

# Nanotechnologie am FB Physik der Universität Hamburg

Prof. Dr. Roland Wiesendanger  
– Geschäftsführender Direktor –

Institut für Angewandte Physik  
Zentrum für Mikrostrukturforschung

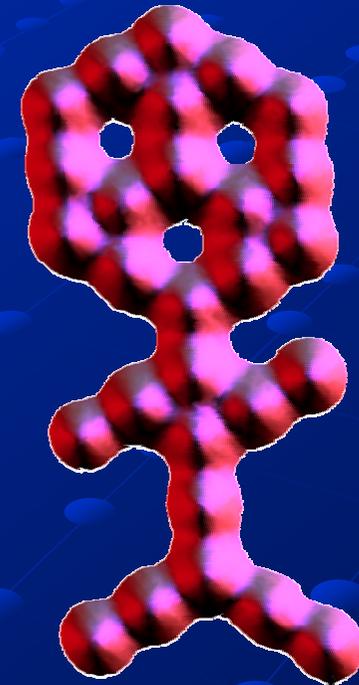


## Wissenschaftlich-technischer Fortschritt durch Miniaturisierung:

Makrophysik      →      Mikrophysik      →      Nanophysik

## Verbesserte Funktionalitäten durch Nanostrukturen:

- prinzipiell neuartiges Verhalten durch quantenmechanische Effekte (Quantisierung der Energieniveaus, Tunneleffekte, Einzel-Elektronen-Effekte)
- Selbstorganisationsphänomene
- Möglichkeit des gezielten Aufbaus von Nanostrukturen aus einzelnen Atomen und Molekülen



„There’s plenty of room at the bottom“

*Richard P. Feynmann (1959)*



# Zentrum für Festkörper- und Nanostrukturphysik



## Forschungsschwerpunkt und -gruppen



### Forschungsthemen:

- Präparation und Analyse von nanostrukturierten Systemen
- Elektronische und magnetische Eigenschaften von Nanostrukturen
- Theoretisches Verständnis von Effekten in Nanostrukturen
- Weiterentwicklung von analytischen Verfahren (u.a. bei tiefen Temperaturen / hohen Magnetfeldern / im Ultrahochvakuum)
- Neue Bauelemente der Magnetoelektronik / Spintronik

### **FG in der Nanostrukturphysik**

#### Experimentell:

Prof. Hansen  
Prof. Heitmann  
Prof. Kötzler  
Prof. Merkt  
Prof. Oepen  
Prof. Wiesendanger

#### Theoretisch:

Jun-Prof. Heinze  
Prof. Lichtenstein  
Prof. Pfannkuche



## Herausragende Ausstattung

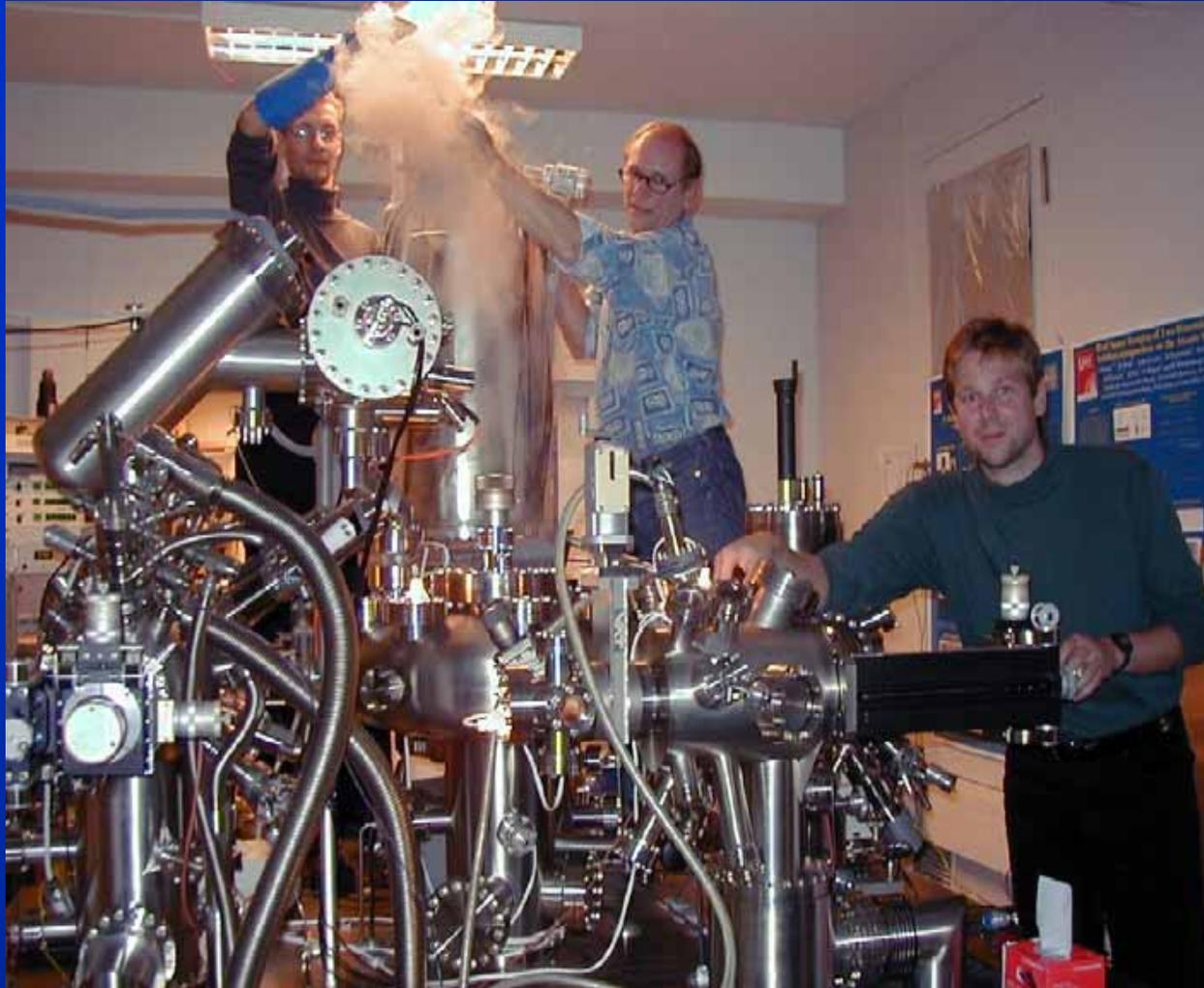
**Reinraum  
mit 100 m<sup>2</sup> Laborfläche**



