach nur als die kleinste Solarzelle der Welt bezeichnen, ihre Funktionalität erschließt jedoch weit mehr: Die kohärente Welt der Quantensysteme für zukünftige Anwendungen im Bereich der Quanten-Informationsverarbeitung. Das Anwendungspotenzial derartiger Bauelemente reicht vom Einzelelektron-Speicher über spektral abstimmbare Photoempfänger bis hin zur deterministischen Stromquelle, die über den Zustand eines Quantenbits gesteuert wird.

Abb.2:
Oben: Einzel-Quantenpunkt Photodiode – die kleinste Solarzelle der Welt.
Unten: Kontrolle über einzelne Elektronen im Quantenpunkt.

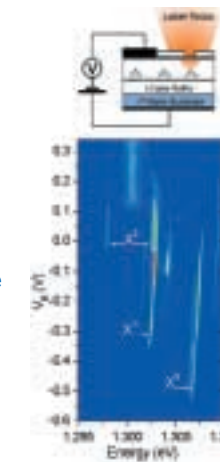


Abb.1:
Wachstum von Quantenpunkten in der Molekularstrahlepitaxie.

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Prof. Artur Zrenner
zrenner@physik.upb.de

www.physik.uni-paderborn.de/nanooptik

Photonische Kristalle

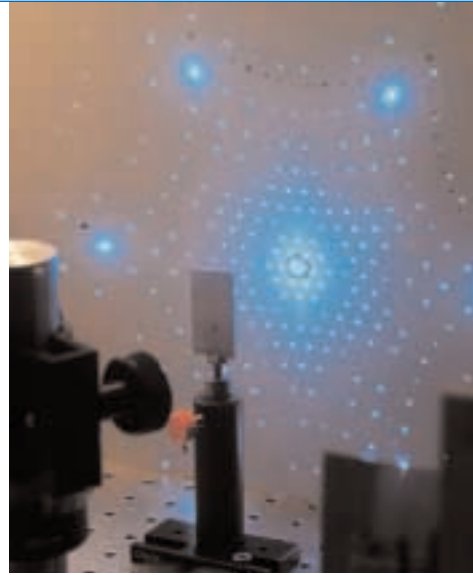


Abb.1:
Beugung eines Laserstrahls an
einem photonischen Kristall.

Das Themengebiet:

Mit den photonischen Kristallen haben Physiker ein Material geschaffen, in dem völlig neue Regeln für die Lichtausbreitung gelten. Photonische Kristalle dienen als Halbleiter für Licht. Sie erlauben die Manipulation von Licht im Nanometerbereich. Dadurch werden Integrationsdichten von optischen Komponenten möglich, die vorher unmöglich erschienen. Die Anwendungsbereiche dieses neuen Materials finden sich im gesamten Gebiet der Photonik und Optoelektronik: Man begann mit der Entwicklung von photonischen Kristall-Glasfasern, es folgten photonische Kristall-Laser. Aktuell wird in Experimenten versucht, auf verschiedensten Materialplattformen wie Silizium, GaAs oder InP ein modulares System von hochintegrierten optischen Komponenten auf photonischer Kristallbasis zu entwickeln. Es soll künftig in der optischen Informationsübertragung eingesetzt werden. Die nächsten Schritte sind für die Wissenschaftler klar: Sollte das Konzept für die optische Datenübertragung funktionieren, so sind auch optische Interconnects, d.h. Datenbusse für Licht auf der Computerplatine, mit photonischen Kristallkomponenten möglich. In den Paderborner Labors wird nachgeforscht, wie in diesem Zusammenhang das passende Materialsystem aussehen kann, oder ob es eine 2D- oder 3D-Integration geben wird.

Aktuelle
Forschungsergebnisse:

Seit der Entdeckung der Photonischen Kristalle 1987 gab es einen weltweiten Run auf dieses Gebiet. Deutschland hat sich dabei eine Spitzenstellung erarbeitet (siehe z.B. Photonische Kristalle, ed. R.B. Wehrspohn et al., Wiley-VCH 2004). Dabei liegen deutsche Spitzenleistungen vor allem auf den Gebieten der Simulation und der Nanotechnologie. Im Bereich der Nanostrukturierung von Materialien wie Silizium und Siliziumverbindungen haben sich deutsche Forscher weltweit einen sehr guten Ruf erarbeitet. Komponenten, die in Paderborn basierend auf diesen Nanotechnologien entwickelt werden, sind z.B. durchstimmbare optische Komponenten wie Dispersionskompensatoren oder ultrakompakte Sensoren für die Gasmesstechnik. Die weltweiten Grundlagenpatente, die in Paderborn liegen, spielen eine große Rolle für die spätere Vermarktung: Start-Up-Unternehmen können sich ausgründen.

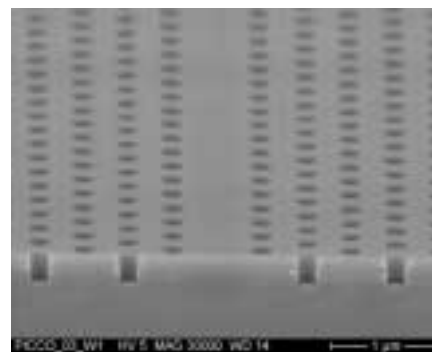


Abb.2:
Elektronenmikroskopische Aufnahme
eines Lichtwellenleiters, umgeben von
einem photonischen Kristall.



