



Laboratorium für
Nano- und Quantenengineering

111
102
1004

Leibniz
Universität
Hannover



Jahresbericht 2018

Laboratorium für Nano- und Quantenengineering

Annual Report 2018

Laboratory of Nano and Quantum Engineering

Seite Inhalt Page Content

- 2 | Grußworte
Greetings
- 4 | Ziel des Laboratoriums
Goals of the Laboratory
- 6 | Forschung
Research
- 12 | Mitglieder
Members
- 23 | Aktuell in 2018
News in 2018
- 34 | NanoDay 2018
NanoDay 2018
- 38 | Forschungsbau
Research building
- 46 | Studiengang Nanotechnologie
Study Course Nanotechnology
- 52 | Promotionsprogramm
“Hannover School for Nanotechnology”
PhD Program “Hannover School for Nanotechnology”
- 65 | Aktivitäten in 2018
Activities in 2018
- 66 | Wissenschaftliche Projekte
Scientific Projects

Impressum / Imprint

Herausgeber / *Editor:*
 Laboratorium für
 Nano- und Quantenengineering
 Leibniz Universität Hannover
 Schneiderberg 39
 30167 Hannover
 Germany
www.LNQE.uni-hannover.de

Verantwortlich / *Responsible:*
 Fritz Schulze-Wischeler

Druck / *Print:*
 Druck Team Druckgesellschaft mbH,
 Hannover

Titelbild / *Cover picture:*
 LNQE-Forschungsbau

Grußworte / *Greetings*

Liebe Leserin, lieber Leser,

das herausragende Ereignis im Jahr 2018 für die Leibniz Universität war die positive Entscheidung für die beiden neuen Exzellenzcluster QuantumFrontiers und PhoenixD unter eigener Leitung sowie des mitbeantragten Exzellenzclusters Hearing4all. In allen Exzellenzclustern sind viele unser Mitglieder als federführende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beteiligt und die Räumlichkeiten und Geräte des LNQE werden von diesen intensiv genutzt. Wir freuen uns auf neue Impulse für das LNQE, wenn die Exzellenzcluster ihre Arbeit aufnehmen.

Gleichzeitig haben wir vom LNQE heraus mehrere Anträge auf neue kooperative Großforschungsvorhaben auf den Weg gebracht. Dies ist zum einen eine Antragsskizze für ein DFG-Graduiertenkolleg über Nanoenergiesysteme: Nanomaterialien und nanostrukturierte Systeme für direkt gekoppelte Energiekonverter und Energiespeicher (NanoEnergySystems). Zum anderen wurde eine Antragsskizze für die Etablierung eines DFG-Sonderforschungsbereichs für Nanosensorik eingereicht: Höchst sensitive und selektive chemische Nanosensoren und Sensorsysteme (NanoSense). Die Zusammenarbeit im Promotionsprogramm Hannover School for Nanotechnology (hsn) des LNQE in den Klassen hsn-energy und hsn-sensors führte zu wichtigen Vorarbeiten für diese neuen Vorhaben. Darüber hinaus haben wir einen Hauptantrag auf die Einrichtung eines weiteren Promotionsprogramms als neue „Klasse“ der hsn eingereicht; dieses soll sich mit dem Einsatz von Nanomaterialien und des Quantenengineering für die digitale Transformation beschäftigen. Im Laufe des Jahres 2019 wird über all diese Initiativen entschieden - ein spannendes Jahr für das LNQE!

Im Jahr 2018 gab es wieder zahlreiche Veranstaltungen des LNQE: So wurden für viele Schüler- und Studierendengruppen Informationsveranstaltungen und Laborführungen zur Nanotechnologie geboten, das LNQE beteiligte sich an der SommerUni und dem Niedersachsen-Technikum für an Naturwissenschaften und Technik interessierte Frauen; im November präsentierten wir uns der breite Öf-

Dear Reader,

The outstanding event for Leibniz University in 2018 was the positive decision in favour of the two new excellence clusters QuantumFrontiers and PhoenixD under its own management as well as the co-proposed Hearing4all excellence cluster. In all excellence clusters, many of our members are involved as leading scientists and the premises and equipment of the LNQE are used intensively by them. We look forward to new impulses for the LNQE when the clusters of excellence start their work.

At the same time, the LNQE has initiated several applications for new large-scale cooperative research projects. On the one hand, this is a draft proposal for a DFG Research Training Group on nanoenergy systems: Nanomaterials and nanostructured systems for directly coupled energy converters and energy storage (NanoEnergySystems). On the other hand, a draft proposal was submitted for the establishment of a DFG Collaborative Research Centre for Nanosensors: Highly sensitive and selective chemical nanosensors and sensor systems (NanoSense). The cooperation in the LNQE's doctoral program Hannover School for Nanotechnology (hsn) in the classes hsn-energy and hsn-sensors led to important preliminary work for these new projects. In addition, we have submitted a main application for the establishment of another PhD program as a new "class" of hsn; this will deal with the use of nanomaterials and quantum engineering for digital transformation. All these initiatives will be decided during 2019 - an exciting year for the LNQE!

In 2018, there were numerous LNQE events again: information events and laboratory tours on nanotechnology were offered for many groups of schoolchildren and students, the LNQE took part in the Summer University and the Lower Saxony Technical Centre for women interested in natural sciences and technology; in November we presented ourselves to the general public in the "Night that Creates Knowledge". As every year, the internal highlight was our Nano-Day.

fentlichkeit in der „Nacht, die Wissen schafft“. Internes Highlight war wie im jeden Jahr unser NanoDay.

Unser Studiengang Nanotechnologie entwickelt sich weiterhin sehr positiv und zum Wintersemester 2018 konnten wir uns im Bachelor- und Masterstudiengang erstmals über zusammen 300 Studierende freuen.

Mit Prof. Dr.-Ing. Holger Blume (Institut für Mikroelektronische Systeme), Prof. Dr. Paul Heitjans (Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie) und Dr. Andreas Schaate (Institut für Anorganische Chemie) konnten wir drei neue Mitglieder gewinnen. Somit sind zurzeit 31 Arbeitsgruppen aus Physik, Chemie und den Ingenieurwissenschaften am LNQE beteiligt.

Schließlich sollte noch erwähnt werden, dass wir die LNQE-Website jetzt auf das neue responsive Design der Leibniz Universität Hannover umgestellt haben, zu sehen unter www.LNQE.uni-hannover.de

Viele Spaß beim Lesen!

Dr. Fritz Schulze-Wischeler

Prof. Dr. Peter Behrens

Our Nanotechnology course continues to develop very positively and in the 2018 winter semester, we were able to welcome a total of 300 students to our Bachelor's and Master's courses for the first time.

With Prof. Dr.-Ing. Holger Blume (Institute for Microelectronic Systems), Prof. Dr. Paul Heitjans (Institute for Physical Chemistry and Electrochemistry) and Dr. Andreas Schaate (Institute for Inorganic Chemistry) we were able to gain three new members. Thus, 31 working groups from physics, chemistry and the engineering sciences are currently involved in the LNQE.

Finally, it should be mentioned that we have changed the LNQE website to the new responsive design of Leibniz University Hannover, to be seen at www.LNQE.uni-hannover.de

Enjoy the reading!

Dr. Fritz Schulze-Wischeler

Prof. Dr. Peter Behrens



Fritz Schulze-Wischeler
- Geschäftsführer -
- Chief operating officer -



Peter Behrens
- Sprecher des Vorstands -
- Speaker of the executive board -

Ziele des Laboratoriums

Goals of the Laboratory



LNQE-Forschungsbau am Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Deutschland.

LNQE research building at Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Germany.

Die Synthese und Kontrolle von Materialien auf Größenskalen im Mikro- bis Nanometerbereich liefert den Zugang zu völlig neuartigen Material- und Systemeigenschaften. Auf diesen Skalen treten Quanteneffekte in Erscheinung, in denen ein noch weitgehend unausgeschöpftes Potenzial an revolutionären, neuartigen Funktionalitäten liegt. Die kontrollierte Manipulation und Beherrschung solcher Materialien und Funktionalitäten erfordert neuartige Werkzeuge. Die Forschung von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren fließt bei diesen Strukturgrößen zusammen und setzt so synergetisch Ressourcen frei. Hieraus entwickeln sich völlig neue, nanotechnologische Bauelemente

Für die dazu erforderliche interdisziplinäre Forschung findet sich im Laboratorium für Nano- und Quantenengineering eine Basis. Hierzu wird in einer breiten Anstrengung das Know-how verschiedener Fachgebiete fokussiert und gebündelt, um aufbauend auf zielgerichteter Grundlagenforschung neue Anwendungsfelder zu erschließen und die Nanotechnologie wirtschaftlich zu nutzen.

Zweck des LNQE ist die selbstlose Förderung der angewandten Forschung auf dem Gebiet mesoskopischer Systeme im Mikro- und Nanobereich. In diesem Rahmen führt die Einrichtung Forschungsvorhaben in interdisziplinärer Zusammenarbeit durch. Deren Ergebnisse machen die Einrichtung der interessierten Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich.

Synthesis and control of materials on the micro and nanometer scale gives access to all new material and system properties. On this scale quantum effects appear which have the potential to provide revolutionary capabilities. The manipulation and control of such materials needs new tools. The development of structures on such small scales causes the merger of the research of scientists and engineers. This promotes collaboration and hence the sharing of resources, which leads to new solutions for nanotechnology devices.

The Laboratory of Nano and Quantum Engineering provides a base for such essential interdisciplinary research. The know-how of different fields will be focused together to develop new areas of application based on targeted basic research and to utilize nanotechnology economically.

The aim of the LNQE is the selfless support of applied research in the field of mesoscopic systems on the micro and nano-scale. Within this scope, the organization undertakes research projects in interdisciplinary cooperation and makes the results available to the interested public in a suitable form.

The main task of the organization is basic research in mesoscopic scales and transfer of knowledge into practical application, particularly in the major fields of nanomaterials, mechanics / magnetics, nanoelectronics, optics, quantum systems. A further aim is the education and promotion of young researchers in these fields.

Leibniz Forschungszentrum LNQE

Zur Förderung interdisziplinärer Forschung gibt es in der Leibniz Universität Hannover hochschulintern eine innovative Organisationsstruktur, welche untergliedert ist in interdisziplinär ausgerichteten Leibniz Forschungsinitiativen, Leibniz Forschungszentren und die Leibniz Forschungsschulen, in denen hoch relevante Schwerpunktthemen fach- und fakultätsübergreifend bearbeitet werden. Das LNQE ist eine von zurzeit elf Einrichtungen, die als Leibniz Forschungszentrum eingestuft sind.

Aufgabe der Einrichtung ist die Grundlagenforschung in mesoskopischen Größenskalen und deren Umsetzung in praktische Anwendung, insbesondere in den Schwerpunktgebieten Nanomaterialien, Mechanik/Magnetik, Nanoelektronik, Optik, Quantensysteme sowie Ausbildung und Nachwuchsförderung auf diesen Gebieten.

Hierbei hat die Einrichtung insbesondere

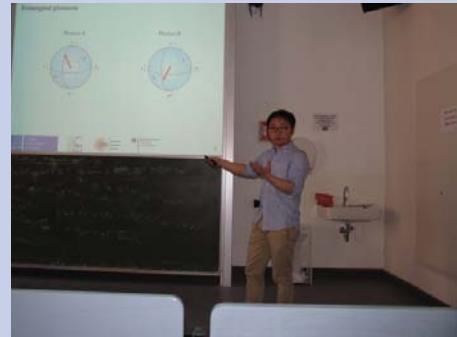
- Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchzuführen, die sich auf die Erschließung neuer oder die Verbesserung bereits bekannter Anwendungsmöglichkeiten für Mikro- und Nanotechnik richten;
- Für die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu sorgen und Kräfte der angewandten Forschung und der Praxis zusammenzuführen;
- Aus- und Fortbildungstätigkeit zu leisten und Hilfsseinrichtungen für die wissenschaftliche Arbeit und deren Auswertung in der angewandten Forschung zu betreiben;
- Die interdisziplinäre Zusammenarbeit der einzelnen Mitglieder zu fördern und zu verbessern, insbesondere durch die Einrichtung eines gemeinsamen Pools von Verfahrens- bzw. Diagnostiktechniken, der den einzelnen Mitgliedern zur Verfügung steht;
- Bei Erfüllung der ordnungsgemäßen Aufgaben der Einrichtung mit anderen Forschungseinrichtungen des In- und Auslands zusammenzuarbeiten.

Zur Verwirklichung seiner Zwecke und Aufgaben betreibt das Laboratorium für Nano- und Quanteneengineering ein eigenes Gebäude in Hannover mit Laboren, Geräten etc. und insbesondere Reinräumen.

The LNQE would like to achieve the following goals

- *Execute research and development which is directed to open up new applications or improve already known applications for micro- and nano-scale techniques;*
- *Arrange for practical application of scientific findings and to combine the forces of applied research and practice.*
- *Give education and training and to operate auxiliary facilities for the scientific work and its realization in applied research;*
- *Promote and improve the interdisciplinary cooperation of its individual members, in particular by implementing a shared pool of processing and diagnostic techniques, which is accessible by the individual members;*
- *Cooperate with other research centers, both in Germany and abroad.*

To realize its mission the Laboratory of Nano and Quantum Engineering runs its own building in Hanover hosting labs, equipment, etc. and in particular clean room facilities.

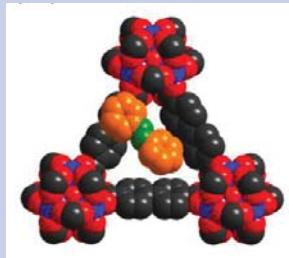
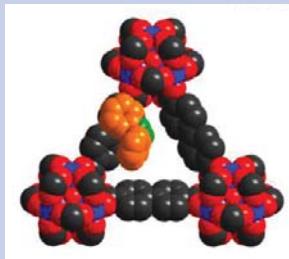
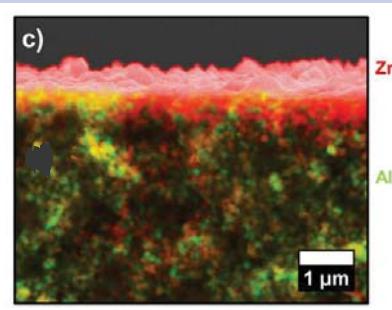
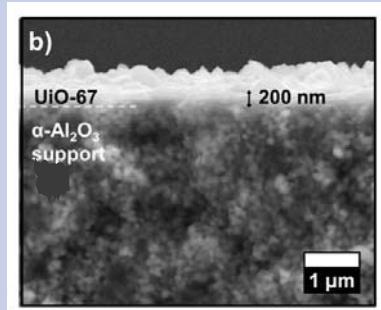


LNQE-Afternoon am 18.04.2018 mit Vorträgen der LNQE-Mitglieder Prof. Ding (oben), Prof. Wicht (unten), Prof. Garnwein und Prof. Giese.

LNQE-Afternoon on 18.04.2018 with lectures of the LNQE members Prof. Ding (above), Prof. Wicht (below), Prof. Garnwein and Prof. Giese.

Leibniz Research Center LNQE

Leibniz Universität Hannover has set up its own innovative organizational structure to promote interdisciplinary research, consisting of Leibniz Research Initiatives, Leibniz Research Centers and Leibniz Research Schools. The system enables scientists to pursue cutting-edge research across traditional subject and faculty boundaries. The LNQE is one of eleven facilities currently ranked as a Leibniz Research Center.



Azobenzol-Gastmoleküle als lichtschaltbare CO₂-Ventile in einer ultradünnen UiO-67-Membran. Oben: REM-Bild und entsprechende EDX-Mapping der 200 nm UiO-67-Schicht auf α-Al₂O₃. Unten: Darstellung des vorgeschlagenen Mechanismus zum Umschalten des Gastransports durch die Membran.

Azobenzene Guest Molecules as Light-Switchable CO₂ Valves in an Ultrathin UiO-67 Membrane. Top: SEM image and corresponding EDX mapping of the 200 nm UiO-67 layer on α-Al₂O₃. Bottom: Representation of the proposed mechanism for switching of the gas transport through the membrane.