**Laborräume mit  
separaten  
Fundamenten zur  
Entkopplung von  
Schwingungen.**

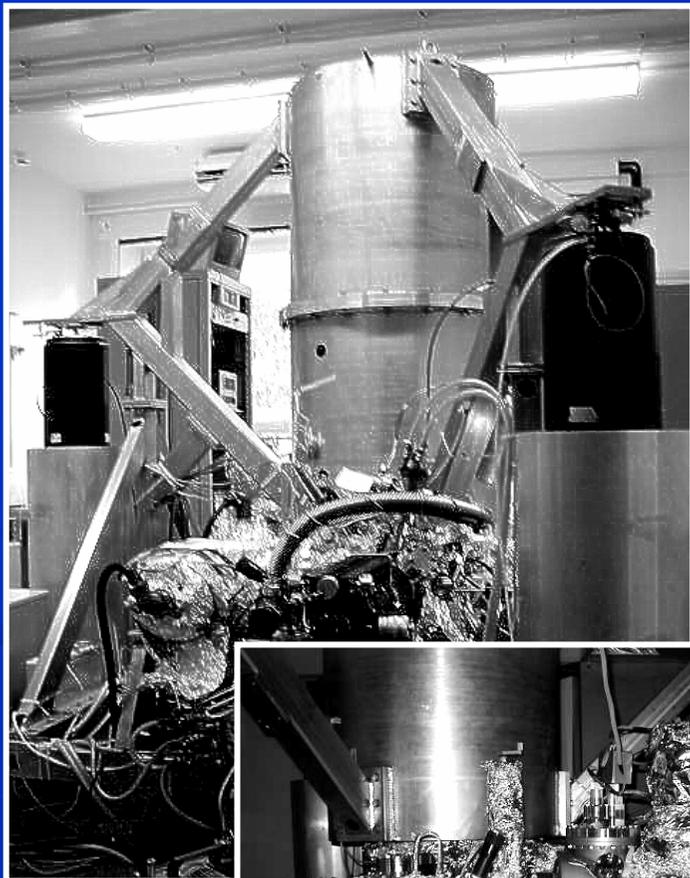
**Hochleistungsrechner  
„HAEGAR“**





Andre Kubetzka, Oswald Pietzsch und Mathias Bode am Rastertunnelmikroskop

# 250mK / 14T STM System in UHV



# Reinraum



Der Reinraum ist ausgestattet mit modernsten Prozess- und Analysemethoden zur Herstellung kleinster Strukturen.