Universität Siegen

Fachbereich Nanotechnologie

Viele chemische Prozesse laufen in der Natur in kleinen abgegrenzten Räumen von Mikro- und Nanometerabmessungen ab. Diese Prozesse spielen eine wichtige Rolle in der Chemie (z.B. in der supramolekularen Chemie), in der Biologie (z.B. bei allen Zellprozessen), in der Technik (z.B. in der heterogenen Katalyse, bei Korrosion) und in der Materialwissenschaft (z.B. bei der Erhöhung der Bruchfestigkeit). In Verbindung mit den Fachbereichen Chemie, Elektrotechnik, Maschinentechnik und Physik wurde in Siegen 2002 das "Center für Micro- and Nanochemistry and -engineering (C_μ)" als zentrales Forschungsinstitut gegründet. Das interdisziplinäre Forschungszentrum hat zur Aufgabe, durch die Zusammenführung von Mikrotechnologie und Chemie eine neuartige und zukunftsreiche Richtung der Chemie und Nanotechnologie, die Mikro- und

Nanochemie, zu etablieren. Durch innovative Forschung wollen die Wissenschaftler nachhaltig zur Stärkung des High-Tech Standortes NRW beitragen.

Kompetenzen / Forschungsgebiete der Universität Siegen:

- Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Chipdesign und Mikrofabrikation
- Materialwissenschaften, Werkstoff- und Bauchemie
- Oberflächentechnologie
- Molecular-Engineering
- Nano-Optik, Einzelmolekülspektroskopie
- Lasermikroskopie und Elektronenmikroskopie
- Simulationstechnik und Mikrofluidik

**Kontakt:**

Dipl.-Kfm. Frank Ermert
ermert@fts.uni-siegen.de
Forschungstransferstelle
Herrengarten 3
57068 Siegen

Weblinks:

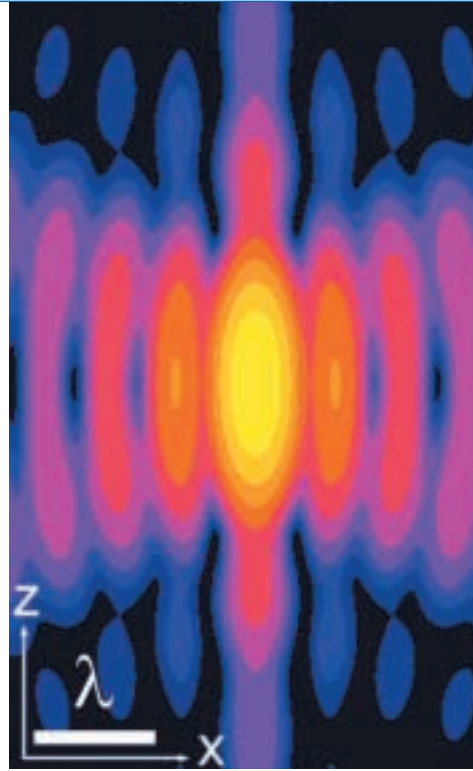
www.cu.uni-siegen.de
www.pc.chemie.uni-siegen.de/pci

Ansprechpartner für
dieses Projekt ist:

Prof. Ralf Wehrspohn
wehrspohn@physik.upb.de

www.photonische-kristalle.de
www.nanophotonic-materials.de

Lab-on-Microchip



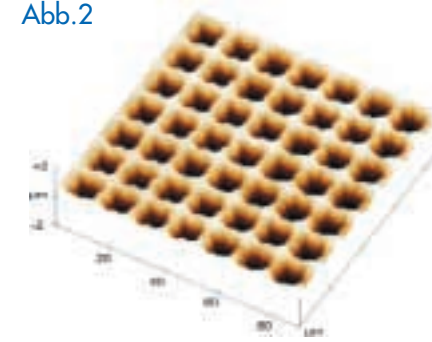
Das Themengebiet:

Chemische Prozesse mit mikroelektronischen Funktionen auf einem Mikrochip zu verknüpfen, das ist das ambitionierte Ziel einer 2003 in Siegen installierten interdisziplinären Forschergruppe. Es werden Methoden und Systeme im Bereich Mikro- und Nanochemie entwickelt, die auf intelligente Mikrosysteme übertragen und zur Anwendung gebracht werden. Letztendlich sollen winzige Reaktionsräume geschaffen werden, in denen über mikroelektronische Schaltprozesse chemische Reaktionen eingeleitet, gesteuert und analysiert werden können. Bei den mikroskopisch kleinen Strukturen auf einem Chip könnte damit ein ganzes chemisches Labor auf einem Quadratzentimeter entstehen. Wegen der geringen Volumina führen bereits geringe Molekülzahlen zu hohen, messbaren Konzentrationen. Dadurch können Reaktionen mit wertvollen oder gefährlichen Substanzen ohne großen Materialaufwand und in vielen Variationen durchgeführt werden. Einzelne Moleküle können nachgewiesen und identifiziert werden. Die in ihnen gespeicherten Informationen – etwa ihre Ausrichtung im Raum – können direkt wieder ausgelesen werden. Große Anwendungsfelder für die Lab-on-Microchip-Technologie liegen in der Informationstechnologie (chemische Datenspeicher), der Medizin, der Biochemie, der Umwelttechnik sowie im Automobilbau.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Im ersten Schritt auf dem Weg zum Lab-on-Microchip werden die Grundlagen physikalischer und chemischer Prozesse in mikroskopisch kleinen und begrenzten Räumen mit Dimensionen im Mikrometer- und Submikrometerbereich erarbeitet. Dafür werden in sehr kleinen Kompartimenten Moleküle abgelegt und aufbewahrt, ähnlich der Information in den Zellen eines modernen Datenspeichers (siehe Abb. 2). Mit hochauflösenden Lasermikroskopen können einzelne Moleküle auf dem Chip nachgewiesen, identifiziert und verfolgt werden. Im weiteren Verlauf sollen passive und aktive Komponenten zur Steuerung und Analyse chemischer Reaktionen auf einem Mikrochip entwickelt, hergestellt und implementiert werden. Ziel ist es, die physikalischen und chemischen Grundlagen für Lab-on-Microchip-Systeme zu entwickeln, zur Anwendung zu bringen und so eine enorme Leistungssteigerung zu bewirken.