A. Knebel, L. Sundermann, A. Mohmeyer, I. Strauß, S. Fribe, P. Behrens, J. Caro (PCI & ACI)

Forschung Research

Die Arbeitsgruppen des LNQE arbeiten Interdisziplinär über die Fachgrenzen hinweg zusammen auf dem Gebiet Nanotechnologie. Die Begriffe Nanoengineering, Nanoanalytik und Nanomaterialien kennzeichnen die Forschung des LNQE. Zusätzlich konzentriert sich das LNQE auf (zurzeit) drei übergreifende Forschungsschwerpunkte: Nanotechnologie für die Energieforschung, Nanotechnologie für die Sensorik und Nanotechnologie für die Biomedizintechnik & Nanomedizin.

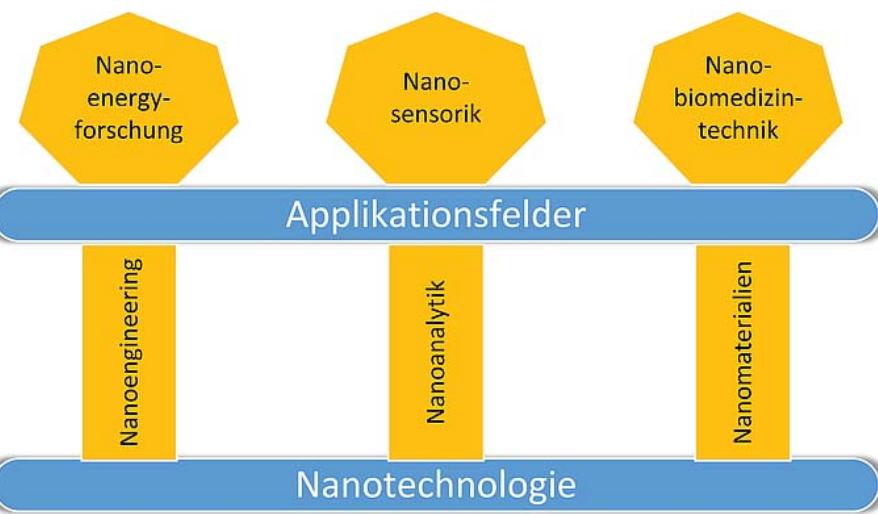
Nanotechnologie

Die Nanotechnologie beschreibt die Erforschung und Manipulation von Dingen auf kleinsten Dimensionen. Generell beschäftigt sich die Nanotechnologie mit Strukturen im Größenbereich von 1-100 Nanometer in mindestens einer Raumrichtung. 100 Nanometer sind in etwa ein Tausendstel des Durchmessers eines normalen menschlichen Haars. Bei diesen kleinen Abmessungen treten Oberflächeneigenschaften gegenüber den Volumeneigenschaften der Materialien immer mehr in den Vordergrund und darüber hinaus müssen oft quantenphysikalische Effekte berücksichtigt werden.

The work groups of the LNQE Interdisciplinary work across disciplinary boundaries along in the field of nanotechnology. The terms nanoengineering, nanoanalytics and nanomaterials featuring the research of the LNQE. In addition, the LNQE focuses on (currently) three overarching research areas: nanotechnology for energy research , nanotechnology for sensing and nanotechnology for biomedical engineering & nanomedicine.

Nanotechnologie

The nanotechnology describes the study and manipulation of objects at the smallest sizes. In general, nanotechnology deals with structures ranging in size from 1-100 nanometers in at least one spatial direction. 100 nanometers are roughly one-thousandth of the diameter of a normal human hair. With these small dimensions surface properties come to the forefront compared with the bulk properties of materials and often quantum effects must be considered.



Nanoengineering

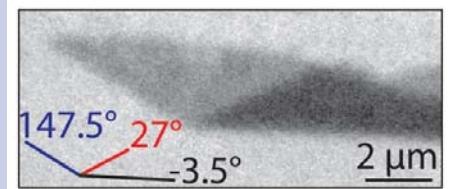
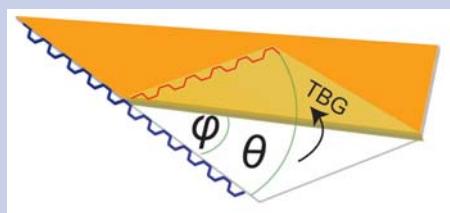
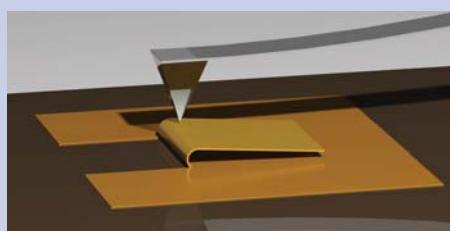
Nanoengineering ist das Engineering auf der Nanoskala, also das gezielte künstliche Herstellen von Strukturen der Nanotechnologie wie zum Beispiel winzigster Transistoren auf Computerchips. Der mit dem Nanoengineering eng verwandte Begriff Quantenengineering zielt auf die Erzeugung und Manipulation eines definierten Quantenzustandes ab, wie zum Beispiel der Realisierung eines Bose-Einstein-Kondensats oder eines Bauelements mit gezielt eingestelltem Elektronenspin. Die Größe solcher Systeme ist oft ebenfalls im Nanometerbereich.

Beispiele für aktuelle Forschungsarbeiten im Laboratorium sind Quanteninterferenz und Quantentransport in niedrigdimensionalen Systemen, Quantensensoren auf der Basis von integrierten atomoptischen Systemen, atomare Systeme in Nanostrukturen, atomare Inertialsensoren, Einsatz von einfachen und gekoppelten Quantenpunktsystemen bei der Quanteninformationsverarbeitung sowie Spineffekte. Anwendung von nanoskaligen Materialien in Dünnschichtsolzellen, Herstellung und Charakterisierung von Photonischen Kristallen, Nanostrukturen und Bausteinen für die Plasmonik, Kohärenzeffekte bei der Elektron-Loch-Spin-Kopplung und die Anwendung von spinpolarisierten Ladungsträgern in Halbleiterlasern.

Nanoengineering

Nano engineering is engineering on the nanoscale, i. e. the selective artificial fabrication of nanotechnology structures such as tiny transistors on computer chips. The closely related term, quantum engineering, aims to produce and manipulate a defined quantum state, such as the realization of a Bose-Einstein condensate or an electronic device with controllable electron spin. The size of such systems is also often in the nanometer range.

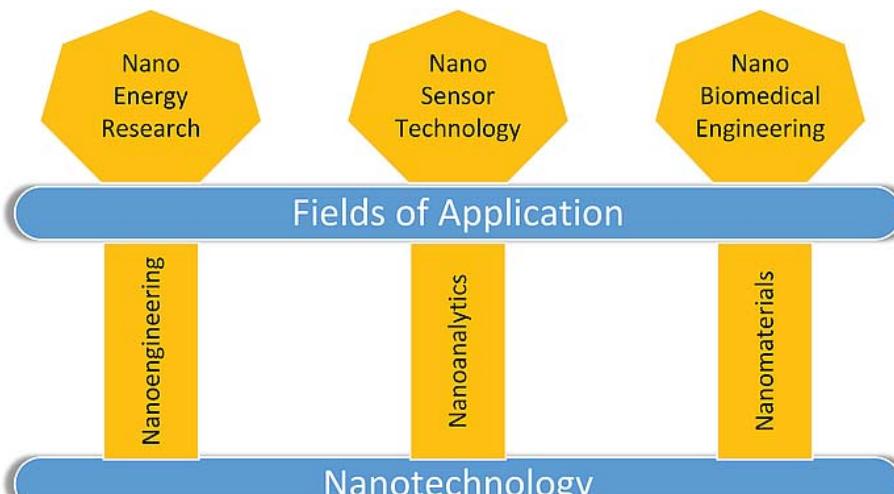
Examples of current research in the laboratory are quantum interference and quantum transport in low dimensional systems, quantum sensors based on integrated atom-optical systems, atomic systems in nanostructures, atomic inertial sensors, use of single and coupled quantum dot systems in quantum information processing, and spin effects. Applications of nanoscale materials in thin film solar cells, characterization of photonic crystals, nanostructures and devices for plasmonics, coherence effects at electron-hole-spin coupling and application of spin-polarized carriers in semiconductor lasers.



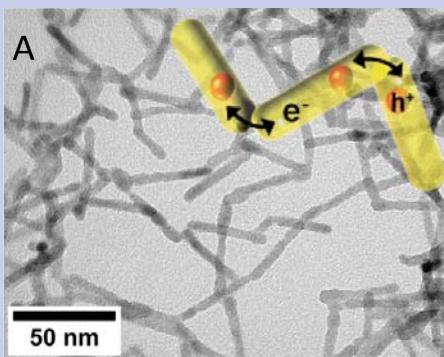
Ein ausgewählter Bereich einer Graphenschicht wird mittels Rasterkraftmikroskop ausgeklappt, wodurch eine verdrehte zweischichtige Graphenschicht entsteht.

A selected area of a graphene sheet is folded out via atomic force microscope, thereby creating twisted bilayer graphene.

H. Schmidt, J. Rode, D. Smirnov, and R. Haug (FKP)



Research structure of the Laboratory of Nano and Quantum Engineering.



Aerogele und Hydrogele aus CdSe/CdS Nanorödern. Unten eine TEM-Aufnahme eines Aerogels und eine Skizze des entsprechenden Modells.

Aerogels and hydrogels from CdSe/CdS nanorods. Below a TEM image of an aerogel and a sketch of the corresponding model.

(S. Sánchez-Paradinas, D. Dorfs, S. Friebe, A. Freytag, A. Wolf, N. C. Bigall/ PCI)

Für die Herstellung kleinster Strukturen werden vielfältigste Techniken verwendet, wobei die Weiterentwicklung und das Verständnis dieser Techniken zum Teil selbst Gegenstand der Forschung sind. Die Strukturierungstechniken sind zum Beispiel Fotolithographie, Elektronenstrahllithographie, Oberflächen-Laserstrukturierung, 3D Two-Photon Lithographie, Oberflächenbearbeitung mit dem Rasterkraftmikroskop und Strukturierung mit dem Rastertunnelmikroskop. Hinzu kommen die Dünnschichttechniken der Halbleitertechnologie wie Aufdampfen, Sputtern, Tempern, chemische Gasphasenabscheidung, Molekularstrahlepitaxie, Implantieren von Ionen, Oxidation, Ätzprozesse (Plasmaätzen, RIE und nasschemisches Ätzen) und Atomlagenabscheidung.

Nanoanalytik

Die künstlich erzeugten Strukturen und Materialien werden auf vielfältigste Art untersucht und analysiert. Die Analytik im Nanometerbereich benötigt unterschiedlichste und neueste Geräte und Verfahren. Die nötige technologische Ausrüstung steht den Arbeitsgruppen zentral im LNQE-Forschungsbau zur Verfügung (unter „Technologie im Forschungsbau“ auf der Website) und wird durch die Ausstattung in den Instituten (als „Gerätepools der Mitglieder“ auf der Website) ergänzt.

Als wichtige Verfahren der Nanoanalytik sind zu nennen: Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), Rasterelektronenmikroskopie (REM), Rasterkraftmikroskopie (AFM), Rastertunnelmikroskopie (STM), Konfokalmikroskopie, Spektrale Ellipsometrie, Röntgen-Diffraktometrie etc.

For the manufacture of very small structures a wide variety of techniques are used in the laboratory. The further development and understanding of these techniques is in part the subject of the research. The structuring techniques are for example photolithography, electron beam lithography, laser surface structuring, 3D two-photon lithography, surface processing with an atomic force microscope and patterning with the scanning tunneling microscope. In addition the thin film techniques of semiconductor technology are used such as evaporation, sputtering, annealing, chemical vapor deposition, molecular beam epitaxy, implanting ions, oxidation and etching processes (plasma etching, etching with RIE and wet chemical etching) and atomic layer deposition.

Nanoanalytics

The artificially created structures and materials are investigated in a wide variety and analyzed. The analysis in the nanometer range requires variety and latest equipment and techniques. The necessary technological equipment is centrally located in the LNQE research building (under “Technology in the Research Building” on the website) and is complemented by the equipment in the institutions (as “Equipment Pool of the Members” on the website).

Important methods of nanoanalysis: transmission electron microscopy (TEM), scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), scanning tunneling microscopy (STM), confocal microscopy, spectral ellipsometry, X-ray diffractometry etc.

Nanomaterialien

Nanomaterialien verschiedenster Form, Stoffzusammensetzung und Größe im Nanometerbereich werden im Laboratorium hergestellt und untersucht. Nanopartikel besitzen aufgrund ihrer kleinen Abmessungen spezielle chemische und physikalische Eigenschaften, die sich deutlich von den Eigenschaften von makroskopischen Partikeln und Festkörpern unterscheiden. Die Ursache hierfür ist das große Verhältnis von Oberfläche zu Volumen der Nanopartikel, wodurch sie stark mit Ihrer Umgebung wechselwirken. Hinzu kommen gegebenenfalls quantenmechanische Effekte.

Die Herstellung von Nanopartikeln mit gezielt einstellbaren Eigenschaften, die Nutzbarmachung von Nanopartikeln für bestimmte Anwendungen und das physikalische Grundlagenverständnis von Nanopartikeln und deren Wirkungsweise stehen im Laboratorium im Vordergrund. Die Nanopartikel werden chemisch synthetisiert oder lasergestützt erzeugt.

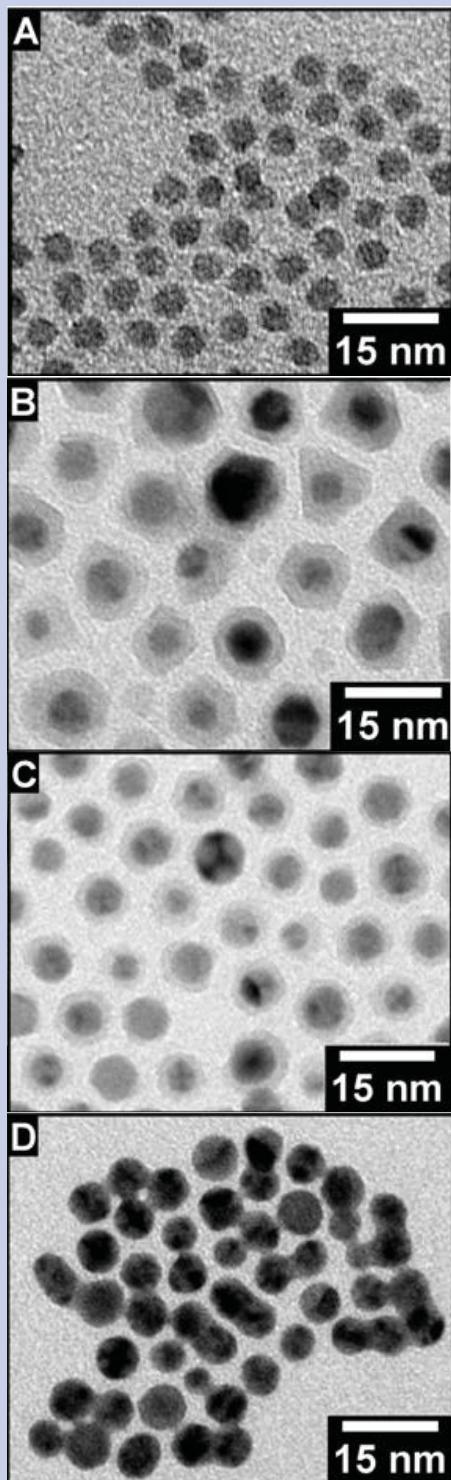
Aktuelle Forschungsvorhaben sind unter anderem Untersuchungen von Nanopartikeln für Farbstoff-Solarzellen, Beschichtungen mit Nanopartikeln für selbstreinigende Oberflächen, Nanopartikel mit photokatalytischen Eigenschaften zur Reinigung von Luft und Wasser, Überstrukturen von Nanopartikeln, erweiterte Formkontrolle von Nanopartikeln sowie biokompatible Nanomaterialien für die Medizin wie zum Beispiel Implantate für das Innenohr. Darüber hinaus wird immer auch die mögliche Toxizität von Nanomaterialien berücksichtigt und untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Simulation auf der Nano-Ebene, es werden in Multiskalen-Analysen der Einfluss der Nanomaterialien und allgemein Grenzflächen auf makroskopische Objekte modelliert.