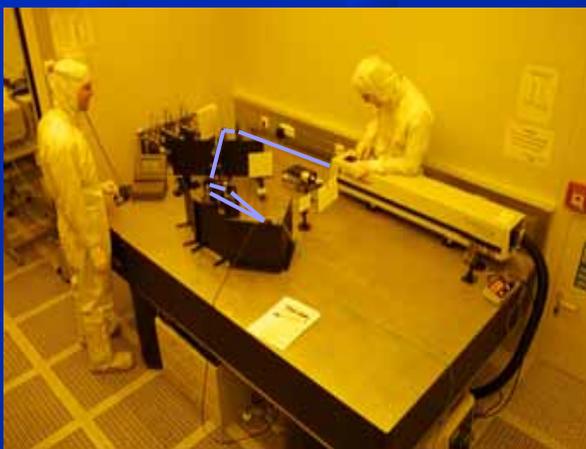


Luftaufbereitung

Laborebene

Absaugen der Luft und Rückführung in die oberste Ebene

Holographische Lithographie



Rasterelektronenmikroskop mit Elektronenstrahl-Lithographie



PECVD-Anlage zum Wachstum dünner Schichten



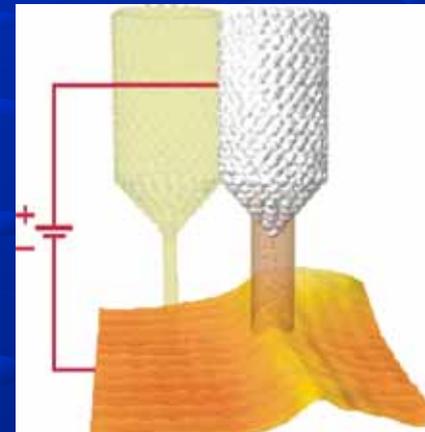


## Forschungsgebiet:

Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Struktur und physikalischen Eigenschaften von Nanostrukturen mit diversen Methoden der Rastersondenmikroskopie

## Grundprinzip der Rastersondenmikroskopie:

- Zeilenweises Abtasten der Probenoberfläche mit einer Spitze
- Wechselwirkung zwischen Spitze und Probe liefert lokale Probeninformation
- Wechselwirkungen:  
Tunneleffekt  
div. Kräfte (magnetische, elektrostatische, chemische,...)
- Auflösungsvermögen bis in den atomaren Bereich.



Prinzip des Rastertunnelmikroskops



Rastersondenmikroskop

Prof. Roland Wiesendanger (Tel. -5244), [wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de](mailto:wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de)  
 Dr. Matthias Bode (Tel. -2041), [bode@physnet.uni-hamburg.de](mailto:bode@physnet.uni-hamburg.de)  
 Dr. Alexander Schwarz (Tel. -6139), [schwarz@physnet.uni-hamburg.de](mailto:schwarz@physnet.uni-hamburg.de)  
 Dr. Markus Morgenstern (Tel. 3282), [morgenstern@physnet.uni-hamburg.de](mailto:morgenstern@physnet.uni-hamburg.de)



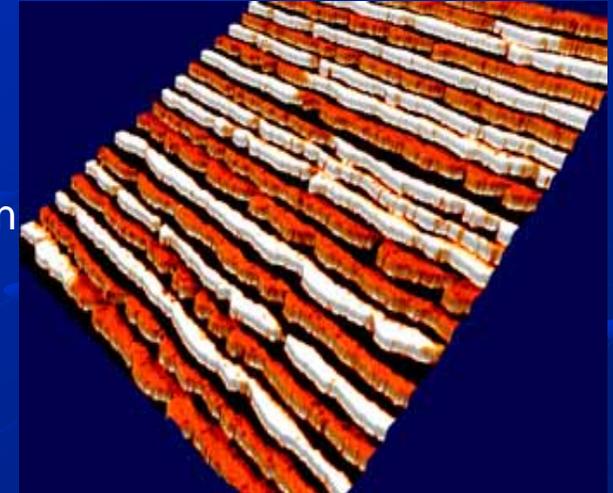
## 1. Höchstauflösende Untersuchung magnetischer Nanostrukturen

### Methoden:

- Spinpolarisierte Rastertunnelmikroskopie (in dieser Arbeitsgruppe weltweit erstmalig realisiert)  
→ Nutzung des Elektronenspins für magnetische Messungen
- Magnetkraftmikroskopie

### Mögliche Anwendungen:

- Magnetische Datenspeicher mit höchster Datendichte (Tbit / inch<sup>2</sup>)



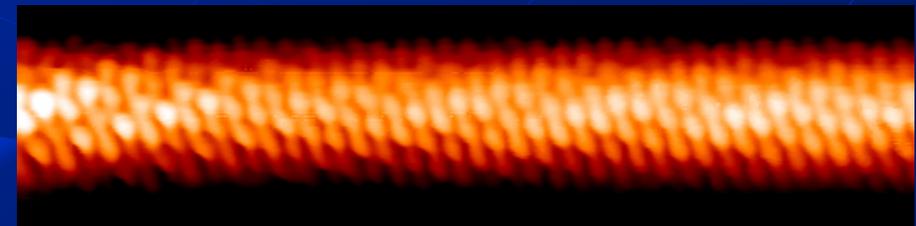
Eisen-Nanostreifen: Topographie und magnetisches Signal

## 2. Elektronische Eigenschaften von halbleitenden Nanostrukturen

## 3. Elektronische und magnetische Eigenschaften von Molekülen

### Exemplarische Themen:

- Einfluss der Struktur auf die Elektronenzustände
- Einfluss von äußeren Magnetfeldern
- Direkte Abbildung von Elektronen-Wellenfunktionen



Atomar aufgelöstes Bild einer Kohlenstoff-Nanoröhre.