Abb.2



In winzigen Kompartimenten werden Moleküle abgelegt und aufbewahrt, ähnlich der Information in den Zellen eines modernen Datenspeichers.

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Alfred J. Meixner
meixner@chemie.uni-siegen.de

Nano-Optik: Einzelmolekülspektroskopie

Das Themengebiet:

Ein neuartiges Forschungsgebiet der Optik nennt sich Einzelmolekülspektroskopie und beschäftigt sich mit den Phänomenen und der Kontrolle von Licht in Dimensionen von wenigen Nanometern. Es geht darum, eine Signalübertragung mittels weniger Photonen zu erreichen, wobei einzelne Moleküle als winzig kleine und höchst empfindliche Sensoren wirken, welche optische Signale aus der Nanowelt der Moleküle direkt in die Makrowelt der Menschen übertragen können. Die Nano-Optik erlaubt es schon heute, einzelne lichtaussendende Moleküle auf einem Chip unter Milliarden von anderen Molekülen nachzuweisen. Sie werden identifiziert und mit Nanometergenauigkeit auf einem Chip lokalisiert, adressiert und geschaltet. Einzelne Moleküle gehören zweifellos zu den kleinsten Speicherzellen für Information, und sie sind die kleinsten schaltbaren Lichtquellen. Punktgenaues, gezieltes Verändern etwa der Orientierung eines Moleküls ist Voraussetzung für eine zuverlässige Informationsgewinnung. Für die Siegener Wissenschaftler ist klar, dass die Nano-Optik von zentraler Bedeutung für die Nanotechnologie ist. Sie hat große Auswirkungen z.B. auf die Datenspeicherung, die schnelle optische Informationsverarbeitung, die Werkstoffwissenschaften und nicht zuletzt auf den ganz wichtigen Bereich der Mikrobiologie und Mikromedizin.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Die Siegener Forscher entwickeln neue Methoden zur optischen Detektion, Identifikation, Spektroskopie und Manipulation einzelner Moleküle und lichtemittierender Nano-Partikel. Dazu bauen sie in ihren Laboren modernste konfokale und nahfeldoptische Lasermikroskope (Abb. 1) mit höchster optischer Auflösung und Empfindlichkeit. Um Licht in immer kleineren räumlichen Gebieten zu konzentrieren und zu kontrollieren, untersuchen die Wissenschaftler neuartige Methoden, Licht zu fokussieren. Dies wird in Experimenten etwa durch axial polarisiertes Licht, durch optische Nahfelder an feinen Metallspitzen, Metall-Nanoteilchen, oder durch Kohlenstoff-Nanoröhren (Abb. 2) versucht. In nationalen und internationalen Kooperationen mit Forschungsinstituten und Firmen werden die in Siegen entwickelten Methoden bereits in Wissenschaft und Technik angewendet.

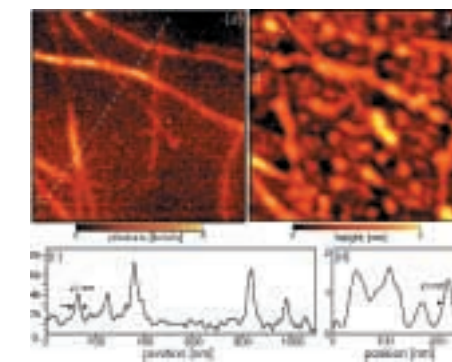


Abb.1: Konfokales/Nahfeldoptisches Mikroskop für den Einsatz im Ultrahochvakuum bei Temperaturen bis 8 Kelvin. Das Mikroskop entstand in Zusammenarbeit mit der Firma OMICRON Nanotechnology, Taunusstein, Deutschland.

Abb.2: Nahfeldoptisches Bild (l.) und Oberfläche (r.) einer Probe mit einzelnen Kohlenstoffnanoröhren. Im Bild auf der linken Seite sieht man nur die Kohlenstoffnanoröhren, weil das optische Signal ausschließlich vom Kohlenstoffgerüst her stammt. Im rechten Bild wird die Oberfläche abgetastet und man sieht neben den Kohlenstoffnanoröhren alle möglichen anderen Strukturen.