Nanomaterials

Nanomaterials of various shapes, composition, and size in the nanometer range are produced and analyzed in the laboratory. Nanoparticles due to their small size have special chemical and physical properties that differ significantly from the properties of macroscopic particles and solids. This is due to the large ratio of surface to volume of the nanoparticles, so that they strongly interact with their environment. Added to this in many cases is the increased importance of quantum mechanical effects.

The preparation of nanoparticles with controlled properties, the utilization of nanoparticles for specific applications and the fundamental physical understanding of nanoparticles and their function are in the foreground of the laboratory. The nanoparticles are synthesized chemically or produced via laser-based techniques.

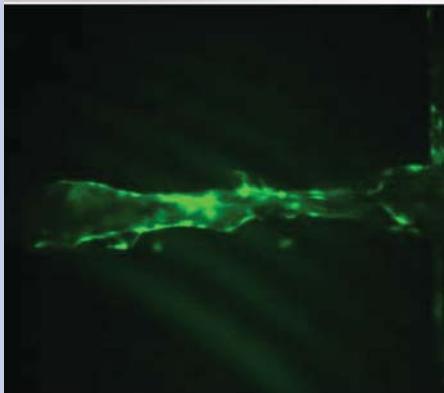
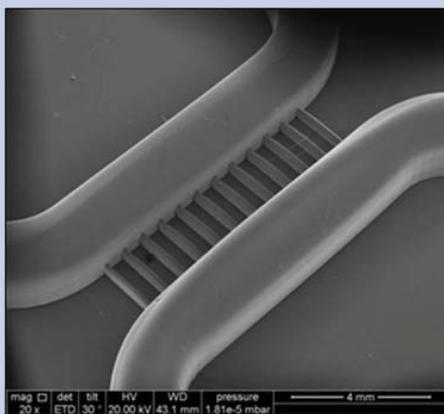
Current research projects include studies of nanoparticles for dye solar cells, creating self-cleaning surfaces by nanoparticle coatings, nanoparticles with photocatalytic properties for the purification of air and water, superstructures of nanoparticles, advanced shape control of nanoparticles, and bio-compatible nanomaterials for medical applications such as implants for the inner ear. In addition, the potential toxicity of nanomaterials must always be considered and investigated. Another focus is the simulation and modeling at the nano level, in multi-scale analysis of the impact of nanomaterials and interfaces on macroscopic objects.



TEM-Aufnahmen von Ni_3S_2 Nanopartikeln (A), Au- Ni_3S_2 Kern-Schale Partikeln mit einer dicken (B) beziehungsweise dünnen (C) Schale und puren Gold-Keimen (D).

TEM images of Ni_3S_2 nanoparticles (A), Au- Ni_3S_2 core-shell particles with a thick (B) or thin (C) shell and pure gold seeds (D).

R. Himstedt, D. Dorfs (PCI)



Mikrofluidischer Chip für kontrollierbares Wachstum von Mikrogefäß. Dieser Chip enthält 12 Wachstumskanäle mit 200x200 μm Querschnitt und 2 mm Länge. Konfokale Rastermikroskopie-Aufnahme der Fibroblasten unterstützten Angiogenese im Chip.

Microfluidic chip for controllable growth of microvessels. This chip contains 12 growth channels with 200x200 μm cross-section and 2 mm length. Confocal scanning microscope image of fibroblasts assisted angiogenesis in the chip.

B. Chichkov, R. Kiyan, and H. Haller (IQO & MHH)

Übergreifender Forschungsschwerpunkt: Nanotechnologie für Energieforschung

Energiewandlung, Energietransport und Energiespeicherung sind grundlegende Fragen für die Zukunft unserer Gesellschaft. Hier kann das neue Gebiet der Nanotechnologie wichtige Beiträge leisten. Der Energietransport auf der Nanoskala, sowie die Energiewandlung in nanostrukturierten Systemen stellen bis heute nur sehr wenig untersuchte Themenkomplexe dar. Allerdings können die auftretenden wissenschaftlichen Fragestellungen nur interdisziplinär von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern, von Ingenieurinnen und Ingenieuren gemeinsam bewältigt werden, da hierbei die grundlegenden Quanteneffekte in Nanostrukturen sowohl aus physikalischer als auch aus chemischer Sicht untersucht werden müssen und diese Effekte nur nutzbar gemacht werden können, wenn auch materialwissenschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Aspekte berücksichtigt werden. Für die Bearbeitung dieser Fragestellungen sind deshalb interdisziplinär ausgebildete Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler notwendig.

Overarching research areas: nanotechnology for energy research

Energy conversion, energy transport and energy storage are fundamental issues for the future of our society. Here, the new field of nanotechnology can make important contributions. The energy transport at the nanoscale, as well as the conversion of energy in nanostructured systems represent today very little investigated topics. However, the occurring scientific questions can only be interdisciplinary tackled jointly by natural scientists and engineers, since in this case the basic quantum effects in nanostructures must be examined from both a physical and a chemical perspective, and these effects can only be made available when materials science and engineering aspects are considered. Therefore interdisciplinary trained scientists are necessary to deal with these issues.

Übergreifender Forschungsschwerpunkt: Nanotechnologie für Sensorik

Im Bereich Sensorik spielt Nanotechnologie eine immer größere Rolle. Sensoren mit nanoskaligen Oberflächen, Sensoren, die Informationen aus der nanoskopischen Welt in die makroskopische Welt übertragen und Sensoren, die Nanoeffekte als Sensorprinzip nutzen, können zusammenfassend als Nanosensoren definiert werden. Ziel ist zum einen eine deutliche Verbesserung der Empfindlichkeit und Präzision mit Nanosensoren gegenüber herkömmlichen Sensoren, zum anderen aber auch die Möglichkeit zur Detektion von Dingen, die vorher nicht möglich waren, wie z. B. Schnelltests für Krebs oder der gezielte Nachweis von Einzelmolekülen. Gegenwärtig gibt es viele mögliche Herstellungsstrategien für Nanosensoren, darunter Top-down-Lithographie, Bottom-up-Assembly und der molekularen Selbstorganisation.

Nanotechnologie für die Biomedizintechnik & Nanomedizin

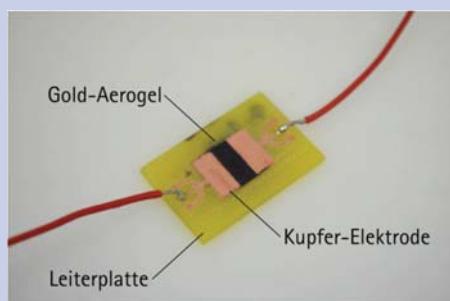
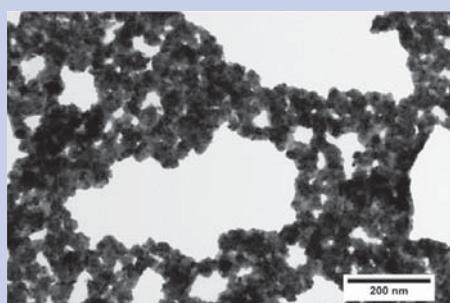
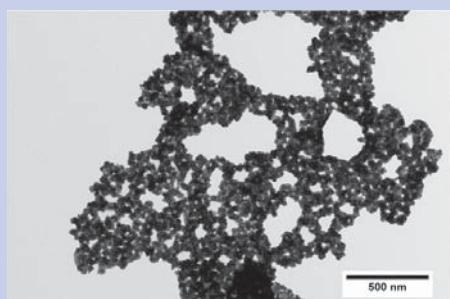
Im Bereich Medizin kommt Nanotechnologie immer häufiger zum Einsatz. Zum Beispiel werden im LNQE Nanopartikel und Nanomaterialien für ein kontrolliertes Drug Delivery hergestellt und charakterisiert, z.B. durch Ausnutzung der magnetischen Hyperthermie; bei Implantaten wird die Wechselwirkung mit dem Körper moduliert; neuronale Elektroden werden in ihrer Funktion verbessert; mit Lasertechniken werden Scaffolds für das Tissue Engineering hergestellt, die dann mit Zellen besiedelt werden; Nanofibers werden für den Bau neuartiger Ionenmobilitätsspektrometer für die Atemgasanalyse verwendet.

Overarching research areas: nanotechnology for sensing

In sensor technologies, nanotechnology plays an increasingly important role. Sensors with nanoscale surfaces, sensors that transfer information from the nanoscopic world in the macroscopic world and sensors that use nanoeffects as sensor principle can be defined as nanosensors in summary. The aim is on the one hand a significant improvement in sensitivity and precision with nanosensors over conventional sensors, and on the other hand, the possibility of detecting things that were previously not possible, such as rapid tests for cancer or specific detection of individual molecules. There are currently many possible strategies for producing nano-sensors, including top-down lithography, bottom-up assembly and molecular self-assembly.

Nanotechnology for Biomedical Engineering & Nanomedicine

In the area of medicine, nanotechnology is increasingly used. For example nanoparticles and nanomaterials for controlled drug delivery are produced and characterized in the LNQE, for example, by utilizing the magnetic hyperthermia; in implants, the interaction is modulated with the body; Neural electrodes are improved in function; Laser techniques scaffolds for tissue engineering are produced, which are then seeded with cells; Nanofibers are used for the construction of novel ion mobility spectrometer for respiratory gas analysis.



Gold-Aerogele zur Detektion von elementarem Quecksilber in der Gasphase. Gold und Quecksilber bilden zusammen Amalgam. Oben: TEM-Aufnahmen der Struktur eines Gold-Aerogels aus Goldpartikeln mit einem mittleren Durchmesser von 4 nm. Unten: Erste Version des Quecksilbersensors.

Gold aerogels for the detection of elemental mercury in the gas phase. Gold and mercury together form amalgam. Above: TEM images of the structure of a gold aerogel made of gold particles with a mean diameter of 4 nm. Below: First version of the mercury sensor.

A. Gehl, A. Schlosser , M. Allers, A. Freytag, N. Bigall, S. Zimmermann (PCI & GEM)

Mitglieder Members



Prof. Dr. Detlef W. Bahnemann
Institut für Technische Chemie
Leibniz Universität Hannover
Callinstraße 3
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 5560
Fax: +49 511 762 3004
bahnemann@iftc.uni-hannover.de
www.tci.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Photokatalytische Luft-und Wasserreinigung / *Photocatalytic air and water purification*
- Photokatalytische Wasserspaltung / *Photocatalytic water splitting*
- Kinetik schneller photokatalytischer Prozesse / *Kinetics of fast photocatalytic processes*
- Farbstoffsolarzellen / *Dye solar cells*



Prof. Dr. Peter Behrens
- Sprecher des Vorstandes LNQE -
- *Speaker of the Executive Board LNQE-*
Institut für Anorganische Chemie
Leibniz Universität Hannover
Callinstraße 9
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 3660
Fax: +49 511 762 3006
peter.behrens@acb.uni-hannover.de
www.acb.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Synthese und Präparation von Materialien und Nanomaterialien / *Synthesis of materials and nanomaterials*
- Nanoporöse Materialien / *Nanoporous-materials*
- Biomaterialien / *Biomaterials*
- Elektrische und optische Materialien / *Electrical and optical materials*
- Nanosensorik / *Nanosensors*
- Modellierung von Materialien / *Modelling of materials*



Prof. Dr. Nadja Bigall
Institut für Physikalische Chemie und
Elektrochemie
Leibniz Universität Hannover
Callinstr. 3A
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 14439
Fax: +49 511 762 19121
nadja.bigall@pci.uni-hannover.de
www.pci.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Nanostrukturierte Funktionsmaterialien / *Nanostructured functional materials*
- Kolloidale Nanokristalle / *Colloidal nanocrystals*
- Physikalische und chemische Effekte auf der Nanometerskala / *Physical and chemical effects on the nanometer scale*

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Fahrerassistenzsysteme / *Driver assistance systems*
- Biomedizintechnik / *Biomedical engineering*
- Digitale Sensorsignalverarbeitung / *Digital sensor signal processing*
- Hardware-Entwicklung / *Hardware development*
- Low-power Schaltungen / *Low-power circuits*
- Drahtlose Datenübertragung / *Wireless data transmission*
- Modellbasierte Entwurfsraumexploration / *Model-based design space exploration*

Prof. Dr.-Ing. Holger Blume

Institut für Mikroelektronische Systeme,
Fachgebiet für Architekturen und Systeme
Leibniz Universität Hannover
Appelstr. 4
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 19640
Fax: +49 511 762 19601
holger.blume@ims.uni-hannover.de
www.ims.uni-hannover.de

**Kernkompetenzen / Core competencies:**

- Simulation von Solarzellen / *Simulation of solar cells*
- Si-Materialforschung / *Si material research*
- Si-Dünnschichtzellen / *Si thin-film solar cells*
- Si-Waferzellen / *Si wafer cells*
- Zellcharakterisierung / *Characterisation of solar cells*
- Modultechnologie / *Module technology*
- Selektive Schichten / *Selective layers*
- Sonnenkollektoren / *Solar thermal collectors*

Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel

Institut für Festkörperphysik
Abteilung Solarenergie
Leibniz Universität Hannover
Appelstraße 2
D-30167 Hannover
Phone: +49 5151 999 100
Fax: +49 511 762 2904
rolf.brendel@isfh.de
www.fkp.uni-hannover.de
www.isfh.de

**Kernkompetenzen / Core competencies:**

- Poröse Materialien / *Porous Materials*
- Adsorption / *Adsorption*
- Katalyse / *Catalysis*
- Massenseparation / *Mass Separation*
- Membranen / *Membranes*
- Perowskite / *Perovskites*
- Brennstoffzellen / *Fuel Cells*
- Foto-Solarzellen / *Photo-Solar Cells*

Prof. Dr. Jürgen Caro

Institut für Physikalische Chemie und
Elektrochemie
Leibniz Universität Hannover
Callinstraße 3-3a
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 3175
Fax: +49 511 762 19121
juergen.caro@pci.uni-hannover.de
www.pci.uni-hannover.de





Prof. Dr. Boris Chichkov
Institut für Quantenoptik, Arbeitsgruppe
Nanoengineering
Leibniz Universität Hannover
Welfengarten 1
30167 Hannover
Phone: +49 511 277 1666
Fax: +49 511 762 2211
chichkov@iqo.uni-hannover.de
www.iqo.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / **Core competencies:**

- Laserphysik und Laseranwendungen / *Laser physics and laser applications*
- Laserbasierte Nanotechnologie / *Laser-based Nanotechnology*
- Nanophotonik / *Nanophotonics*
- Biomedizinische Implantate und Geräte / *Biomedical implants and devices*
- Mikrofluidik / *Microfluidics*
- Additive Manufacturing und Biofertigung / *Additive Manufacturing and Biofabrication*
- Tissue Engineering / *Tissue engineering*
- Laserdruckverfahren / *Laser printing*



Prof. Dr. Fei Ding
Institut für Festkörperphysik
Abteilung Atomare und molekulare Strukturen
Leibniz Universität Hannover
Appelstraße 2
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 2542
Fax: +49 511 762 4877
f.ding@fkp.uni-hannover.de
www.fkp.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / **Core competencies:**

- Dehnungsbezogene Physik in Nanostrukturen und nanophotonischen Geräten / *Strain related physics in nanostructures and nanophotonic devices*
- On-Chip-Integration von Quantenlichtquellen / *On-Chip integration of Quantum light sources*
- Frequenz verriegelte Quantenlichtquellen / *Frequency locked Quantum light sources*