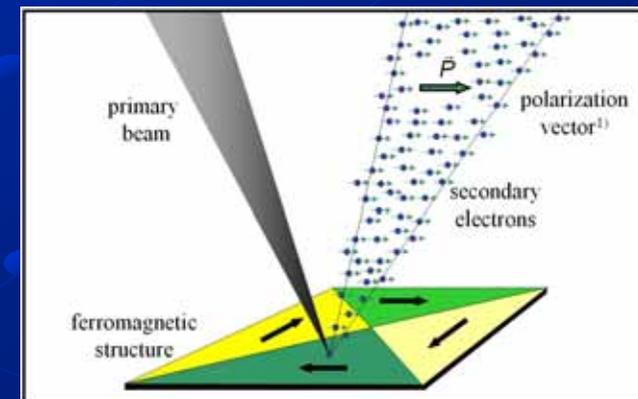


## Forschungsgebiet:

Herstellung und Charakterisierung von magnetischen Nanostrukturen bezüglich struktureller, morphologischer und magnetischer Eigenschaften.

## Zentrale Technologien:

- Präparation:
- Epitaktisches Wachstum
  - Focused Ion Beam - Lithographie
- Analyse:
- Rasterelektronenmikroskopie mit Polarisationsanalyse (SEMPA)
  - Magnetooptische Kerr – Mikroskopie
  - Magnetische Suszeptibilität



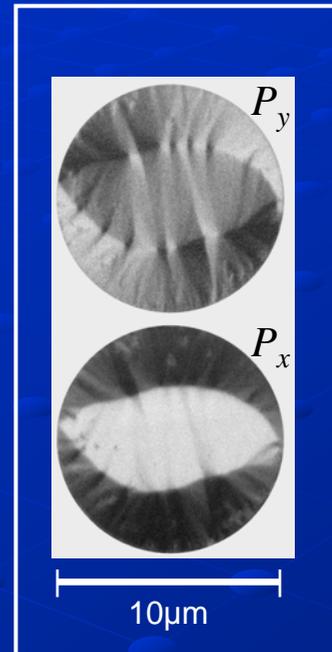
SEMPA - Prinzip



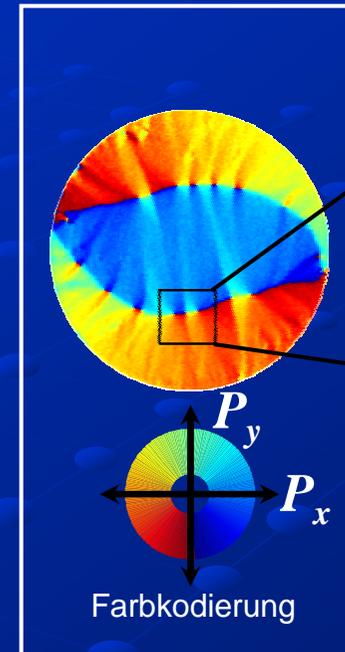
## Fragestellungen:

- Magnetische Eigenschaften dünner Filme auf mikroskopischer Skala
- Einfluss der Niederdimensionalität (2D / 1D / 0D) von Nanostrukturen auf den Magnetismus („finite size“ – Effekte)

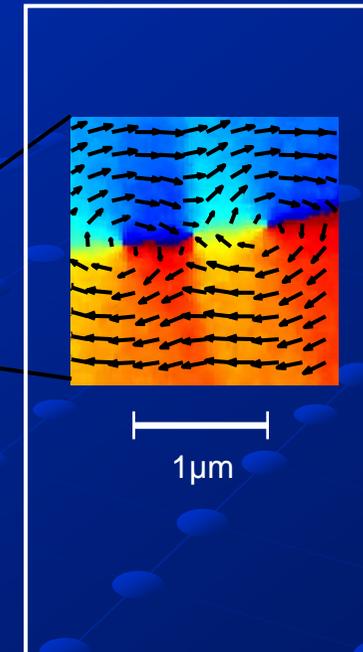
Einzelne Komponenten



P<sub>x</sub> und P<sub>y</sub> kombiniert



Gemessener Vektor:  $\vec{P}$



## Mögliche Anwendungen:

- Magnetische Sensoren
- Hybrid-Systeme (Halbleiter/Ferromagnet) als Basis neuartiger Elektronik-Elemente (RAM, Transistor)