Ansprechpartner für dieses Projekt sind:

Prof. Dr. Alfred J. Meixner
meixner@chemie.uni-siegen.de
Prof. Dr. Achim Hartschuh
hartschuh@chemie.uni-siegen.de



Die Bergische Universität Wuppertal hat in ihrem neu strukturierten Fachbereich E die Teilgebiete Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik unter ein Dach geführt. Vor allem die in der Bildungslandschaft weitgehend einmalige Integration des Bereichs Druck- und Medientechnik führt das Institut zu einer Neuausrichtung – sowohl in den Materialwissenschaften als auch im Bereich der Nanotechnologie. Schwerpunkt der Arbeit ist das Gebiet der Polymerelektronik. In diesem Bereich werden elektronische Bauelemente entwickelt und analysiert, die durch ihre Beschaffenheit flexibel sind und sich optimal an die unterschiedlichsten Oberflächen anpassen. Sie sind nicht aus Kristall, sondern aus Kunststoff gefertigt. Auf unterschiedliche Weise können Schaltungen mittels drucktechnischer Methoden realisiert werden. Verwendung findet das Prinzip überwiegend in der optischen Nach-

richtentechnik – etwa bei Bildschirmen. Ziel der Forschung ist es, Methoden zu erproben, um maßgeschneiderte, nanostrukturierte Kunststoffe kostengünstig und umweltschonend zu produzieren. Gleichzeitig werden neue nanoskopische Methoden der Zuverlässigkeitsprüfung einbezogen, da mikroskopische Kontrollmöglichkeiten nicht ausreichen. Analytik und Qualitätsmanagement stehen also im Mittelpunkt der nanotechnologischen Forschungen an der Bergischen Universität.



Kontakt:
Prof. Dr. Ludwig Josef Balk
balk@uni-wuppertal.de
Bergische Universität Wuppertal
Rainer-Gruenter-Straße 21
42119 Wuppertal

Weblink:
<http://www.uni-wuppertal.de>

Thermische Rastersondenmikroskopie

Das Themengebiet:

Die Entwicklung neuer nanoelektronischer Komponenten muss zwangsläufig mit einer umfassenden Zuverlässigkeitsprüfung verbunden sein. Dabei müssen nicht nur elektrische, optische und optoelektronische Eigenschaften bestimmt werden. Entscheidend für die spätere Anwendung sind vor allem die thermischen Eigenschaften. Dies gilt zwar für alle Bereiche der Elektronik, im Falle der Polymerelektronik sind jedoch die Bestimmung der Betriebstemperatur und der thermischen Leitfähigkeiten von besonderer Bedeutung. Der Grund: Sie beeinflussen nicht nur die Funktion, sondern auch in entscheidendem Maße die Haltbarkeit eines Bauelements. Die thermische Rastersondenmikroskopie wurde an der Bergischen Universität Wuppertal zu einer Prüftechnik ausgebaut, die es möglich macht, im Nanometerbereich das thermische Verhalten von Materialien zu erforschen. Das geschieht, ohne diese dabei zu zerstören oder zu beschädigen. Die bisherigen Einsatzgebiete dieser Technik umfassen Siliziumbausteine, Höchstleistungsbauelemente, optoelektronische Komponenten, Keramiken für die Elektrotechnik und Polymersysteme. Das Institut arbeitet sehr praxisbezogen und prüft im Auftrag von mehreren Unternehmen Bauelemente auf Temperaturbeständigkeit und Leitfähigkeit mit dem Ziel, diese Eigenschaften zu optimieren.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Mit Rastersondenmikroskopie wird seit Mitte der 80er Jahre gearbeitet. Der erste Nobelpreis für ein Mikroskop ging 1986 an Forscher von IBM. Die an der Bergischen Universität entwickelte thermische Rastersondenmikroskopie erlaubt inzwischen die Bestimmung thermischer Leitfähigkeiten in einem großen Bereich (1 ... 2000 Wm⁻¹K⁻¹). Es ist dabei gewährleistet, dass der gemessene Wert nicht mehr als fünf Prozent vom tatsächlichen Wert abweicht. Auch die lokale absolute Temperatur innerhalb eines aktiv betriebenen Bauelementes kann mit einer Genauigkeit von wenigen Millikelvin ermittelt werden. Das neue Verfahren macht es überflüssig, die Proben vor der Untersuchung zu präparieren. Da dieses Prüfverfahren anwendbar ist, ohne das Bauelement in seiner Funktion zu beeinträchtigen, ist ein leichter Zugriff auf die thermischen Eigenschaften neuer Materialien gegeben.

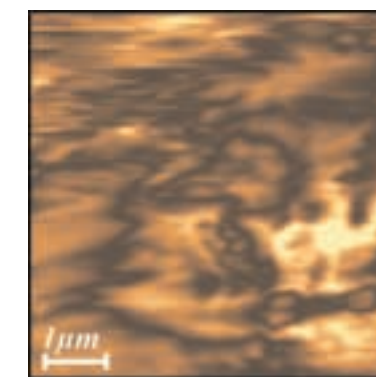


Abb.2: Fluktuation der thermischen Leitfähigkeit einer scheinbar homogenen Diamantoberfläche.

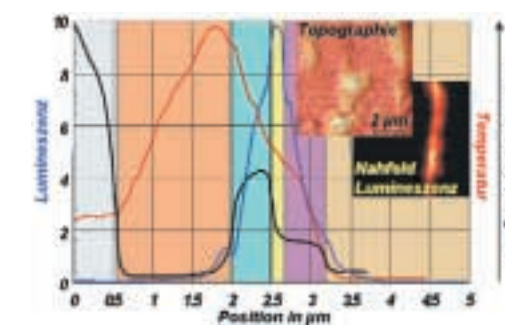


Abb.1: Verlauf der wesentlichen Kenngrößen einer Leuchtdiode über ihre Schichtsysteme hinweg.