PD Dr. Dirk Dorfs
Institut für Physikalische Chemie und
Elektrochemie
Leibniz Universität Hannover
Callinstraße 3A
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 14440
Fax: +49 511 762 19121
dirk.dorfs@pci.uni-hannover.de
www.pci.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / **Core competencies:**

- Synthese von kolloidalen Nanopartikeln (Halbleiter und Metalle) / *Synthesis of colloidal nanoparticles (semiconductors and metals)*
- Kolloidale Nanopartikel komplexer Zusammensetzung / *Colloidal nanoparticles of complex composition*
- Erweiterte Formkontrolle von Nanopartikeln (Stäbchen, verzweigt, hohl, etc.) / *Advanced shape control of nanoparticles (rods, branched, hollow, etc.)*
- Optische Eigenschaften von Nanopartikeln / *Optical properties of nanoparticles*
- Wechselwirkungen verschiedener Nanopartikel (Metall/Halbleiter etc.) / *Interactions of various nanoparticles (metal / semiconductor, etc.)*

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Quantenengineering / *Quantum engineering*:
 - Optische Atomuhren / *Optical atom clocks*
 - Bose-Einstein-Kontdensate / *Bose-Einstein condensates*
 - Ultrakalte Bose-Fermi Mischungen / *Ultra-cold Bose-Fermi mixtures*
 - Rein-optische Atomlaser / *Pure optical atom lasers*
 - Ultrakalte Neon-Atome / *Ultra-cold neon atoms*
- Quantensensoren / Quantum sensors:
 - Sagnac-Interferometrie / *Sagnac interferometry*
 - Atominterferometrie / *Atom interferometry*
 - Atomoptik mit Mikrostrukturen / *Atom optics with microstructures*
- Fundamentale Physik im Weltraum / *Fundamental physics in space*
- Lasermedizin und Biophotonik / *Laser medicine and biophotonics*

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Erzeugung, Stabilisierung, Funktionalisierung und Anwendung von Nanopartikeln und Nanostrukturen / *Fabrication, stabilization and application of nanoparticles and nanostructures*
- Partikelstabilisierung und Funktionalisierung / *stabilization and functionalization of nanoparticles*
- Maßgeschneiderte Nanokomposite und Nanopartikel-Dünnschichten sowie magnetische Nanomaterialien / *Optimized polymer nanocomposite materials and nanoparticulate and nanocomposite thin films as well as magnetic nanomaterials*

Kernkompetenzen / Core competencies:
Elastomerchemie mit den Schwerpunkten/*Elastomeric chemistry with the main focuses:*

- Charakterisierung von mehrphasigen Systemen / *Characterization of multi-phase systems*
- Polymere Füllstoffe / *Polymeric fillers*
- Kautschuk-Füllstoff Wechselwirkung / *Rubber/filler interaction*
- Vernetzung / *Crosslinking*
- Alterungsmechanismen / *Aging mechanisms*
- Modifizierung von Füllstoffen und Polymeren / *Modification of fillers and polymers*
- Nanomaterialien / *Nanomaterials*
- „Leachables“ und „Extractables“ aus Polymerwerkstoffen / *Leachables and extractables out of polymer materials*
- Emissionen und Umweltexposition von Elastomeren / *Elastomer emissions and environmental exposure*
- Transportvorgänge von Gasen und Flüssigkeiten in Elastomeren / *Transport processes in polymers for gases and fluids in elastomers*

Prof. Dr. Wolfgang Ertmer

Institut für Quantenoptik
Leibniz Universität Hannover
Welfengarten 1
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 2231
Fax: +49 511 762 2211
ertmer@iqo.uni-hannover.de
www.iqo.uni-hannover.de



Prof. Dr. Georg Garnweithner

Institut für Partikeltechnik
Technische Universität Braunschweig
Volkmaroder Str. 5
D-38104 Braunschweig
Phone: +49 531 391 9615
Fax: +49 531 391 9633
g.garnweithner@tu-bs.de
www.ipat.tu-bs.de



Prof. Dr. Ulrich Giese

Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e. V.
Eupener Straße 33
D-30519 Hannover
Phone: +49 511 84201-10
Ulrich.Giese@DIKautschuk.de
www.dikautschuk.de





Prof. Dr. Rolf J. Haug
- Vorstand LNQE -
- *Executive Board LNQE*-
Institut für Festkörperphysik
Abteilung Nanostrukturen
Leibniz Universität Hannover
Appelstraße 2
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 2901
Fax: +49 511 762 2904
haug@nano.uni-hannover.de
www.nano.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / *Core competencies*:

- Quantenpunktsysteme / *Quantum Dot Systems*
- Elektronendynamik / *Electron Dynamics*
- Graphen / *Graphene*
- Quanten-Hall-Effekt und FQHE / *Quantum Hall Effect and FQHE*
- Nanobearbeitung / *Nanomachining*
- Nanodrähte und Cluster / *Nanowires and Clusters*



Prof. Dr. Paul Heitjans
Institut für Physikalische Chemie und
Elektrochemie
Leibniz Universität Hannover
Callinstr. 3A
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 3187
Fax: +49 511 762 19121
heitjans@pci.uni-hannover.de
www.pci.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / *Core competencies*:

- Li-Ionen-Leiter / *Li ion conductors*
- F-Ionen-Leiter / *F ion conductors*
- Nanokristalline Materialien / *Nanocrystalline materials*
- Mechanochemie / *Mechanochemistry*



Prof. Dr. Andreas Kirschning
Institut für Organische Chemie
Leibniz Universität Hannover
Schneiderberg 1B
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 4614
Fax: +49 511 762 3011
andreas.kirschning@oci.uni-hannover.de
www.oci.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / *Core competencies*:

- Enabling-Technologien in der organischen Synthese / *Enabling technologies in organic synthesis*
- Naturstoffchemie / *Natural product chemistry*
- Chemie als Werkzeug in regenerativen Therapien / *Chemistry as tool in Regenerative Therapies*

Kernkompetenzen / *Core competencies*:

- Ultrakalte Materie / *Ultra-cold matter*
- Atomare Bose-Einstein-Kondensate und quantenentartete Fermigase / *Atomic Bose-Einstein condensates and quantum degenerate Fermie gases*
- Ultrakalte Moleküle / *Ultra-cold molecules*
- Nichtklassische Materiewellen / *Non-classical matter waves*
- Squeezing und Verschränkung von neutralen Atomen / *Squeezing and entanglement of neutral atoms*

apl. Prof. Dr. Carsten Klemp
 Institut für Quantenoptik
 Leibniz Universität Hannover
 Welfengarten 1
 D-30167 Hannover
 Phone: +49 511 762 2238
 Fax: +49 511 762 2211
 klemp@iqo.uni-hannover.de
 www.iqo.uni-hannover.de



Kernkompetenzen / *Core competencies*:

- Spinelektronik in Halbleitern / *spinelectronics in semiconductors*
- Quanteneffekte in Nanostrukturen / *quantum effects in nanostructures*
- Zeit- und hochauflösende optische Spektroskopie / *time and spatially resolved optical spectroscopy*

Prof. Dr. Michael Oestreich
 Institut für Festkörperphysik
 Abteilung Nanostrukturen
 Leibniz Universität Hannover
 Appelstraße 2
 D-30167 Hannover
 Phone: +49 511 762 3493
 Fax: +49 511 762 2904
 oest@nano.uni-hannover.de
 www.nano.uni-hannover.de



Kernkompetenzen / *Core competencies*:

- Quantenlogik in Microfallen / *Quantum Logic in Microtraps*
- Quantenlogische Spektroskopie von (Anti-) Protonen / *Quantum Logic Spectroscopy of (Anti-)Protons*
- Oberflächenelektroden Fallen Fabrikation / *Surface-Electrode Trap Fabrication*

Prof. Dr. Christian Ospelkaus
 - Vorstand LNQE -
 - *Executive Board LNQE*-
 Institut für Quantenoptik
 Leibniz Universität Hannover
 Welfengarten 1
 D-30167 Hannover
 Phone: +49 511 762 17644
 Fax: +49 511 762 2211
 christian.ospelkaus@iqo.uni-hannover.de
 www.iqo.uni-hannover.de





Prof. Dr. Silke Ospelkaus
Institut für Quantenoptik
Leibniz Universität Hannover
Welfengarten 1
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 17645
Fax: +49 511 762 2211
silke.ospelkaus@iqo.uni-hannover.de
www.iqo.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / *Core competencies:*

- Erzeugung von ultrakalten Molekülen / *Assembly of Ultracold Molecules*
- Direkte Laserkühlung von Molekülen / *Direct Laser Cooling of Molecules*
- Molekülspektroskopie / *Molecular Spectroscopy*



Prof. Dr. H. Jörg Osten
Institut für Materialien und Bauelemente
der Elektronik
Leibniz Universität Hannover
Schneiderberg 32
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 4211
Fax: +49 511 762 4229
osten@mbe.uni-hannover.de
www.mbe.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / *Core competencies:*

- Kristalline Oxide auf Silizium / *Crystalline oxides on silicon*
- SiGe und Ge Epitaxie auf Si / *SiGe and Ge epitaxy on Si*
- Silizium Polytypismus / *Silicon polytypism*
- Nutzung des Halbleitertechnologie
Know-Hows für hocheffiziente Solarzellen / *Use of semiconductor technology*
Know-how for highly efficient solar cells



Prof. Dr. Herbert Pfnür
Institut für Festkörperphysik
Abteilung Atomare und molekulare Strukturen
Leibniz Universität Hannover
Appelstraße 2
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 4819
Fax: +49 511 762 4877
pfnuer@fkp.uni-hannover.de
www.fkp.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / *Core competencies:*

- Leitfähigkeit in reduzierten Dimensionen / *Conductivity in reduced dimensions*
- Molekulare Elektronik / *Molecular electronics*
- Funktionalisierte Isolatoren / *Functionalized insulators*
- Nanostrukturierte Metall/Isolator-Systeme / *Nanostructured metal/insulator systems*

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Atomoptik / *Atom Optics*
- Quantenoptik / *Quantum Optics*
- Präzisionssensoren für Raum und Zeit / *Precision Sensors of Space and Time*

Prof. Dr. Ernst Rasel
 Institut für Quantenoptik
 Leibniz Universität Hannover
 Welfengarten 1
 D-30167 Hannover
 Phone: +49 511 762 19203
 Fax: +49 511 762 2211
rasel@iqo.uni-hannover.de
www.iqo.uni-hannover.de

**Kernkompetenzen / Core competencies:**

- Koordinationschemie / *Coordination chemistry*
- Molekulare Schalter / *Molecular switches*
- Mößbauer Spektroskopie / *Mößbauer spectroscopy*

Prof. Dr. Franz Renz
 Institut für Anorganische Chemie
 Leibniz Universität Hannover
 Callinstraße 9
 D-30167 Hannover
 Phone: +49 511 762 4541
 Fax: +49 511 762 19032
franz.renz@acd.uni-hannover.de
www.aci.uni-hannover.de

**Kernkompetenzen / Core competencies:**

- Entwicklung und präzise Kontrolle von Ionenprozessen zur Herstellung hochwertiger optischer Schichten / *Development and precise control of modern ion processes for the production of high quality and stable optical coatings*
- Charakterisierung optischer Laserkomponenten / *Characterization of optical laser components*

Prof. Dr. Detlev Ristau
 Laser Zentrum Hannover e. V., Laser Components Department
 Hollerithallee 8
 30419 Hannover
 Phone: +49 511 2788 240
 Fax: +49 511 2788 100
d.ristau@lzh.de
www.lzh.de
www.iqo.uni-hannover.de





Dr. Andreas Schaate
Institut für Anorganische Chemie
Leibniz Universität Hannover
Callinstr. 9
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 5187
Fax: +49 511 762 3006
andreas.schaate@acb.uni-hannover.de
www.acb.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Metall-organische Gerüste / *metal-organic frameworks, MOF*



Prof. Dr. Christoph Tegenkamp
Institut für Festkörperphysik
Abteilung Atomare und molekulare Strukturen
Leibniz Universität Hannover
Appelstraße 2
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 4825
Fax: +49 511 762 4877
tegenkamp@fkp.uni-hannover.de
www.fkp.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Graphen und Nanostrukturierung von Graphen / *Graphene and nanostructuring of graphene*
- Funktionalisierung von Halbleiteroberflächen / *Functionalization of semiconductor surfaces*
- Korrelierte elektronische Systeme / *Correlated electronic systems*
- Kollektive Phänomene / *Collective phenomena*
- Transport in niedrigdimensionalen Strukturen / *Transport in low dimensional structures*



Prof. Dr.-Ing. Bernhard Wicht
Institut für Mikroelektronische Systeme
Fachgebiet für Mixed-Signal-Schaltungen
Appelstr. 4
D-30167 Hannover
Phone: +49 511 762 19690
Fax: +49 511 762 19694
bernhard.wicht@ims.uni-hannover.de
www.ims.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Design von Integrierten Schaltkreisen mit Fokus auf Power-Management, Gate-Treiber, Energieeffizienz und Low-Power / *Design of integrated circuits with focus on power management, gate drivers, energy efficiency and low-power*

Kernkompetenzen / *Core competencies:*

- Dünnfilmtechnik / *Thin Film Technology*
- Mechanische Mikrobearbeitung und –montage / *Mechanical Micromachining and Microassembly*
- Mikrotribologie / *Microtribology*
- Konzepte im Bereich der Aus- und Weiterbildung in der Mikrosystemtechnik / *Concepts of education and advanced training in microtechnology*
- Aufbau- und Verbindungstechnik auf Waferniveau / *Assembly and packaging at wafer level*

Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz
 - Vorstand LNQE -
- Executive Board LNQE-
 Institut für Mikroproduktionstechnik
 Leibniz Universität Hannover
 An der Universität 2
 D-30823 Garbsen
 Phone: +49 511 762 7486
 Fax: +49 511 762 2867
 wurz@imt.uni-hannover.de
 www.imt.uni-hannover.de



Kernkompetenzen / *Core competencies:*

- Lithium-Ionen-Batterien / *Lithium-ion batteries*
- Elektrochemie / *Electrochemistry*
- Nanomembrane / *Nanomembrane*
- Energieharvesting / *Energy harvesting*

Prof. Dr. Lin Zhang
 Institut für Festkörperphysik
 Abteilung Atomare und Molekulare Strukturen
 Leibniz Universität Hannover
 Appelstr. 2
 D-30167 Hannover
 Phone: +49 511 762 2542
 Fax: +49 511 762 4877
 L.Zhang@fkp.uni-hannover.de
 www.fkp.uni-hannover.de



Kernkompetenzen / *Core competencies:*

- Sensorik und Messtechnik / *Sensors and Measurement Science*
- Medizin- und Sicherheitstechnik / *Medical and Safety Technology*
- Mikrosystemtechnik / *Micro system technology*

Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann
 - Vorstand LNQE -
- Executive Board LNQE-
 Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik
 Leibniz Universität Hannover
 Appelstraße 9a
 D-30167 Hannover
 Phone: +49 511 762 4671
 Fax: +49 511 762 3917
 zimmermann@geml.uni-hannover.de
 www.geml.uni-hannover.de



Emeriti



Prof. Dr.-Ing. Hans-Heinrich Gatzen
 Institut für Mikroproduktionstechnik
 Leibniz Universität Hannover
 An der Universität 2
 D-30823 Garbsen
 Phone: +49 511 762 5103
 Fax: +49 511 762 2867
 gatzen@impt.uni-hannover.de
 www.impt.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- Mikro- und Nanosensorik / *Micro- and nanosensors*
- Mikro- und Nanoaktorik / *Micro- and nanoactors*
- Mikro- und Nanotribologie / *Micro- and nanotribology*
- Mechanische Mikro- und Nanobearbeitung / *Mechanical micro- and nanoprocessing*
- Mikromontage / *Micro assembly*
- Management of Technology (MOT) / *Management of Technology (MOT)*
- Ausbildungskonzepte für Mikro- und Nanotechnik / *Educational concepts for mikro and nano technics*



Prof. Dr. Karl R. Hofmann
 Institut für Materialien und Bauelemente
 der Elektronik
 Leibniz Universität Hannover
 Schneiderber 32
 D-30167 Hannover
 hofmann@mbe.uni-hannover.de
 www.mbe.uni-hannover.de

Kernkompetenzen / Core competencies:

- MOSFETs mit hochbeweglichen heteroepitaktischen Germanium-Kanälen auf Siliziumsubstraten / *MOSFETs with high-mobility heteroepitaxial germanium channels on silicon substrates*
- Resonante Tunnelbauelemente / *Resonant-tunneling devices*
- Nanocluster MOS-Speicher / *Nanocluster MOS-memories*
- Gatedielektrika hoher Dielektrizitätskonstante / *Gate dielectrics with high dielectric constant*
- Degradationsphänomene in Gate- und Tunneloxiden / *Degradation phenomena in gate- and tunnel-oxides*
- Full-band Monte-Carlo Transportsimulation / *Full-band Monte-Carlo transport simulation*

Aktuell in 2018 / News in 2018

Lamb-Preis für Professor Rasel

Hohe Auszeichnung für LNQE-Mitglied

Prof. Dr. Ernst M. Rasel vom Institut für Quantenoptik an der Leibniz Universität Hannover wurde am 10.01.2018 mit dem „2018 Willis Lamb Award for Laser Physics and Quantum Optics“ ausgezeichnet. Die hohe Auszeichnung erhält er zusammen mit dem österreichischen Quanteninformatiker Peter Zoller und der chinesischen Quantenphysiker Jian-Wei Pan.