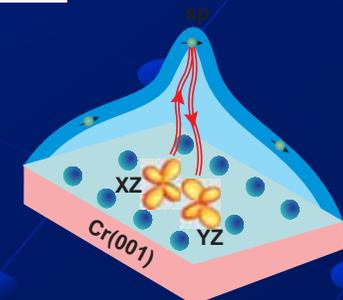
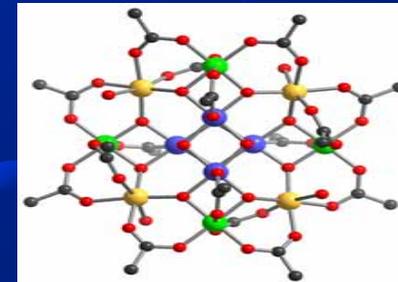
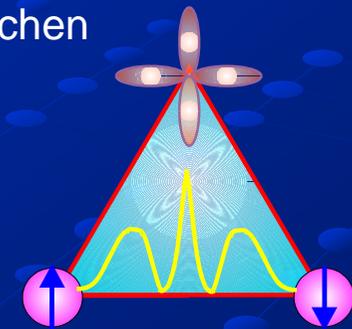
SEMPA – Messung auf Co(50nm)/SiO<sub>2</sub>(1200nm)/Si(111)

## Forschungsgebiet:

- Untersuchung der elektronischen Struktur, der Spin- und orbitalen Ordnung von magnetischen Nanosystemen.
- Theoretische Suche nach optimalen Systemen mit besonderen magnetischen Eigenschaften.

## Aktuelle Themen:

- Spin-Ladung-Orbital Ordnung in stark korrelierten Nanosystemen mittels Dynamischer "Mean field Theory"
- Austausch-Wechselwirkungen in molekularen Magneten mittels Lokaler Dichte-Approximation
- Orbitale Kondoresonanzen von Übergangsmetall-Adsorbaten auf metallischen Oberflächen



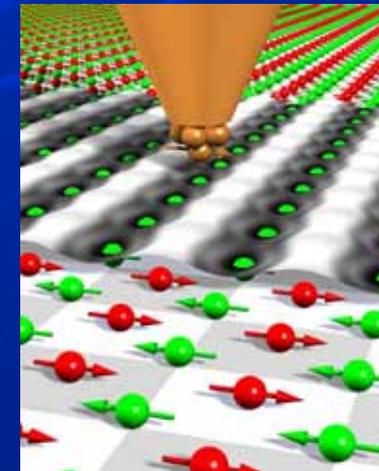


## Forschungsgebiet:

Theoretische Beschreibung der elektronischen, strukturellen, und magnetischen Eigenschaften nanostrukturierter Festkörper, für Anwendungen als nano- oder spinelektronische Bauelemente.

## Aktuelle Themen:

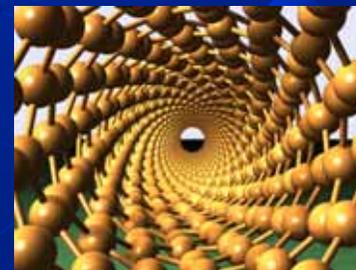
- Magnetismus in reduzierten Dimensionen, z.B. Oberflächen, dünne Filme, Schichtsysteme, atomare Ketten, Adsorbate.
- Theorie der Rastertunnelmikroskopie und die Anwendung zur Interpretation und Vorhersage von Messungen.
- Transporteigenschaften von nanoelektronischen Bauelementen (z.B. Ballistischer Transport in Kohlenstoffnanoröhrchen)



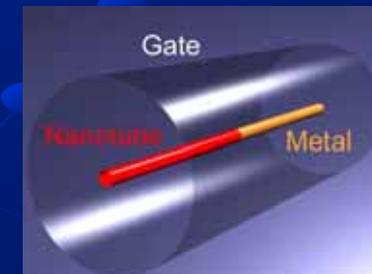
Spitze eines Rastertunnelmikroskops über einer antiferromagnetischen Oberfläche

## Mögliche Anwendungen:

- Transistor auf Basis einer Kohlenstoff-Nanoröhre:



Blick durch eine Kohlenstoff-Nanoröhre



Transistor mit Stromfluss durch Kohlenstoff-Nanoröhre



## Forschungsgebiet:

Herstellung und Analyse von nanostrukturierten Halbleitern, Ferromagneten und Metallen

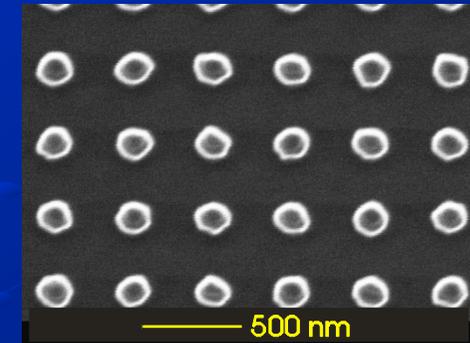
## Zentrale Technologien:

Präparation:

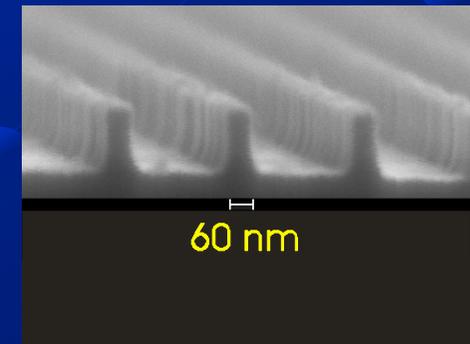
- Molekularstrahlepitaxie
- holographische und Elektronenstrahlithographie

Analyse:

- diverse spektroskopische Methoden (Ferninfrarot-, Raman-, Photolumineszenz, ...)
- elektrischer Transport
- SQUID- und Cantilever - Magnetometrie



Array von Quantendots



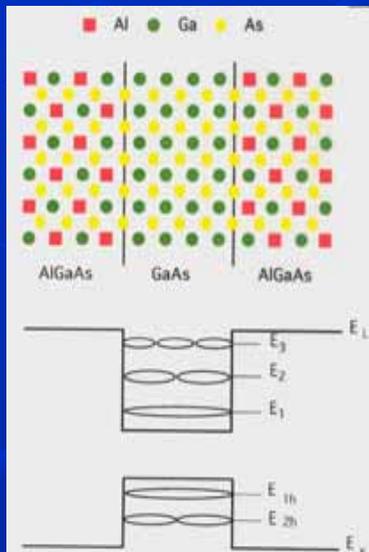
Quantendrähte



## Fragestellung:

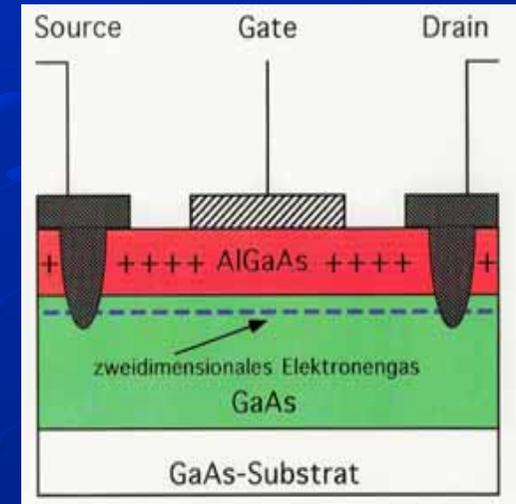
Auswirkung der weiteren Verkleinerung von elektronischen / magnetischen Bauelementen:

- Quantisierung der Energieniveaus
- Effekte einzelner Elektronen
- Vielteilchen-Wechselwirkung



## Beisp.: Quantum Well

- Heterostruktur aus den Halbleitern GaAs und AlGaAs
- Ausbildung eines zwei-dimensionalen Elektronengases mit quantisierten Energiezuständen.



## Anwendungen:

- High Electron Mobility Transistor (HEMT)  
Hochfrequenztransistor, der bereits in der Kommunikationstechnologie verbreitet ist.
- Laserdioden



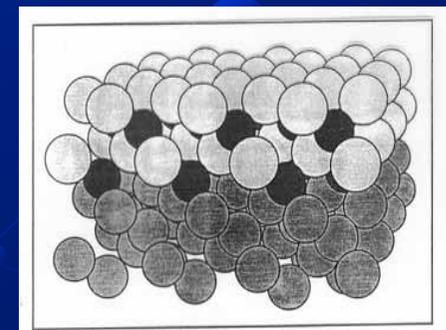
## Forschungsgebiet:

Herstellung und Untersuchung von Halbleiter-Nanostrukturen, deren elektronische und optische Eigenschaften wesentlich von Quanteneffekten bestimmt werden.

## Zentrale Technologien:

- Präparation:
- Molekularstrahlepitaxie (MBE)
  - Lithographie
- Analyse:
- Zeitaufgelöste Kapazitätsspektroskopie
  - Magnetotransportmessungen bei Millikelvintemperaturen

Ansicht der MBE-Anlage



Molekularstrahlepitaxie:  
Atomlagen-genaues Wachstum mit  
perfekter Grenzfläche



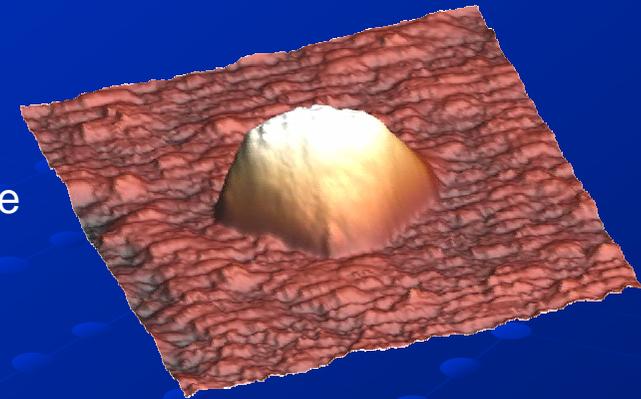
## InAs Quantenpunkte und Ringe

### Fragestellungen:

- Selbstorganisationsphänomene
- Elektronische Eigenschaften künstlicher Atome und Moleküle