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Dr. Ralf Heiderhoff
heiderho@uni-wuppertal.de

<http://www.electronics.uni-wuppertal.de/>

Nanostrukturierte Polymermaterialien

Das Themengebiet:

Nanostrukturierte Polymermaterialien spielen als entscheidende Komponenten in elektronischen Bauelementen eine immer größere Rolle. Hervorzuheben sind dabei vor allem photovoltaische Bauelemente – solche also, die in der Energiegewinnung durch Licht eingesetzt werden – etwa Photodioden und Solarzellen. Ziel der Forschung an diesen Materialien ist es, aus einem Minimum an Licht ein Maximum an Energie zu gewinnen. Dabei gewinnen Strategien zum Design nanostrukturierter Materialien zunehmend an Bedeutung. Die dabei angewandte Palette von Methoden ist groß. Dazu gehört etwa das Nanoimprint-Verfahren: Das Material wird dabei wie durch einen Stempel mit Informationen geprägt. Ebenso das so genannte "self assembly"-Verfahren: Dabei nutzt der Wissenschaftler die ihm bekannten Verhaltensweisen von Nanopartikeln, die sich dann nach einem bestimmten Muster auf der Oberfläche verteilen. Die Effizienz der Bauelemente ist stark von der Oberflächenstruktur abhängig. Die Entwicklung von Materialien, die Nanostrukturen mit Dimensionen von unter 20 Nanometer ausbilden, wird als Schlüssel zur Steigerung der Effizienz von Solarzellen angesehen. Denn nur solche fein strukturierten organischen Materialien können bei der Energieumwandlung die optimalen Eigenschaften entwickeln.

Aktuelle Forschungsergebnisse:

Am Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie wird an organischen Halbleitermaterialien geforscht. Es geht dabei sowohl darum, die bereits bestehenden Stoffe zu optimieren als auch darum, neue zu entwickeln. Ziel ist die Bereitstellung maßgeschneiderter Materialien mit hoher Reinheit und optimierten elektronischen Eigenschaften. Die Palette reicht dabei von Materialien für organische Leuchtdioden und organische Polymerlaser über Polymere für Photovoltaikanwendungen bis zu Halbleiterpolymeren für die Polymerelektronik (Polymertransistoren). Praxisnahe und interdisziplinäre Forschung steht dabei im Vordergrund: So entwickelt die Bergische Universität Wuppertal derzeit mit der Firma Siemens Photovoltaikbauelemente auf der Basis organischer Solarzellen. Die Ergebnisse dieser Forschung sollen innerhalb der kommenden Jahre kommerzialisiert werden.

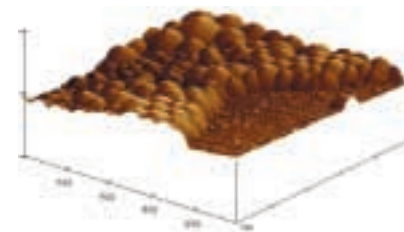


Abb.2: Halbleiterpolymer-Nanopartikeln als aktive Schicht für neuartige photovoltaische Bauelemente.

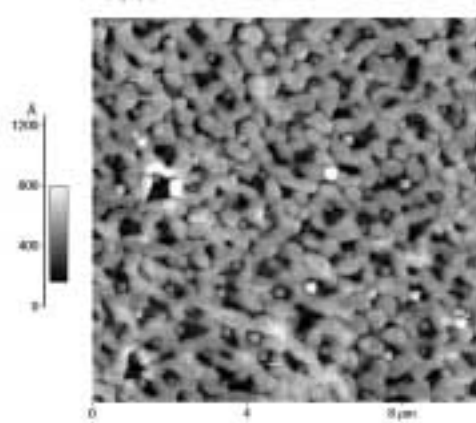


Abb.1: Spontane Nanostrukturbildung in halbleitenden Blockcopolymer-Materialien für photovoltaische Bauelemente.

Ansprechpartner für dieses Projekt ist:

Prof. Dr. Ulrich Scherf
scherf@uni-wuppertal.de

<http://www2.uni-wuppertal.de/FB9/poly/>

Entwicklung der Nanotechnologie an NRW-Universitäten

Bereits vor zehn Jahren begannen einzelne Lehrstühle an NRW-Universitäten die ersten grundlegenden Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Nanotechnologie, die einen deutlichen Bezug zur Anwendung in der Informationstechnik aufweisen. Es handelt sich dabei um wesentliche Methoden zur sicheren Erzeugung von Nanostrukturen unter 50 nm, die für die Realisierung neuartiger Bauelemente notwendig sind. Darüber hinaus eröffnete die Nanotechnologie nicht nur neue Perspektiven für derartige Bauelemente, sondern auch die Verbindung von Speicher und Logikelementen sowie generell eine erhöhte Verbesserung der Speicherdichte und Prozessorgeschwindigkeit.

Sowohl die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) als auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f) begannen zu dieser Zeit mit der gezielten Förderung von Arbeiten auf dem Gebiet der Nanotechnologie für elektronische und optische Komponenten. Parallel dazu wurde auch die Entwicklung der Nanoanalytik gefördert, die als Querschnittstechnologie für die Beherrschung der Prozesstechnik besonders wichtig ist. Die Chipindustrie und die Geräteindustrie in der Halbleitertechnik nahmen bereits in der zweiten Hälfte der vergangenen Dekade Arbeiten aus den Universitäten auf und starteten eigene erfolgreiche Projekte. Im Jahre 1998 startete das bmb+f eine gezielte Fördermaßnahme der Nanotechnologie durch die Etablierung von sechs nationalen Kompetenzzentren, deren Aktivitäten zu einer weiteren Vertiefung und Umsetzung der Forschung auf dem Gebiet der Nanotechnologie für Informationstechnik an den Universitäten führte.