Prof. Dr. Ernst M. Rasel wird für seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der Erforschung ultrakalter Atome unter Schwerelosigkeit ausgezeichnet. Seine Arbeitsgruppe erforscht die fundamentalen Aspekte der Materiewellenoptik, insbesondere die Interferometrie mit Bose-Einstein-Kondensaten. Sie entwickelt hierbei Methoden und Quellen um Bose-Einstein Kondensate und nichtklassische Materiezustände für die Interferometrie nutzbar zu machen und deren Empfindlich- und Genauigkeit zu verbessern.

Der Willis E. Lamb Award für Laserwissenschaft und Quantenoptik wird jährlich für herausragende Beiträge auf diesem Gebiet verliehen. Der Preis ehrt Willis E. Lamb, Jr., berühmter Laserwissenschaftler und Nobelpreisträger für Physik im Jahr 1955, der viele bahnbrechende Einsichten lieferte und vielen Bereichen der Physik und Technologie eröffnete. Der Preis wird seit 1998 jährlich von der Physics of Quantum Electronics Conference (USA) verliehen.

Prof. Bigall wird W3-Professorin ab 1. Februar 2018

LNQE-Mitglied bleibt in Hannover

Dr. Nadja Bigall hat im Rahmen einer Bleibeverhandlung den Ruf auf eine W3 Professur für „Funktionale Nanostrukturen“ am Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie der Leibniz Universität Hannover angenommen.

Lamb Award for Professor Rasel

High award for LNQE member

Prof. Dr. Ernst M. Rasel from the Institute of Quantum Optics at Leibniz Universität Hannover was honored with the “2018 Willis Lamb Award for Laser Physics and Quantum Optics” on 10.01.2018. He receives the prestigious award together with the Austrian quantum computer scientist Peter Zoller and the Chinese quantum physicist Jian-Wei Pan.

Prof. Dr. Ernst M. Rasel is honored for his pioneering work in the field of ultra-cold atom research under absence of gravity. His research group is investigating the fundamental aspects of matter wave optics, in particular the interferometry with Bose-Einstein condensates. It develops methods and sources to make Bose-Einstein condensates and non-classical matter states useful for interferometry and to improve their sensitivity and accuracy.

The Willis E. Lamb Award for Laser Science and Quantum Optics is awarded annually for outstanding contributions in this field. The award honors Willis E. Lamb, Jr., famous laser scientist and Nobel laureate in physics in 1955, who provided many groundbreaking insights and opened many fields of physics and technology. The prize has been awarded annually since 1998 by the Physics of Quantum Electronics Conference (USA).

10.01.2018



Prof. Dr. Ernst M. Rasel

24.01.2018



Prof. Dr. Nadja Bigall

Ihre Arbeitsgruppe und Labore befinden sich sowohl im LNQE-Forschungsbau als auch im Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie. Arbeitsschwerpunkt ihrer Arbeitsgruppe ist die Herstellung formkontrollierter Nanokristalle und deren Assemblierung zu Funktionsmaterialien mit maßgeschneiderten optischen, elektrischen, magnetischen und katalytischen Eigenschaften.

Herausragende Erfolge ihrer bisherigen wissenschaftlichen Karriere waren die Etablierung einer BMBF-Nachwuchsgruppe im NanMatFutur-Wettbewerb 2013 und das Einwerben eines ERC Starting Grants 2017. Sie war im Oktober letzten Jahres auf eine W2-Professur an die Leibniz Universität Hannover berufen worden.

Her research group and laboratories are located both in the LNQE research building and in the Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry. Her research group focuses on the production of shape-controlled nanocrystals and their assembly into functional materials with tailor-made optical, electrical, magnetic and catalytic properties.

Outstanding achievements of her previous scientific career were the establishment of a BMBF junior research group in the NanMatFutur competition 2013 and the acquisition of an ERC Starting Grant 2017. She was appointed to a W2 professorship at Leibniz Universität Hannover last October.

24.01.2018



PD Dr. Dirk Dorfs nach seiner Antrittsvorlesung zum Privatdozenten, zusammen mit Prof. Schmitz, dem Dekan der Naturwissenschaftlichen Fakultät.

PD Dr. Dirk Dorfs after his inaugural lecture as private lecturer, together with Prof. Schmitz, Dean of the Faculty of Natural Sciences.

Dr. Dorfs erfolgreich habilitiert

LNQE-Mitglied wird Privatdozent

Dr. Dirk Dorfs vom Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie der Leibniz Universität Hannover hat sein Habilitationsverfahren erfolgreich abgeschlossen. Nach seinem Habilitationskolloquium am 7. November 2017 zu dem Thema „Physikalische Chemie der photokatalytischen Wasserspaltung: Nach 40 Jahren immer noch aktuell?“ hat er am 17. Januar 2018 seine Antrittsvorlesung mit dem Titel „Nanokristalle – auf die Größe kommt es an“ gehalten.

Die Kernkompetenzen von Herrn PD Dr. Dirk Dorfs sind:

- Synthese von kolloidalen Nanopartikeln (Halbleiter und Metalle)
- Kolloidale Nanopartikel komplexer Zusammensetzung
- Erweiterte Formkontrolle von Nanopartikeln (Stäbchen, verzweigt, hohl, etc.)
- Optische Eigenschaften von Nanopartikeln
- Wechselwirkungen verschiedener Nanopartikel (Metall/Halbleiter etc.)

Dr. Dorfs Successfully Habilited

LNQE member becomes a Privatdozent

Dr. Dirk Dorfs from the Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of Leibniz Universität Hannover has successfully completed his habilitation procedure. After his habilitation colloquium on November 7, 2017 on the topic “Physical Chemistry of Photocatalytic Water Splitting: Still Fresh After 40 Years?” He held his inaugural lecture on January 17, 2018 entitled “Nanocrystals - Size matters”.

The core competences of PD Dr. Dirk Dorfs are:

- Synthesis of colloidal nanoparticles (semiconductors and metals)
- Colloidal nanoparticles of complex composition
- Advanced shape control of nanoparticles (rods, branched, hollow, etc.)
- Optical properties of nanoparticles
- Interactions of various nanoparticles (metal / semiconductor, etc.)

Rekordwirkungsgrad für p-Typ kristalline Si-Solarzellen

Kooperation von ISFH und MBE stellt Weltrekordsolarzelle her

Hannover/Emmerthal: Das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) und das Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik (MBE) der Leibniz Universität Hannover haben die Herstellung einer kristallinen Silizium-Solarzelle auf p-Typ Wafermaterial mit einem unabhängig bestätigten Wirkungsgrad von $(26.10 \pm 0.31)\%$ unter einer Sonne demonstriert. Dies ist ein Weltrekord für p-Typ-Si-Material sowie ein europäischer Rekord für kristallines Si.

Die Rekordzelle verwendet einen passivierenden elektronenselektiven n+-Typ Polysilizium auf Oxid (POLO)-Übergang am Minuskontakt der Zelle und einen löcherselektiven p+-Typ POLO-Übergang am Pluskontakt. Es ist die hohe Selektivität dieser Übergänge, die solch hohe Wirkungsgrade ermöglicht. Die zwei verschiedenen Übergänge werden in einem ineinandergreifenden Muster auf der Rückseite aufgebracht. Dadurch wird die parasitäre Absorption im Poly-Si minimiert und eine Abschattung durch vorderseitige Metallisierung vermieden.

Die Nutzung des Reinraums des Laboratoriums für Nano- und Quantenengineering (LNQE) der Leibniz Universität Hannover hat einen wichtigen Anteil beim Erreichen des hohen Zellwirkungsgrades. Im Reinraum des LNQE wurden die Dotierung der Polysiliziumschichten und deren Strukturierung von MBE-Mitarbeitern durchgeführt. Die Abscheidung der Polysilizium-Schichten führte der Projektpartner Centrotherm durch. Die anderen wichtigen Schritte der Solarzellenprozessierung, sowie die Charakterisierung der Solarzellen fanden am ISFH statt.

Das Ziel ist die Integration der POLO-Übergänge in die aktuelle Mainstream-Technologie mit einem deutlichen Effizienzvorteil.

Record Efficiency for p-Type Crystalline Si Solar Cells

Cooperation of ISFH and MBE produces world record solar cell

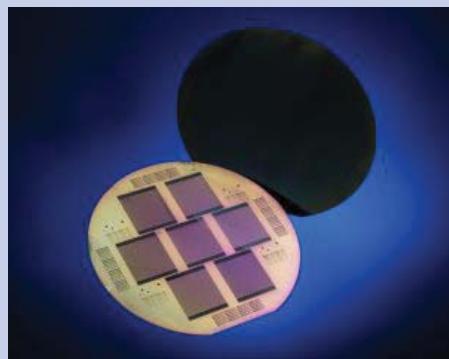
Hannover / Emmerthal: The Institute for Solar Energy Research Hamelin (ISFH) and the Institute of Electronic Materials and Devices (MBE) of Leibniz Universität Hannover have developed a crystalline silicon solar cell on p-type wafer material with an independently confirmed efficiency of $(26.10 \pm 0.31)\%$ demonstrated under one sun.

This is a world record for p-type Si material as well as a European record for crystalline Si. The record cell uses a passivating electron-selective n+-type polysilicon on oxide (POLO) junction at the minus contact of the cell and a hole-selective p+-type POLO junction at the plus contact. It is the high selectivity of these junctions that allow such high efficiencies. These junctions are applied in an interdigitated pattern on the rear side. This minimizes the parasitic absorption in the poly-Si and avoids shading by front side metallization.

The use of the clean room of the Laboratory for Nano and Quantum Engineering (LNQE) of the Leibniz Universität Hannover plays an important role in achieving the high cell efficiency. In the clean room of the LNQE, the doping of the polysilicon layers and their structuring were carried out by MBE employees. The deposition of the polysilicon layers was carried out by the project partner Centrotherm. The other important steps of the solar cell processing as well as the characterization of the solar cells took place at the ISFH.

The goal is to integrate the POLO transitions into current mainstream technology with a significant efficiency advantage.

07.02.2018



Monokristalline Siliziumsolarzelle mit POLO-Kontakten für beide Polaritäten auf der Solarzellerrückseite. Im Vordergrund ist die Rückseite von sieben Solarzellen auf einem Wafer zu sehen, im Hintergrund die gesamte Vorderseite.

Monocrystalline silicon solar cell with POLO contacts for both polarities on the back of the solar cell. In the foreground the back-side of seven solar cells can be seen on one wafer, in the background the whole front side.

05.02.2018



apl. Prof. Dr. Carsten Klempf

Professor Klempf weist die quantenmechanische Verschränkung zwischen zwei räumlich getrennten Atomwolken nach

LNQE-Mitglied veröffentlicht in der renommierten Fachzeitschrift „Science“

Die quantenmechanische Verschränkung von zwei Teilchen zu einem gemeinsamen, korrelierten Zustand sind die Grundlage moderner Quantentechnologien wie zum Beispiel dem Quantencomputer. Hierfür werden möglichst viele Teilchen benötigt, die miteinander verschränkt sind. In ultrakalten Gasen einzelner Atome wurden nichtklassische Zustände mit wechselseitiger Verschränkung zwischen Tausenden von Teilchen erzeugt. Prof. Klempf und seine Kooperationspartner sind es gelungen, die Generation der Verschränkung zwischen zwei räumlich getrennten Wolken durch Aufspaltung eines Ensembles ultrakalter identischer Teilchen zu zeigen. Da die Wolken einzeln adressiert werden können, öffnen ihre Experimente einen Weg, um die verfügbaren verschränkten Zustände nicht unterscheidbarer Teilchen für Anwendungen der Quanteninformation zu nutzen.

Die Ergebnisse sind jetzt in der renommierten Fachzeitschrift „Science“ veröffentlicht worden. Science Vol. 360, Issue 6387, pp. 416-418 (2018), DOI: 10.1126/science.aao2035

Professor Klempf demonstrates the quantum mechanical entanglement between two spatially separated atom clouds

LNQE member publishes in the renowned journal „Science“

The quantum mechanical entanglement of two particles into one common, correlated state is the basis of modern quantum technologies such as the quantum computer. For this purpose as many particles are needed, which are entangled with each other. In ultracold gases of single atoms, nonclassic states were created with entanglement between thousands of particles. Prof. Klempf and his co-operation partners have managed to show the generation of entanglement between two spatially separated clouds by splitting an ensemble of ultracold identical particles. Since the clouds can be addressed individually, their experiments open a way to exploit the available entangled states of indistinguishable particles for applications of quantum information.

The results have now been published in the renowned scientific journal „Science“. Science Vol. 360, Issue 6387, pp. 416-418 (2018), DOI: 10.1126/science.aao2035

14.05.2018



Besuch aus Eindhoven im LNQE am 09.05.2018.

Visit from Eindhoven at the LNQE on 09.05.2018.

Besuch aus Eindhoven

Labortour für Studenten aus den Niederlanden im LNQE-Forschungsbau

Am 09.05.2018 war eine studentische Besuchergruppe der Eindhoven University of Technology (Department of Electrical Engineering) zu Gast im LNQE-Forschungsbau. Nach einer allgemeinen Vorstellung des LNQE mit Rundgang wurden ausgesuchte Experimente aus den Physik- und Elektrotechnik-Gruppen des LNQE präsentiert:

- 4-Spitzen-STM-REM
- Trapped-Ion Quantum Engineering
- Gas Sensor Technology

Visit from Eindhoven

Lab tour for students from the Netherlands in the LNQE research building

On 09.05.2018 a group of students from the Eindhoven University of Technology (Department of Electrical Engineering) visited the LNQE research building. After a general presentation of the LNQE with a tour, selected experiments from the physics and electrical engineering groups of the LNQE were presented:

- 4-Probe-STM-REM
- Trapped-Ion Quantum Engineering
- Gas Sensor Technology

- Gassensorik
- Implanter & Reinraum

Vielen Dank an Frederik, Johannes, Malte, Jan und Adrian für ihre Präsentationen in den Laboren!

SommerUNI 2018 im LNQE

Schülerinnen informieren sich über Nanotechnologie

Die SommerUNI (ehem. Herbstuniversität) ist ein Angebot der Leibniz Universität Hannover speziell für Mädchen der 10. bis 13. Klassen, die sich für ein Studium im Bereich Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften oder Technik (MINT) interessieren. Am 03.07.2018 stellte das Laboratorium für Nano- und Quantenengineering die Nanotechnologie vor.