### Anwendungen:

- Einzelphotonen-Emitter
- Quanten-Computer



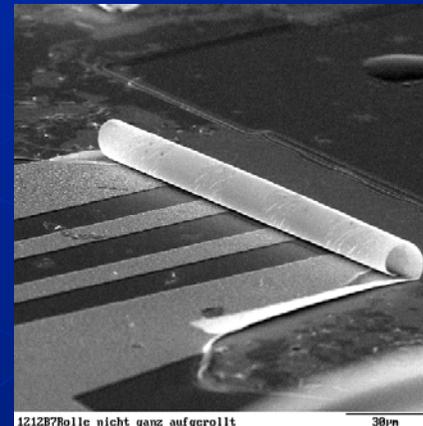
## Nichtplanare Elektronensysteme

### Fragestellungen:

- Einfluss der Nichtplanarität auf den elektronischen Transport
- Effekte des Magnetfeldes

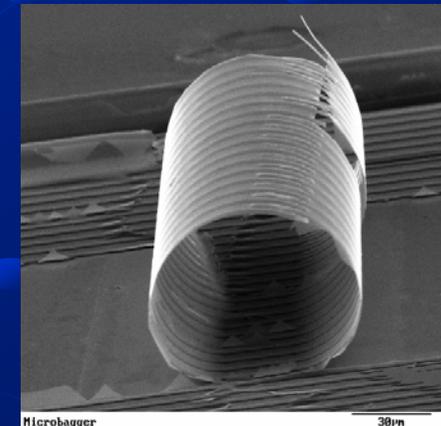
### Mögliche Anwendungen:

- Kombination Mechanik und Elektronik (Mechatronics) für Sensoren, Aktuatoren und neuartige optische Resonatoren



12128?Rolle nicht ganz aufgerollt

Nanoröllchen mit elektrischen Kontakten



Microbagger

Nanoröllchen für Ringresonatoren

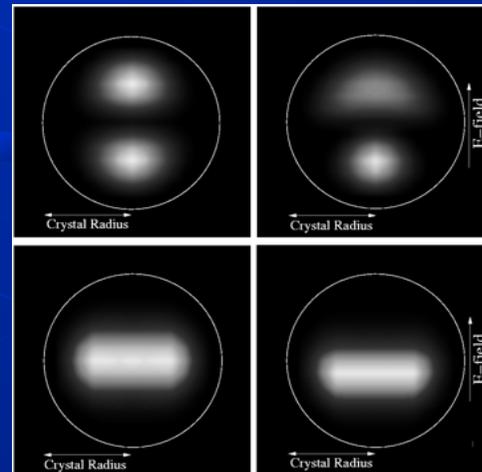
## Forschungsgebiet:

Elektronische Struktur und elektronische Transporteigenschaften von niedrigdimensionalen nanostrukturierten Festkörpern.

## Aktuelle Themen:

- Einfluss starker magnetischer Felder auf die elektronischen Eigenschaften von 2D-Nanostrukturen (fraktionaler Quanten-Hall-Effekt)
- Elektronische Eigenschaften von Quantenpunkten, -drähten, -ringen.

normale Verteilung



Verschiebung der Ladungsverteilung in einem Nanokristall aufgrund des elektrischen Feldes einer STM-Spitze.

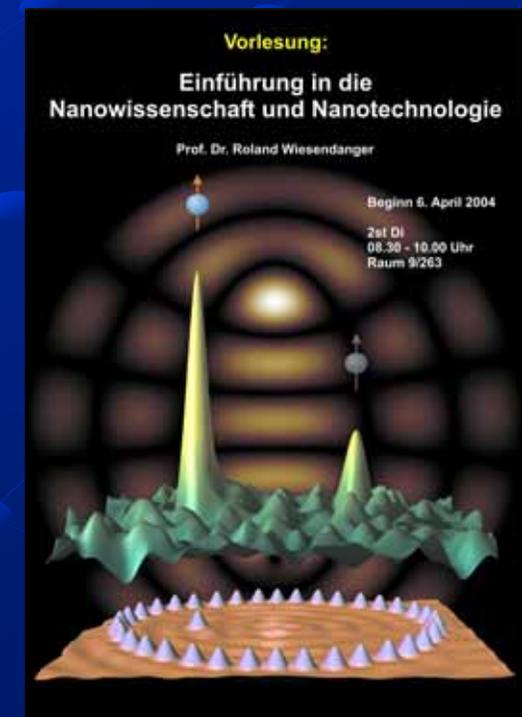


## „Der besondere Reiz“:

- Forschungsgebiet mit Wachstumspotential
- Forschungsthemen mit Anwendungsnähe (enge Kontakte zur Industrie)
- Exzellente experimentelle Ausstattung (z.T. weltweit einmalig)
- Sehr gute Möglichkeiten zur Promotion (Sonderforschungsbereich, 3 Graduiertenkollegs u. a.)
- Exzellente Betreuung