Im Laufe der letzten Dekade wurde die Bedeutung der Nanotechnologie für die Informationstechnik durch eine Reihe wissenschaftlich-technischer Durchbrüche auch von der Industrieforschung deutlich erkannt, und von Seiten des bmb+f in einem größeren Förderrahmen gezielt auf andere Anwendungsbereiche erweitert. Im Folgenden wird chronologisch der Aufbau von interdisziplinären Gruppen an NRW-Universitäten und außeruniversitären Zentren dargestellt.

Juli 1997

Eröffnung des ersten außeruniversitären Institutes für Nanotechnologie, AMICA, *Advanced Microelectronic Center Aachen*, in Aachen mit dem Schwerpunkt Informationstechnik.

Mai 1998

Das bmb+f schreibt einen Wettbewerb für nationale Kompetenzzentren aus, der von Aachen und Münster gewonnen wird.

Dez. 1998

Etablierung des *Kompetenzzentrums für funktionale, laterale Nanostrukturen* in Aachen und des *Kompetenzzentrums Nanoanalytik* in Hamburg / Münster / München.

Febr. 2002

Gründung des *RWTH-NanoClubs* in Aachen.

Okt. 2002

Gründung des *Center of Micro- and Nanochemistry and engineering (Cμ)* in Siegen.

Okt. 2002

Gründung des *Center of Excellence Nanostrukturen und Nanomaterialien* in Bochum.



Juni 2003

Eröffnung des zweiten außeruniversitären Nanotechnologiezentrums *Center for NanoTechnology (CeNTec)* in Münster mit Schwerpunkt Nanoanalytik und Nanobiotechnologie.

Jan. 2004

Gründung des *Ernst-Ruska-Zentrums für höchstauflösende Analytik* am Forschungszentrum Jülich in gemeinsamer Trägerschaft mit der RWTH Aachen.

Jan. 2004

Gründung des *Zentrums für Optoelektronik und Photonik der Universität Paderborn (CeOPP)*.

April 2004

Gründung des Bielefeld *Institute for Biophysics and Nanoscience (BINAS)* in Bielefeld.

April 2004

Gründung des universitären *NRW-Nanotechnologieclusters für Informationstechnik* in Aachen, Aufbau einer Geschäftsstelle an der AMO GmbH.

Die Universitäten Duisburg-Essen (*Research Centre Microtechnology and Nanostructures*) und Münster (*FOKUS*) planen zurzeit ebenfalls den Aufbau interdisziplinärer Zentren auf dem Gebiet der Informationstechnik.

Geplant ist ebenfalls noch 2004 die Gründung eines Regionalverbundes zwischen dem *CNI Jülich (Center of Nanoelectronic Systems for Information Technology)* und dem RWTH-NanoClub.



Ansprechpartner:

Dipl.-Kff. Maike Meyer
meyer@amo.de
www.amo.de

Atomsondentomographie:

Sie erlaubt es, geeignete Proben Atom für Atom abzutragen, die einzelnen Atome zu identifizieren und ihren Herkunftsort in der Probe mit großer Genauigkeit zu bestimmen.

Ballistische Bewegungsenergie:

Energie, die in sich schnell bewegenden Massen enthalten ist.

Biosensoren: Sie stellen eine Schnittstelle zwischen Elektronik und Biologie dar. Beispiele sind Elemente, mit denen komplexe chemische Verbindungen oder biologische Moleküle ohne Verzögerung nachgewiesen werden können.

Brennstoffzelle, Brennstoffelement:

Galvanisches Element, in dem die Reaktionsenergie aus der Oxidation des Brennstoffs (Wasserstoff, Kohlenstoff) mit Hilfe von Sauerstoff oder Luft kontinuierlich direkt in elektrische Energie umgewandelt wird.

Coulomb-Blockade:

Die durch Abstoßung gleicher Ladungen bedingte Blockierung von Umladeprozessen. Bei Metallkontakten, die nur wenige Nanometer groß sind, kann dies u.a. dazu führen, dass ein Tunnelstrom über diese Kontakte vollständig unterdrückt wird.

Dispersionskompensatoren:

Beim Übertragen von Licht in optischen Fasern bewegt sich Licht unterschiedlicher Wellenlänge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Dispersion). Dieser Effekt kann über Dispersionskompensatoren ausgeglichen werden.

Doppelhetero-pin-Diode: Diode auf Halbleiterbasis, die aus unterschiedlichen Halbleitermaterialien besteht.

Durchstimmbare Komponenten:

Bauteile, bei denen eine bestimmte Eigenschaft von außen beeinflusst werden kann.

Einzelmolekülspektroskopie:

Beschäftigt sich mit dem Nachweis und der Beobachtung von einzelnen Molekülen im Gegensatz zu herkömmlichen Untersuchungsmethoden, die eine Substanzmenge (eine Vielzahl von gleichartigen Molekülen) erfordern.

Elektrolumineszenz:

Bei elektrischer Vorspannung wird aufgenommene Energie als Strahlung bestimmter Wellenlänge abgegeben.

Elektronenstrahl-Lithographie:

Lithographieverfahren, bei welchem die zu definierenden Strukturen mittels eines Elektronenstrahls geschrieben werden

Energiedissipation: Die Umwandlung von Energie einer Form in andere Formen begleitet alle Prozesse.