Das Programm startete mit einem kleinen Vortrag über Nanotechnologie und die Studienmöglichkeiten zur Nanotechnologie an der Leibniz Universität Hannover. Dann wurden in vier Stationen in den Laboren aktuelle Forschungsarbeiten jeweils in Kleingruppen vorgeführt. Zusätzlich boten Gesprächsrunden noch die Möglichkeit, Fragen an jetzige Studierende der Nanotechnologie zu stellen. Die vier Stationen im Überblick:

- Sensorik: Gezeigt wurden die Entwicklung neuer Sensoren (insbesondere Nanosensoren) bis hin zu kompakten Messsystemen zur schnellen Detektion kleinster Stoffkonzentrationen in Flüssigkeiten und Gasen (Luft) überwiegend für medizin-, bio-, umwelt- und sicherheitstechnische Anwendungen.
- Photokatalyse: Sehr dünne Schichten aus Titandioxid haben zwei Effekte. Zum einen wird die Tropfbildung von Wasser verhindert und breitet sich dadurch wie ein dünner Film über die Oberfläche aus, und zum Zweiten wird organischer Schmutz an der Oberfläche zersetzt. Durch die Kombination beider Effekte reinigen sich die Oberflächen fast wie von selbst.
- Nanopartikel: Durch kontrollierte Synthese lassen sich kleinste

- *Implanter & Cleanroom*

Many thanks to Frederik, Johannes, Malte, Jan and Adrian for their presentations in the labs!

SummerUNI 2018 in the LNQE

Schoolgirls inform themselves about nanotechnology

SommerUNI (formerly Herbstuniversität) is an offer of Leibniz University Hannover especially for girls of the 10th to 13th classes who are interested in studying mathematics, computer science, natural sciences or technology (MINT). On July 3, 2018, the Laboratory for Nano- and Quantum Engineering presented nanotechnology.

The programme started with a short lecture on nanotechnology and the possibilities of studying nanotechnology at Leibniz University Hannover. Then current research work was presented in small groups in four stations in the laboratories. In addition, roundtables offered the opportunity to ask questions to current students of nanotechnology. The four stations at a glance:

- *Sensors: The development of new sensors (especially nano-sensors) up to compact measuring systems for fast detection of the smallest concentrations of substances in liquids and gases (air), mainly for medical, bio-, environmental and safety applications, were shown.*
- *Photocatalysis: Very thin layers of titanium dioxide have two effects. Firstly, water dripping is prevented and spreads over the surface like a thin film, and secondly, organic dirt is decomposed on the surface. By combining both effects, the surfaces clean themselves almost automatically.*
- *Nanoparticles: Controlled synthesis makes it possible to produce the smallest particles of the most varied composition, size and, in particular, shape. Such nanoparticles have a wide variety of applications, for example as sensors, in medicine or in innovative*

05.07.2018



SommerUNI 2018 - Nanotechnologie.

SommerUNI 2018 - Nanotechnology.

Teilchen verschiedenster Zusammensetzung, Größe und insbesondere Form herstellen. Solche Nanopartikel haben verschiedene Anwendungsmöglichkeiten, zum Beispiel als Sensor, in der Medizin oder in neuartigen Displays als leuchtende Farbpunkte.

- Transmissionselektronenmikroskop: In diesem besonderen Mikroskop werden Elektronen mit hoher Spannung beschleunigt und durch sehr dünne Proben hindurch gestrahlt, so dass die Abbildung direkte Information über das Innere der Probe enthält. Es werden Auflösungen im Nanometerbereich erzielt. In kristallinen Proben ist es sogar möglich, die Anordnungen einzelner Atome abzubilden.

Die SommerUNI 2018 zum Thema Nanotechnologie war mit 20 Teilnehmerinnen sehr gut besucht und insgesamt ein voller Erfolg. Es hat viel Spaß gemacht!

displays as luminous colour dots.

- *Transmission electron microscope: In this special microscope, electrons are accelerated at high voltage and radiated through very thin samples so that the image contains direct information about the inside of the sample. Resolutions in the nanometre range are achieved. In crystalline samples it is even possible to map the arrangement of individual atoms.*

The Summer UNI 2018 on the topic of nanotechnology was very well attended with 20 participants and overall a complete success. It was a lot of fun!

10.10.2018

www.LNQE.uni-hannover.de

Relaunched!

LNQE-Website jetzt im responsive Design

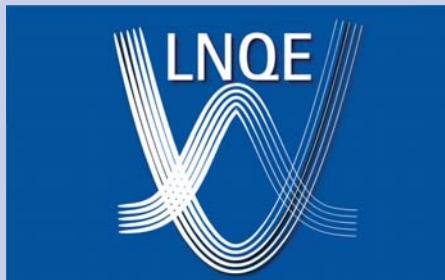
Wir haben die LNQE-Website jetzt auf das neue responsive Design der Leibniz Universität Hannover umgestellt. Dadurch passt sich die Website automatisch den Anforderungen des jeweiligen Endgerätes an – PC, Smartphone, Tabletcomputer – und sieht besser aus. Viele Spaß!

Relaunched!

LNQE website now in responsive design

We have now converted the LNQE website to the new responsive design of Leibniz Universität Hannover. This means that the website automatically adapts to the requirements of the respective end device - PC, smartphone, tablet computer - and looks better. Have fun!

10.10.2018



Großer Erfolg in der Exzellenzstrategie

Starke Beteiligung der LNQE-Arbeitsgruppen in den neuen Exzellenzclustern

Die beiden Anträge QuantumFrontiers und PhoenixD der Leibniz Universität Hannover werden Exzellenzcluster im Rahmen der Exzellenzstrategie von Bund und Ländern. Der bereits bestehende Cluster Hearing4all unter der Leitung der Universität Oldenburg wird verlängert.

Bei allen drei Exzellenzclustern sind Mitglieder des LNQE als federführende Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen vertreten:

Great Success in Excellence Strategy

Strong participation of the LNQE working groups in the new clusters of excellence

The two applications QuantumFrontiers and PhoenixD from Leibniz Universität Hannover become clusters of excellence within the framework of the federal and state excellence strategy. The existing Hearing4all cluster under the leadership of the University of Oldenburg will be extended.

Members of the LNQE are represented as leading scientists in all three clusters of excellence:

QuantumFrontiers

Licht und Materie an der Quantengrenze: Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Forschungsverbundes befassen sich mit neuen Messtechnologien auf Nanobene. Physikalische Grundeinheiten wie Masse, Länge und Zeit sollen in diesem äußerst kleinen Maßstab präziser werden. Dabei werden Effekte der Quantenmechanik gezielt genutzt, um Messgenauigkeiten zu verbessern.

Beteiligt vom LNQE:

- Prof. Dr. Boris Chichkov, Institut für Quantenoptik
- Prof. Dr. Wolfgang Ertmer, Institut für Quantenoptik und Laserzentrum Hannover e. V.
- Prof. Dr. Rolf Haug, Institut für Festkörperphysik
- Apl. Prof. Dr. Carsten Klempt, Institut für Quantenoptik
- Prof. Dr. Christian Ospelkaus, Institut für Quantenoptik
- Prof. Dr. Silke Ospelkaus, Institut für Quantenoptik
- Prof. Dr. Ernst Rasel, Institut für Quantenoptik

PhoenixD

Optische Präzisionsgeräte schnell und kostengünstig aus additiver Fertigung wie 3D-Druck sind das Ziel. Ein Interdisziplinäres Forscherteam arbeitet gemeinsam an der Simulation, Fabrikation und Anwendung optischer Systeme. Bislang werden optische Linsen aus Glas und das umgebende Gehäuse in mehreren Arbeitsschritten - oftmals in Handarbeit - hergestellt. Die Fachleute der unterschiedlichen Disziplinen arbeiten in dem Forschungsverbund an einem digitalisierten Fertigungssystem, das individualisierte Produkte herstellen kann.

Beteiligt vom LNQE:

- Prof. Dr. Peter Behrens, Institut für Anorganische Chemie
- Prof. Dr. Nadja Bigall, Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie
- Prof. Dr. Boris Chichkov, Institut für Quantenoptik
- Prof. Dr. Detlev Ristau, Institut für

QuantumFrontiers

Light and matter at the quantum frontier: The scientists of the research network are working on new measuring technologies at the nano-level. Basic physical units such as mass, length, and time should become more precise on this extremely small scale. The effects of quantum mechanics are used specifically to improve measurement accuracy.

Participants from LNQE:

- *Prof. Dr. Boris Chichkov, Institute of Quantum Optics*
- *Prof. Dr. Wolfgang Ertmer, Institute of Quantum Optics and Laserzentrum Hannover e. V.*
- *Prof. Dr. Rolf Haug, Institute for Solid State Physics*
- *Apl. Prof. Dr. Carsten Klempt, Institute of Quantum Optics*
- *Prof. Dr. Christian Ospelkaus, Institute of Quantum Optics*
- *Prof. Dr. Silke Ospelkaus, Institute of Quantum Optics*
- *Prof. Dr. Ernst Rasel, Institute of Quantum Optics*

PhoenixD

Precision optical equipment quickly and cost-effectively from additive manufacturing such as 3D printing are the goal. An interdisciplinary team of researchers works together on the simulation, fabrication and application of optical systems. So far, optical lenses made of glass and the surrounding housing fabricated in several steps - often by hand. The specialists of the different disciplines work in the research network on a digitized manufacturing system that can produce individualized products.

Participants from LNQE:

- *Prof. Dr. Peter Behrens, Institute of Inorganic Chemistry*
- *Prof. Dr. Nadja Bigall, Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry*
- *Prof. Dr. Boris Chichkov, Institute of Quantum Optics*
- *Prof. Dr. Detlev Ristau, Institute of Quantum Optics and Laserzentrum Hannover e. V.*

Quantenoptik und Laserzentrum
Hannover e. V.

Hearing4all

Die Oldenburger haben basierend auf den Ergebnissen des bisherigen Exzellenzclusters den Antrag gemeinsam mit Hörforschern aus Hannover entwickelt. Geforscht wird an der individuellen Behandlung von Hörstörungen. Künftig wollen die Hörforscher einerseits die Entwicklungs-kette von der Grundlagenforschung zur Hörentechnologie und andererseits den Schweregrad der Schwerhörigkeit abbilden.

Beteiligt vom LNQE:

- Prof. Dr. Peter Behrens, Institut für Anorganische Chemie
- Prof. Dr. Wolfgang Ertmer, Institut für Quantenoptik und Laserzentrum Hannover e. V.

22.10.2018



Prof. Dr. Ernst M.
Rasel

Bose-Einstein-Kondensate im Weltall

Das LNQE-Mitglied Professor Rasel veröffentlicht in der renommierten Fachzeitschrift „nature“

Bose-Einstein-Kondensate sind makroskopische Quantenobjekte von einer größeren Anzahl von Atomen. Normalerweise werden Bose-Einstein-Kondensate in aufwendigen Laserapparaturaufbauten, so genannten magneto-optischen Fallen, erzeugt. Das Forscherteam von Professor Ernst Rasel vom Institut für Quantenoptik der Leibniz Universität Hannover hat die Bose-Einstein-Kondensate auf miniaturisierten Atom-Chips realisiert, sie dann in Zusammenarbeit mit einem internationalem Forscherverbund mittels der MAIUS-1 Forschungsraketen-Mission in das Weltall geschossen und dort vielfältig untersucht.

Erste Ergebnisse der Untersuchungen sind jetzt in der renommierten Fachzeitschrift „nature“ veröffentlicht worden. Nature volume 562, pages 391–395 (2018), DOI:10.1038/s41586-018-0605-1

Hearing4all

Based on the results of the former cluster of excellence, the Oldenburgers have developed the proposal together with hearing researchers from Hannover. Research is being done on the individual treatment of hearing disorders. In the future, the hearing researchers want to map the development chain from basic research to hearing technology on the one hand and the degree of severity of the deafness on the other hand.

Participants from LNQE:

- Prof. Dr. Peter Behrens, Institute of Inorganic Chemistry
- Prof. Dr. Wolfgang Ertmer, Institute of Quantum Optics and Laserzentrum Hannover e. V.

Bose-Einstein condensates in space

The LNQE member Professor Rasel publishes in the renowned journal „nature“

Bose-Einstein condensates are macroscopic quantum objects of a larger number of atoms. Normally, Bose-Einstein condensates are generated in elaborate laser apparatus structures known as magneto-optical traps. Professor Ernst Rasel's team of researchers from the Institute of Quantum Optics at Leibniz Universität Hannover has realised the Bose-Einstein condensates on miniaturised atom chips, then, in cooperation with an international research consortium, shot them into space by means of the MAIUS-1 research rocket mission and investigated them in many different ways.

First results of the investigations have now been published in the renowned scientific journal „nature“. Nature volume 562, pages 391-395 (2018), DOI:10.1038/s41586-018-0605-1

Niedersachsen-Technikum 2018

Abiturientinnen informieren sich über Nanotechnologie im LNQE

Zum Auftakt des diesjährigen Niedersachsen-Technikums an der Leibniz Universität Hannover stellte das Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE) die Nanotechnologie vor. In einem kurzen Vortrag und anschließender Laborführung erhielten die Gäste Einblicke in aktuelle Nanotechnologie-Forschung an der Leibniz Universität Hannover. Im Gespräch mit Unterstützung des Fachrates Nanotechnologie wurden die Gäste über den Bachelor- und Masterstudiengang Nanotechnologie aus erster Hand informiert.

Das Niedersachsen-Technikum ist ein neues Konzept für die Gewinnung des weiblichen Fachkräftenachwuchses in Wissenschaft und Wirtschaft in den so genannten MINT-Fächern. MINT steht für: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. Es richtet sich an junge Frauen, die das Abitur an einem allgemeinbildenden Gymnasium oder einem Fachgymnasium absolviert haben.

Neues Mitglied aus der Anorganischen Chemie

Dr. Schaatte forscht an Metall-Organischen Gerüsten

Dr. rer. nat. Andreas Schaatte ist dem LNQE beigetreten. Er habilitiert im Institut für Anorganische Chemie der Leibniz Universität Hannover im Arbeitskreis Behrens.

Sein Forschungsschwerpunkt sind die Metall-organische Gerüste (metal-organic frameworks, MOF). Die beiden neusten Publikationen sind interdisziplinäre Zusammenarbeiten mit den LNQE-Mitgliedern Prof. Haug (Festkörperphysik) und Prof. Zimmermann (Elektrotechnik):

- A. Mohmeyer, A. Schaatte, B. Brechtken, J. C. Rode, D. P. Warwas, G. Zahn, R. J. Haug, P. Behrens (2018) Delamination and Photochemical Modification of a Novel Two-Dimensional Zr-based MOF, *Chem. Eur.J.* 2018, 24, 12848 –12855 DOI: 10.1002/

Niedersachsen-Technikum 2018

Female high school graduates inform themselves about nanotechnology at the LNQE

The Laboratory for Nano and Quantum Engineering (LNQE) presented nanotechnology at the start of this year's Niedersachsen-Technikum at Leibniz University Hannover. In a short lecture and subsequent laboratory tour, the guests were given insights into current nanotechnology research at Leibniz University Hannover. In conversation with the support of the Nanotechnology student council, the guests were informed first-hand about the Bachelor's and Master's degree courses in nanotechnology.

The Niedersachsen-Technikum is a new concept for attracting young female specialists to science and industry in the so-called MINT subjects. MINT stands for: Mathematics, computer science, natural sciences and technology. It is aimed at young women who have completed their Abitur at a grammar school or a technical grammar school.

23.10.2018



25.10.2018



Dr. rer. nat. Andreas Schaatte



Ionenfallen-Aufbau von Professor Ospelkaus im LNQE-Forschungsbau.

Ion trap setup by Professor Ospelkaus in LNQE research building.