## Wichtige Lehrveranstaltungen mit Nanotechnologie-Bezug:

- GrK – Einführung in die Nanowissenschaft und Nanotechnologie
- GrK – Einführung in die Rastersondenmikroskopie
- GrK – Elektronenmikroskopie
- GrK – Nanostrukturierte Halbleitersysteme
- GrK – Physik der Mikro- und Nanostrukturen
- Proseminar über Rastersondormethoden
- Seminar über Nahfeldgrenzflächenphysik und Nanotechnologie
- Seminar über aktuelle Probleme der Rastersondorphysik







## Interdisciplinary Nanoscience: From Basic Research to Applications

**18.-19.5.2004**

Institute of Physical Chemistry  
University of Hamburg  
Grindelallee 117  
1<sup>st</sup> Floor  
Room 160/161



Universität Hamburg  
**hansenanotec**

In cooperation with:  
GrK 235: "Physics of nanostructured solids"  
GrK 463: "Spectroscopy of localized atomic systems"  
GrK 611: "Design and characterization of functional materials"  
Center of Competence in Nanotechnology "HanseNanoTec"

Tuesday, May 18 <sup>th</sup> :	Wednesday, May 19 <sup>th</sup> :
10.00 Welcome and Introduction	10.00 J. Chen (IBM Yorktown Heights, USA and Hamburg Univ.): "STM, NC-AFM and Atom Manipulation: From Personal Art to Exact Science" (Part II)
10.10 R. Wiesendanger (Dept. of Physics, Hamburg University): "Scanning Probe Methods: Novel Insight into the Nanoworld"	11.30 D. Talapin (IBM Yorktown Heights, USA): "Nanocrystals" (Part I: Synthesis)
11.00 R. Taylor (Dept. of Informatics, Univ. of North Carolina, USA): "Multidisciplinary Nanoscale Science and Education"	12.30 Lunch Break
12.30 Lunch Break	12.30 Lunch Break
14.00 R. Taylor (Dept. of Informatics, Univ. of North Carolina, USA): "Virtual-Environment Systems for Nano-manipulation"	14.00 D. Talapin (IBM Yorktown Heights, USA): "Nanocrystals" (Part II: Applications)
15.30 Coffee Break	15.00 A. Terfort (Dept. of Chemistry, Hamburg University): "Surface modification by self-assembled monolayers"
16.00 J. Chen (IBM Yorktown Heights, USA and Hamburg Univ.): "STM, NC-AFM and Atom Manipulation: From Personal Art to Exact Science" (Part I)	16.00 General discussion and Concluding Remarks
17.30 End of 1 <sup>st</sup> day	17.00 Celebration Party of the Institute of Physical Chemistry

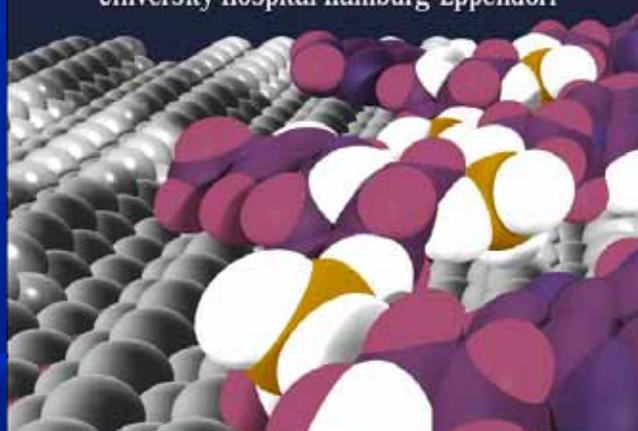


## NANOBIOMEDICINE

### Moving Nanotechnology from Bench to Bedside

tissue engineering – implants – sensor technology –  
self assembly – nanomotors – nanoparticles –  
force microscopy – computation and modelling

**July 2 - 3, 2004**  
University Hospital Hamburg-Eppendorf



Faculties of Medicine, Chemistry, Physics and Informatics  
in cooperation with SFB 444, 470, 508  
and Max-Planck Unit for Structural Molecular Biology

Organizers: Christoph Wagner, Olaf Pongs and Eckart Mandelkow  
Further information and registration: [www.hansenanotec.de](http://www.hansenanotec.de)



Weitere Informationen zu beiden Veranstaltungen → [www.hansenanotec.de](http://www.hansenanotec.de)