Feldeffekttransistor (FET):

Bei FET's kann die Leitfähigkeit eines halbleitenden Kanals durch ein elektrisches Feld, das auf den Kanal wirkt, verändert werden. FET's haben drei Anschlüsse. Diese werden als Source "S" (für Quelle), als Drain "D" (für Senke) und als Gate "G" (Tor) bezeichnet. Source und Drain sind die beiden Enden des Kanals, während Gate die Steuerelektrode ist, die die Leitfähigkeit des Kanals reguliert.

Ferromagnet: Substanz, die ohne Anwesenheit eines äußeren Magnetfeldes ein permanentes magnetisches Moment besitzt (z.B. Dauermagnet).

Gallium Arsenid, (GaAs): Halbleiter aus einer Verbindung der chemischen Elemente Gallium und Arsen.

Halbleiter: Unter einem Halbleiter versteht man einen Festkörper, dessen elektrische Leitfähigkeit zwischen der eines Metalls und der eines Isolators liegt. Diese kann gezielt durch Dotierung eingestellt werden.

Halbleiterbasierende

Quantenoptik: Durch die Abmessungen im Bereich von wenigen Nanometern werden Quanteneffekte beobachtet und gezielt für optische Anwendungen ausgenutzt.

Handheld Biochips: Miniaturisierter Chip (typischerweise groß wie ein Fingernagel), der mehrere tausend biochemische Reaktionen in wenigen Sekunden durchführen kann.

Heteroschichten: Mehrfachschichtung von Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften, die für Bauelemente-Anwendungen optimiert sind.

Heterogene Katalyse:

Eine Reaktion, die von den Phasenverhältnissen der Reaktionspartner abhängt. Prinzipiell wird unterschieden, ob an der Reaktion Stoffe beteiligt sind, die in ein und derselben Phase (homogene Flüssigphasen- oder Gasphasenreaktionen) oder in mehreren Phasen (heterogene) vorliegen.

Hybrid-Nanostrukturen:

Nanostrukturen, die aus mindestens zwei unterschiedlichen Materialien bestehen.

Indiumphosphid (InP):

Halbleitermaterial aus den Materialien Indium und Phosphor.

Langmuir-Blodgett-Technik:

Ein etabliertes nasschemisches Verfahren zur Herstellung organometallischer Dünnschichten, aus denen durch Bestrahlung mit UV-Licht und Erhitzen in verschiedenen Gasatmosphären Metalloxid-Filme hergestellt werden können.

Lithographie:

Verfahren der Halbleitertechnologie zur kontrollierten Strukturdefinition auf Halbleitern (z. B. Siliziumscheiben). Die Definition wird aufgrund der Härte der zu bearbeitenden Materialien meist in einer auf der Oberfläche aufgetragenen reaktiven Lackschicht durchgeführt.

Lochbindungsenergie: Energie, die benötigt wird, um in einem Festkörper eine Elektron-Fehlstelle (Loch) vollständig von einem gebundenen in einen ungebundenen Zustand zu bringen.

Lochgrundzustand:

Niedrigster Energiezustand, den eine Elektron-Fehlstelle (Loch) einnehmen kann.

Magnetoelektronik: Zusammen mit Spinelektronik ein zukunftsweisendes Forschungsthema.

Makroskopisch: Mit bloßem Auge, ohne Hilfsmittel erkennbar.

Kelvin: Temperatureinheit, 0 Kelvin entsprechen dem absoluten Nullpunkt (-273 °C), die Skalenabstände entsprechen der Celsiusskala.

Mikrofluidik: Sammelbegriff für das Fließverhalten von Flüssigkeiten in Strukturen, deren Dimensionen im Mikrometerbereich liegen.

Molekularstrahlepitaxie: Eine Methode, um dünne kristalline Schichten herzustellen. Epitaxie bedeutet dabei, dass die Kristallstruktur der aufwachsenden Schicht sich der des Substrates anpasst, solange die physikalischen Eigenschaften der beiden Substanzen nicht zu stark voneinander abweichen.

Nanodots: Winzige, wenige Nanometer große Punkte z.B. aus Silizium, die be- und entladen werden können, und auf diese Weise etwa als Informationsspeicher dienen.

Nanolithographie: Lithographie-Techniken (siehe Lithographie), die Strukturgrößen unter ca. 100 nm erreichen.

Nanooptik: Beschäftigt sich mit den Phänomenen und der Kontrolle von Licht in Dimensionen von wenigen Nanometern. Eine wichtige Anwendung ist die optische Spektroskopie einzelner Moleküle. Siehe auch "Einzelmolekülspektroskopie".

Nanoskopisch: ("nano": griechisch "Zwerg") Vorgänge und Strukturen in winzigen Dimensionen. Ein Nanometer (abgekürzt nm) sind 10^{-9} Meter (oder ausgeschrieben $1\text{ nm} = 0,000000001\text{ m}$). Atome sind typischerweise 0,1 - 0,5 nm im Durchmesser.

Nanotransistor: siehe auch Feldeffekttransistor. Transistor mit minimalen Strukturdimensionen im Nanometerbereich.

Nichtflüchtiger Datenspeicher: Nichtflüchtige Datenspeicher (Non Volatile Memory, NVM) garantieren, dass gespeicherte Informationen auch ohne Stromversorgung erhalten bleiben.

Optoelektronik: Die Optoelektronik stellt Produkte her, die sich nach dem Bedarf der optischen Mess-, Kommunikations- und Nachrichtentechnik und der Bildverarbeitung richten.