05.11.2018

- 24,12848 –12855 DOI: 10.1002/chem.201802189
- M. Schulz, A. Gehl, J. Schlenkrich, H. A. Schulze, S. Zimermann, A. Schaate (2018) A Calixarene-based MOF for highly selective NO₂ detection, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2018, 57,12961 –12965 DOI: 10.1002/anie.201805355

EU Quantum Flagship Förderung für Professor Ospelkaus

LNQE-Mitglied erforscht Ionen als Qubits

Die EU fördert die Quantentechnologie mit dem Quantum Flagship die nächsten zehn Jahre mit insgesamt einer Milliarde Euro. Jetzt erhalten 20 Forschungsprojekte den Zuschlag in der ersten Förderperiode, darunter das Projekt MicroQC.

Ziel von MicroQC ist es, durch modernstes Quantenengineering schnelle und fehlertolerante Zwei- und Mehrfach-Qubit-Gates in mikrowellengesteuerten, mikrostrukturierten Ionenfallen zu demonstrieren und skalierbare Technologiekomponenten für Multi-Qubit-Quantenprozessoren zu entwickeln.

Professor Christian Ospelkaus (Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover und PTB, Braunschweig) ist Teil des internationalen Konsortiums von MicroQC.

Teile der Arbeiten zu MicroQC finden auch im LNQE Reinraum statt.

chem.201802189

- M. Schulz, A. Gehl, J. Schlenkrich, H. A. Schulze, S. Zimermann, A. Schaate (2018) A Calixarene-based MOF for highly selective NO₂ detection, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2018, 57,12961 –12965 DOI: 10.1002/anie.201805355

EU Quantum Flagship Funding for Professor Ospelkaus

LNQE member researches ions as qubits

The EU is funding quantum technology with the Quantum Flagship for the next ten years with a total of one billion euros. Now, 20 research projects, including the MicroQC project, have been awarded the contract in the first funding period.

The aim of MicroQC is to use state-of-the-art quantum engineering to demonstrate fast and fault-tolerant two- and multi-qubit gates in microwave-controlled, microstructured ion traps and to develop scalable technology components for multi-qubit quantum processors.

Professor Christian Ospelkaus (Institute of Quantum Optics, Leibniz University Hannover and PTB, Braunschweig) is part of the international consortium of MicroQC.

Some of the work on MicroQC also takes place in the LNQE clean room.

06.11.2018



Prof. Dr.-Ing. Holger Blume

Neues Mitglied aus der Informationstechnik

Professor Blume entwirft hochintegrierte mikroelektronische Schaltungen

Prof. Dr.-Ing. Holger Blume leitet das Fachgebiet Architekturen und Systeme im Institut für Mikroelektronische Systeme der Leibniz Universität Hannover.

Seine wesentlichen Forschungsinteressen liegen auf dem Gebiet der Algorithmen und heterogenen Architekturen zur digitalen Signalverarbeitung, der Entwurfsraum-

New Member from the Information Technology

Professor Blume designs highly integrated microelectronic circuits

Prof. Dr.-Ing. Holger Blume heads the Architectures and Systems Group at the Institute for Microelectronic Systems at Leibniz University Hannover.

His present research includes algorithms and heterogeneous architectures for digital signal processing, design space exploration for such architectures as well as research on the corresponding modeling tech-

Exploration für diese Architekturen sowie den dazu erforderlichen Modellierungstechniken. Wesentliche Anwendungsgebiete für diese Signalverarbeitungsaufgaben sind die Medizintechnik, die Fahrerassistenzsysteme sowie die Multimedia-Signalverarbeitung. Zur Realisierung dieser Anwendungen werden am Institut regelmäßig echtzeitfähige Rapid Prototyping Systeme eingesetzt.

Das war „die Nacht, die Wissen schafft“ 2018 im LNQE

Laborführungen zeigten Nanopartikel, Quantenzustände und Reinraumtechnologien

Am Samstag, den 10. November 2018 war wieder die „Nacht, die Wissen schafft“ an der Leibniz Universität Hannover. Unter dem Motto „Kleinste Dinge – Menschen gemacht!“ zeigte das LNQE ständig eine Laborführung mit drei Stationen:

- Nanopartikel: Die AG Bigall (Chemie) gab Einblicke an die Welt der Nanomaterialien und zeigte fluoreszierende Nanopartikel.
- Quantenzustände: Die AG Ospelkaus (Physik) zeigte einen komplexen Aufbau zum Einfangen von Ionen für Grundlagenexperimente der Quantenoptik.
- Reinraum: Das LNQE stellt die Reinraumtechnik im Forschungsbau vor und präsentierte insbesondere ein Projekt zur neuartigen Entwicklung von Solarzellen mit Ionenimplantation (Elektrotechnik).

niques. Main application fields for such architectures are medical electronics, driver assistance systems and multimedia signal processing. For the realization of such applications regularly real time capable rapid prototyping systems are applied at the institute.

That was “the Night that Creates Knowledge” 2018 in the LNQE

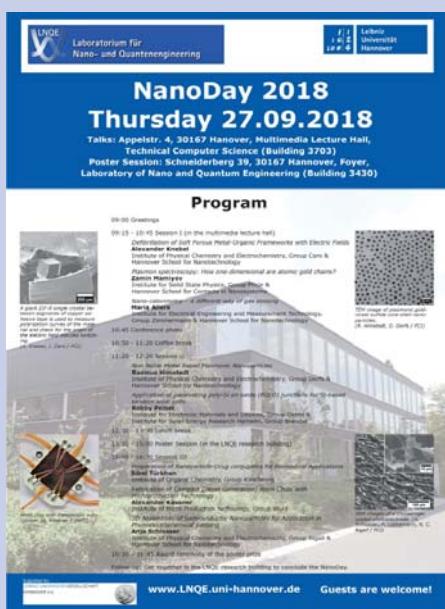
Laboratory tours showed nanoparticles, quantum states and clean room technologies

On Saturday, November 10, 2018, the “Night that Creates Knowledge” was once again held at Leibniz University Hannover. Under the motto “Smallest things - man-made” the LNQE showed an hourly laboratory tour with three stations:

- *Nanoparticles: The AG Bigall (chemistry) gave insights into the world of nanomaterials and showed fluorescent nanoparticles.*
- *Quantum states: AG Ospelkaus (physics) showed a complex structure for capturing ions for basic experiments in quantum optics.*
- *Cleanroom: The LNQE presented cleanroom technology in research construction and in particular a project for the novel development of solar cells with ion implantation (electrical engineering).*

12.11.2018





NanoDay 2018

NanoDay 2018

Der vierzehnte NanoDay des LNQE in Hannover

Am Donnerstag, den 27. September 2018 fand der jährliche NanoDay des Laboratoriums für Nano- und Quantenengineering in Hannover statt. In acht Vorträgen und einer Postersitzung wurden die neusten Forschungsergebnisse aus den interdisziplinären Arbeitsgruppen auf dem Gebiet Nanotechnologie präsentiert. Die durch die Leibniz Universitätsgesellschaft e. V. geförderten Posterpreise gingen dieses Jahr an:

The fourteenth NanoDay of LNQE in Hannover

On Thursday 27th September 2018 the annual NanoDay of the Laboratory of Nano and Quantum Engineering took place in Hannover/Germany. In eight lectures and a poster session the latest research results from the interdisciplinary working groups in the field of nanotechnology were presented. The Poster prizes funded by Leibniz Universitätsgesellschaft e. V. were awarded this year to:

A Novel Calix[4]arene-based MOF for highly selective NO₂ Detection

Marcel Schulz¹, Adrian Gehl², Jakob Schlenkriech¹, Hendrik A. Schulze¹, Stefan Zimmermann², Andreas Schaate¹

1 Institut für Anorganische Chemie

2 Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik

Inkjet Printing: Deposition of Nanoparticles and Three-dimensional Nanoparticle Based Gel Structures

F. Lübkemann, J. F. Miethe, R. Anselmann, P. Rusch, T. Kodanek, T. Heinemeier, D. Natke, D. Zok, D. Dorfs, N. C. Bigall

Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie, Leibniz Universität Hannover

Evonik Resource Efficiency GmbH, D-45772 Marl

Conductive Nanorods generated by Cu exchange on contacted CdS/CdSe-Rods

B. Brechtken¹, F. Lübkemann², D. Dorfs², N. Bigall², R. J. Haug¹

1 Institut für Festkörperphysik,

2 Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie

Herzlichen Glückwunsch und vielen Dank an alle Vortragenden und Teilnehmer des NanoDay 2018!

Congratulations and thank you to all lecturers and participants of the NanoDay 2018!

Vorträge des NanoDay 2018 / Talks of the NanoDay 2018:

Defibrillation of Soft Porous Metal-Organic Frameworks with Electric Fields

Alexander Knebel

Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Group Caro & Hannover School for Nanotechnology

Plasmon spectroscopy: How one-dimensional are atomic gold chains?

Zamin Mamiyev

Institute for Solid State Physics, Group Pfür & Hannover School for Contacts in Nanosystems

Nano-calorimetry – a different way of gas sensing

Maria Allers

Institute for Electrical Engineering and Measurement Technology, Group Zimmermann & Hannover School for Nanotechnology

Non Noble Metal Based Plasmonic Nanoparticles

Rasmus Himstedt

Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Group Dorfs & Hannover School for Nanotechnology

Application of passivating poly-Si on oxide (POLO) junctions for Si-based tandem solar cells

Robby Peibst

Institute for Electronic Materials and Devices, Group Osten & Institute for Solar Energy Research Hamelin, Group Brendel

Preparation of Nanoparticle-Drug conjugates for Biomedical Applications

Sibel Türkhan

Institute of Organic Chemistry, Group Kirschning

Fabrication of Compact (/Next Generation) Atom Chips with Microproduction Technology

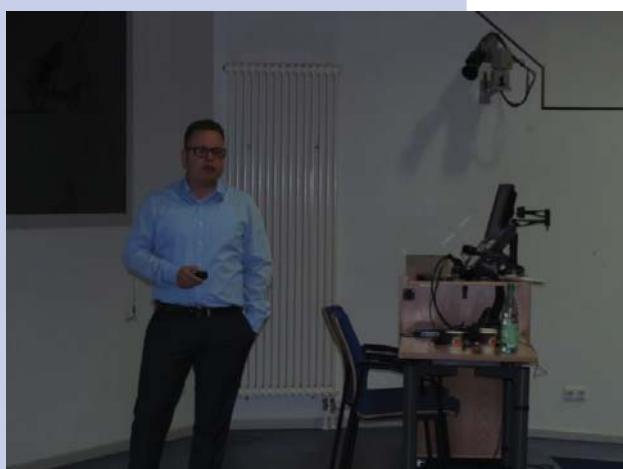
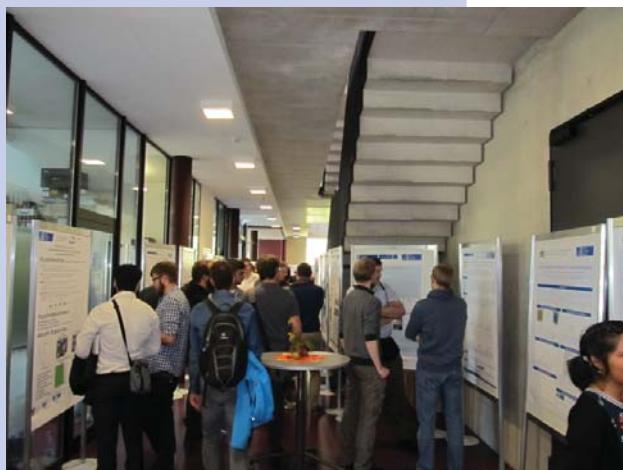
Alexander Kassner

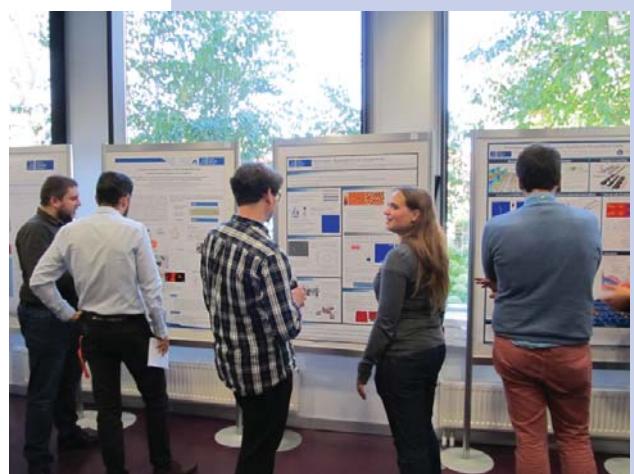
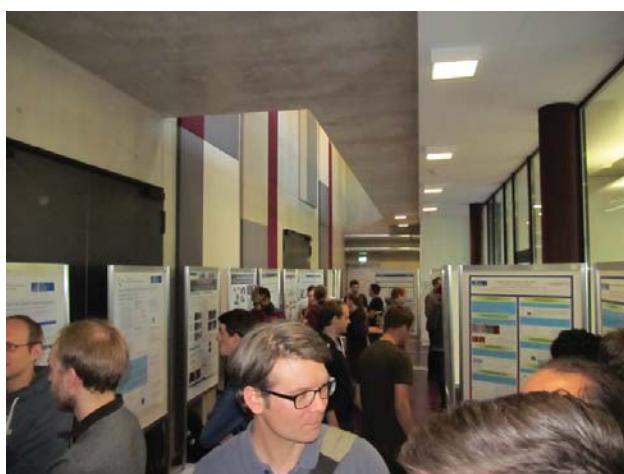
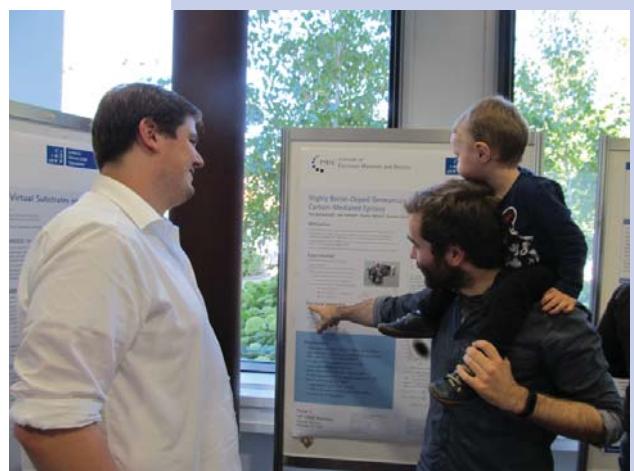
Institute of Micro Production Technology, Group Wurz

3D Assemblies of Semiconductor Nanoparticles for Application in Photoelectrochemical Sensing

Anja Schlosser

Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Group Bigall & Hannover School for Nanotechnology





Forschungsbau Research Building



Zur Verwirklichung seiner Ziele betreibt das LNQE ein eigenes Forschungsgebäude in Hannover. Die Labore (435 m²), der Forschungsreinraum (409 m²) und die Büroräume (509 m²) für ca. 50 Personen werden für interdisziplinäre Projekte, insbesondere aus erfolgreich eingeworbenen, größeren Drittmittelprojekten der Mitglieder genutzt.

Der Forschungsbau wurde vom Land Niedersachsen und mit Bundesmitteln nach einer Empfehlung durch den Wissenschaftsrat (nach Art. 91b Grundgesetz) in besonderer Weise gefördert und ist nach zweijähriger Bauzeit am 20. November 2009 fertig gestellt worden.

Durch das Gebäude werden hochwertige Infrastruktur und Technologien zur Verfügung gestellt, die den einzelnen Arbeitsgruppen in Ihren Instituten nicht zur Verfügung stehen. Die offene Bauweise verstärkt nach dem Konzept „Sehen und Begegnen“ den täglichen Kontakt der Wissenschaftler aus den unterschiedlichen Fächern. Dadurch wird es möglich, komplexe Problemstellungen zu lösen, die Kompetenzen aller Fachrichtungen bei allen Teilschritten der

To achieve its objectives LNQE operates its own research building in Hanover. The laboratories (435 m²), research clean room (409 m²) and offices (509 m²) for about 50 persons are used for interdisciplinary projects, particularly from successfully acquired third-party funded large projects of the members.