Optische Sensorik: Berührungslose Messung und automatisierte Analyse von Prozessen mittels auf Licht basierender Messmethoden.

Photodiode: Die Photodioden sind Halbleiterbauelemente, bei welchen durch

die Bestrahlung mit Licht Ladungsträger frei gesetzt werden, die zu einem Stromfluss führen.

Photon: "Elementarteilchen" des Lichts und aller anderen elektromagnetischen Wellen. Es bewegt sich immer mit Lichtgeschwindigkeit, hat keine Ruhemasse.

Photonische Kristalle: Periodisch strukturierte Kristalle, die wie ein "Halbleiter für Licht" wirken.

Polymertransistor: Transistor auf Polymerbasis.

Präzession: Lageveränderung der Achse eines rotierenden Kreisels, wenn äußere Kräfte (Drehmomente) auf ihn einwirken. Die Präzession lässt sich bei jedem Spielzeugkreisel beobachten. Steht er genau senkrecht, wirkt kein Drehmoment auf ihn ein, da die Schwerkraft parallel zur Achse ist. Deshalb bleibt die Achse senkrecht, es findet keine Präzession statt.

Quantencomputer: Ein Computer mit quantenmechanischen Eigenschaften. Statt Bits benutzt ein Quantencomputer so genannte QuBits als Grundlage.

Quantendraht: Zylinderförmige Nanostruktur mit einer Dicke von wenigen Nanometern und bis zu einigen Mikrometern Länge, die aufgrund ihrer praktisch eindimensionalen Struktur spezielle Leitfähigkeitseigenschaften zeigt.

Quanteninformationstechnologie: siehe Quantencomputer.

Quantengitter: Eine Art Rechengitter aus einzelnen Atomen, die selbst wiederum in einem künstlichen Kristall aus Laserlicht gefangen sind.

Quantenkryptographie: Verschlüsselung von Information mit Hilfe der Quantenmechanik.

Quantenpunkt: Eine nanoskopische Struktur, meist aus Halbleitermaterial.

Quantum-Confined-Stark-Effekt: Wirkung eines elektrischen Feldes auf die Absorption und Emission von Licht durch ein lokal eingeschränktes (quantisiertes) elektronisches System im Halbleiter.

QuBits (Quanten-Bits):

QuBits werden bei Quantencomputern verwendet. Sie können nicht nur die Werte (Zustände) 0 und 1 annehmen, sondern auch beliebige Superpositionen dieser Zustände. Verschränkte Zustände mehrerer QuBits sind möglich.

Rasterelektronenmikroskop:

Mikroskop, welches zur Untersuchung von kleinen Strukturen bis in den Nanometerbereich Verwendung findet. Ein Elektronenstrahl tastet die Oberfläche der zu untersuchenden Probe ab und wird zur Bildgebung ausgewertet.

Rasterkraftmikroskop:

Ein Rasterkraftmikroskop (engl. Atomic Force Microscope, AFM) erlaubt die Darstellung von Oberflächen in einem weiten Größenbereich: von der Abbildung einzelner Atome und Moleküle bis hin zur Darstellung von mikrometergroßen Objekten.

Schottky-Diode:

Ein elektronisches Bauelement mit nicht-linearer Strom-Spannungs-Kennlinie, das für die Signalverarbeitung bis in den Mikrowellenbereich genutzt wird.

Spinelektronik/Spintronik: Bei der Spinelektronik sollen nicht nur die elektrische Ladung, sondern auch die Eigenrotation (Spin) von Elektronen und Atomkernen zur Verarbeitung und Codierung von Informationen verwendet werden.

Selbstorganisation:

Eine Form der Organisation, bei der die formgebenden bzw. beschränkenden Einflüsse von den Elementen des sich organisierenden Systems selbst ausgehen.

Tunneleffekt:

Tunneleffekt bezeichnet den Effekt der Quantentheorie, dass ein Teilchen Bereiche überwinden kann, in denen es aus energetischen Gründen nicht sein kann. Vereinfacht ausgedrückt: "Ein Teilchen leiht sich für kurze Zeit ein bisschen Energie, springt damit über einen Berg und gibt danach die Energie wieder zurück."

Wellenleiter: Faser zur Übertragung von Licht (Lichtwellen) in der optischen Datenübertragung.

Herausgeber:

AMO GmbH
Huyskensweg 25
52074 Aachen
T.: 0241 8867 200
F.: 0241 8867 560
www.amo.de
amo@amo.de



Verantwortlich:

Dipl.-Kff. Maike Meyer
Geschäftsstelle
NRW-NanoCluster für
Informationstechnik

gefördert durch

Ministerium
für Wissenschaft und Forschung
des Landes Nordrhein-Westfalen



Verantwortlich für Texte und dazugehöriges Bildmaterial:

Sprecher der Universitäten

AMO GmbH

Universität Aachen

Universität Bielefeld

Universität Bochum

Universität Bonn

Universität Dortmund

Universität Duisburg/Essen

Universität Münster

Universität Siegen

Universität Paderborn

Universität Wuppertal

Weitere Bildquellen:

Getty Images (3 Bilder, inkl. Titel)

Harald Krämer, (1 Bild/Seite 2)
Zeitungsverlag Aachen

Redaktionelle Koordination:

Natascha Plankermann
www.pla-text.de

Grafik Design:

Nina Plankermann
www.arche18.de

Stand:

Mai 2004