The new research building was funded by Lower Saxony and with federal funds after a recommendation by the German Wissenschaftsrat (under Article 91b Basic Law) in a special way, and is completed after two years of construction on 20th November 2009.

By the building, high quality infrastructure and technologies are made available to the various working groups that are in their institutes are not available. The open design of the building enhances by the concept of “see and meet” the daily contact between scientists from different disciplines. This makes it possible to solve complex problems that require the skills of all disciplines at all stages of the problem simultaneously. This differs markedly from the usual sequential work-sharing in joint projects and



LNQE-Team



LNQE-Forschungsbau, Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Deutschland

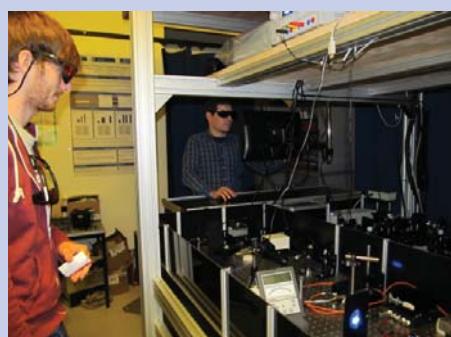
LNQE research building, Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Germany

Problemlösung gleichzeitig benötigen. Dies unterscheidet sich deutlich von der sonst üblichen sequenziellen Arbeitsaufteilung in Verbundprojekten und ist somit national, wenn nicht sogar international, vorbildlich und beispielhaft. Durch die Beteiligung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften werden hierbei sowohl die Grundlagen, als auch mögliche neuartige Anwendungen von Anfang an gleichwertig in der Forschung berücksichtigt.

Zentraler Bestandteil des Forschungsbaus ist der Reinraum. Er ist nach ISO5 / RK 100 im Handlungsbereich und ISO6 / RK1000 in den Fluren zertifiziert. Die Hauptfläche des Reinraums ist in mehrere Unterräume unterteilt, in denen sich eine komplette Linie für die Mikroelektronik befindet, d. h. es können ausgehend von einem Wafer komplett alle Prozessschritte ausgeführt werden, um neuartige Bauelemente als Prototypen herzustellen. Durch die Aufteilung in zwei Lithografiebereiche ist sowohl die Bearbeitung von Element- als auch von Verbindungs- halbleiter möglich (wobei die Linie hauptsächlich für Silizium ausgelegt ist). Hinzu kommen einige Messräume für Experimente unter Reinraumbedingungen.

is nationally, if not even internationally, model and best-practice example. By participation of scientists and engineers both the fundamentals as well as possible new applications are considered equivalent in research from the beginning.

A central part of the research building is the clean room. It is certified to ISO5 / RK 100 in the handling area and ISO6 / RK1000 in the floors. The main area of the clean room is divided into several subspaces with an entire line for microelectronics, ie starting from a wafer all process steps can be performed to create novel devices as prototypes. By dividing the lithography into two areas, it is possible to process both element and compound semiconductors (where the line is designed primarily for silicon). There are also some measuring rooms for experiments under clean room conditions.



Zahlen und Fakten

Räume / Hauptnutzflächen

- Labore (435 Quadratmeter): Laserlabore, Chemiclabore, Messlabore
- Forschungsreinraum (409 Quadratmeter)
- Büroräume für 44 Personen (509 Quadratmeter)

Personen

- Betreiberteam
- 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Chemie, Elektrotechnik, Maschinenbau und Physik

Baukosten

- 14 Mio. Euro

Förderung

- Der Forschungsbau wird nach einer erfolgreichen Evaluierung durch den Wissenschaftsrat (nach Artikel 91b Abs. 1 Nr. 3 des Grundgesetzes) durch den Bund gefördert

Bauzeit

- ca. 24 Monate
- Die feierliche Schlüsselübergabe war am 20. November 2009

Numbers and Facts

Rooms / main usable area

- Labs (435 square meters): laser laboratories, chemical laboratories, test laboratories
- Research clean room (409 square meters)
- Office space for 44 people (509 square meters)

People

- Operator team
- 50 scientist from the fields of chemistry, electrical engineering, mechanical engineering and physics

Construction costs

- 14 Mio. euro

Funding

- The new construction is funded with federal funds after a recommendation by the German Wissenschaftsrat (under Article 91b para 1 nr. 3 of the Basic Law of Germany ("Grundgesetz"))

Construction time

- about 24 month
- The handover was at 20th November 2009

Technologie im Forschungsbau

Technology in the Research Building

Reinraum allgemein

Der Reinraum ist nach ISO5 / Reinraumklasse 100 im Handlingbereich und ISO6 / Reinraumklasse 1000 in den Fluren zertifiziert. Die gemessenen Werte sind besser, es wird Reinraumklasse 10 im Handlingbereich und sonst Reinraumklasse 100 erreicht.

Allgemein: Temperatur: 22 °C +- 2, Luftfeuchtigkeit 40...60 %



Fotolithografie Elementhalbleiter (Silizium/Germanium)

Hier: Temperatur: 22 °C +- 1, Luftfeuchtigkeit 40 +- 5 %

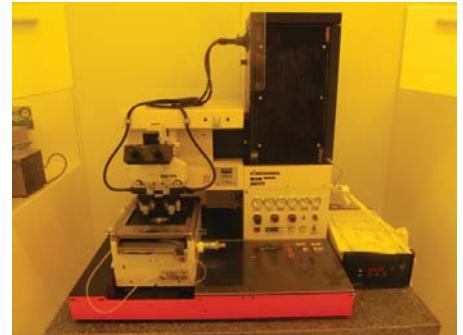
- UV Kontakt- und Proximity-Belichter für runde Wafer (Silizium und Germanium) bis 100 mm Durchmesser. Maskengröße 150*150 mm² quadratisch, minimale Linienbreite 900 nm (SÜSS MA 150)
- UV Handbelichter für Bruchstücke und kleine Wafer
- Lackschleuder mit Heizplatte für runde Wafer bis 200 mm Durchmesser. Ausheizen bis 200°C (SÜSS DELTA 80/8)
- Trockenofen zur Bedampfung von Haftvermittlern
- Nassbänke für die Entwicklung und die Lackentfernung im Ultraschall
- Kühlschränke für Lackchemie



Fotolithografie Verbindungshalbleiter

Hier: Temperatur: 22 °C +- 1, Luftfeuchtigkeit 40 +- 5 %

- UV Kontakt- und Proximity-Belichter für runde Wafer (Verbindungshalbleiter) bis 100 mm Durchmesser. Maskengröße 150*150 mm² quadratisch, minimale Linienbreite 700 nm (SÜSS MA6)
- Lackschleuder mit Heizplatte für runde Wafer bis 100 mm Durchmesser. Ausheizen bis 200°C
- Nassbänke für die Entwicklung und die Lackentfernung



Elektronenstrahlolithografie

- Jeol JSM-5900 REM
- E-Beam schreiben mit Raith Elphy plus

**Nassbänke**

Nassbänke für die nasschemische Strukturierung und Reinigung von runden Wafern bis 200 mm Durchmesser (auch Solar)

- Piranha- und RCA-Reinigung (SC1, SC2, HF-Dip)
- Quick-Dump-Rinser
- Spin-Rinser-Dryer
- Nasschemische Ätzprozesse allgemein

**Lichtmikroskope****Spektrales Ellipsometer**

Spektrales Ellipsometer für runde Wafer bis 200 mm Durchmesser (auch Solar), 250-800 nm Wellenlänge, Stage für automatisiertes Mapping der Oberfläche (SENTECH SE 800)

**Konfokalmikroskop**

Konfokalmikroskop mit Mirau Interferometer, bis 1500-fache Vergrößerung, Höhenauflösung bis 1 nm (LEICA DCM 3D)





Plasma Asher

Plasma-Asher für runde Wafer bis 100 mm Durchmesser, zur Beseitigung von Fotolackresten im O₂-Plasma (TEPLA 100)



Schnellheizöfen

Schnellheizöfen bei Normalsdruck, für runde Wafer bis 150 mm Durchmesser, auch Solar, Temperung bis 1100°C unter Ar, O₂, N₂ oder N₂H₂. (AST SHS 2000 und Eigenbau)



Polyimid-Ofen

Bis 100 mm Durchmesser, Temperiern unter Ar, N₂ oder im Feinvakuum, bis 950°C, rezeptgesteuert.



Reaktives Ionenätzen (RIE)

Reaktives Ionenätzen für runde Wafer bis 100 mm Durchmesser, ätzen unter Ar, O₂, SF₆ und CHF₃ (ALCATEL RIE)

Plasma-CVD

Plasma-CVD für runde Wafer bis 100 mm Durchmesser, Herstellung von Oxiden, Nitriden, Poly und Germanium, Substrattemperatur bis 400°C (OXFORD PLASMALAB 90)



Kathodenerstäubungsanlage

Kathodenerstäubungsanlage für runde Wafer bis 200 mm Durchmesser, Gleich- und Wechselspannung, Co-Sputtern von zwei Targets möglich, Plasmäzten, Magnetron-Anlage (LEYBOLD Z590)



Aufdampfanlage

Aufdampfanlage für Runde Wafer bis 100 mm Durchmesser, 4-fach Tiegel und Einzeltiegel, Co-Verdampfen (BALZERS BAK 610)



Wafer-Probe Station

Wafer-Probe Station für runde Wafer bis 200 mm Durchmesser (auch Solar), -65°C bis +200°C Probentemperatur, digitales Kamerasystem, 4 Messnadeln (CASCADE SUMMIT 11000). Mit Impedance Analyzer (Agilent 4294A) und Semiconductor Parameter Analyzer (HP 4155).



Vierspitzenmessplatz

Vierspitzenmessplatz zur Messung des Schichtwiderstandes eines Wafers (max. 200 mm Durchmesser, alle Formen) nach dem Messprinzip der Vier-Spitzen-Messung. Es kann per Hand an ausgewählten Punkten auf dem Wafer, oder automatisiert nach einem festgelegten Muster und Abstand gemessen werden.





Vertikalofensystem

Vertikalofensystem Verticoo 200 von Centrotherm, Oxidationsrohr, vertikal, Oxidation trocken und feucht, Feuchtoxidation mit Steamer (Wasserdampf aus DI-Wasser) oder Hydrox-Brenner (Wasserdampf aus H₂ und O₂ verbrannt). Scheibengröße 150 und 200 mm, mit Adaptern auch 100 mm und „Stückchen“, Vollhandlingsystem, aber auch manuell bedienbar. Alle Oxidationsrohre haben einen DCE-Bubbler eingebaut.

Die Anlage ist im Rahmen einer Kooperation mit Firma Centrotherm im LNQE-Forschungsbau aufgestellt.



Horizontalofensystem Oxidation und LPCVD

Horizontalofensystem Centrotherm „Europa 2000“ mit LPCVD mit folgender Bestückung der Anlage:

- Oben: SiC-Rohr bis 1285 °C, Oxidation trocken und feucht, Feuchtoxidation mit Steamer (Wasserdampf aus DI-Wasser) oder Hydrox-Brenner (Wasserdampf aus H₂ und O₂ verbrannt).
- Darunter: Polysilizium-Rohr, dotiert und undotiert, amorph und polykristallin, n und p mittels Phosphin und Diboran sowie mit Sauerstoff dotiert als SIPOS.
- Darunter: Nitrid-Rohr, stöchiometrisch (Si₃N₄) und Si-reiches Nitrid mit niedrigen Verspannungen d.h. „low-stress-nitride“ herstellbar (kompressiver und tensiler Schichtstress).
- Darunter: LPCVD-TEOS-Rohr, Tieftemperatur-Oxide, momentan noch ohne Plasma-Unterstützung, Temperaturen ab 450°C.

Alle Rohre für 200 mm ausgelegt, Einsatzboote für rechteckige Solarwafer, runde 150 und 100 mm sowie 2“ und 3“ vorhanden. Alle Oxidationsrohre haben einen DCE-Bubbler eingebaut, um eine hochtemperatur-Reinigung mit Chlor zu ermöglichen. Damit erreicht man eine gute Metallionenfreiheit.

Die Anlage ist im Rahmen einer Kooperation mit Firma Centrotherm im LNQE-Forschungsbau aufgestellt.



Transmissionselektronenmikroskop (TEM)

Das neue TEM im LNQE hat eine Beschleunigungsspannung von 200 kV und als Elektronenemitter eine Feldeffektkathode. Wichtigste Parameter sind:

- Gerätetyp: TEM Tecnai G2 F20 TMP von Fa. FEI
- 200 kV Feldeffekt FEG
- Ölfreies Vakuum
- TEM point resolution: 0,27 nm
- Information limit: 0,14 nm (gemessen!)
- STEM resolution: 0,24 nm
- 1 Hellfeld- und 2 Dunkelfeld-Detektoren +1 HAADF-Detektor
- Tomografie +- 70°

Ionenimplantation

Ionenimplanter für runde Wafer bis 300 mm Durchmesser, auch Solar, As, P, B, 5-60 keV (VARIAN VIISta HC)



Ionendünnung zur TEM-Probenpräparation

Präzisions-Ionen-Polier-System PIPS von Fa. Gatan für kleine Beschusswinkel variabel zwischen 0° und $\pm 10^\circ$ zur einseitigen und doppelseitigen Ionenstrahldünnung mit:

- LowEnergy Penning-Ionenquellen 0,1 – 6,0 kV
- Dual Beam Modulation zur Sektoren-Querschnittspräparation Probenschleuse
- Probenhaltern für ein- und doppelseitige Dünnung
- Ölfreiem Vakuumsystem
- Zoom-TV-Kamerasytem (400x bis 2600x)
- Cold Stage



III-V Compact 21 MBE System

Ultrahochvakuum (10^{-11} Torr) Molekularstrahlepitaxie Anlage von RIBER zum Wachsen von hoch qualitativen Galliumarsenid basierten III-V Verbindungs-halbleiter Schichtsystemen.

Verfügbare Materialien: Ga, As, Al, In

Dotierstoff: Si (n-Typ)

Gerät vom Institut für Festkörperphysik, Abteilung Atomare und Molekulare Strukturen



Wellenlängemessgerät

Wavelength meter HF-ANGSTROM WS/U-2 von TOPTICA Photonics, 350-1120 nm, mit Multichannel Option und Laser Control Option.



4-Spitzen STM/SEM

Nanotechnologie-Großgerät 4-Spitzen STM/SEM von Fa. Omicron, das die Vorteile eines Rasterelektronenmikroskops (SEM) mit denen eines Rastertunnelmikroskops (STM) verknüpft und durch Aufsetzen der Spitzen auf Nanostrukturen elektrische 4-Punkt-Messungen im Ultrahochvakuum erlaubt

Gerät vom Institut für Festkörperphysik, Abteilung Atomare und Molekulare Strukturen





Erstsemesterbegrüßung der Nanotechnologen.

Welcome of the first semester nanotechnology students.

Studiengang Nanotechnologie Study Course Nanotechnology

Durch das LNQE initiiert, bietet die Leibniz Universität Hannover den interdisziplinären Bachelorstudien-gang Nanotechnologie an, seit dem Wintersemester 2011/2012 auch als Masterstudiengang. Der Studien-gang Nanotechnologie vermittelt die Grundlagen in den Kernfächern Chemie, Elektrotechnik, Maschinenbau und Physik (ergänzt durch Mathematik), wobei den Erfordernissen, die aus der Nanotechnologie erwachsen, im Besonderen Rechnung getragen wird.

Bachelorstudiengang Bachelor's degree

Struktur des Studienganges

Die Regelstudienzeit des Bachelorstudiengangs Nanotechnologie beträgt sechs Semester. Die Ausbildung setzt sich zum einem aus Vorlesungen und Übungen zusammen. Darin werden Grundlagen und vertiefende Kenntnisse aus verschiedenen Studienschwerpunkten gelehrt. Darüber hinaus werden Tutorien angeboten, die dem Erwerb von Schlüsselkompetenzen dienen. Zum anderen erfolgt die praktische Ausbildung durch Laborpraktika, durch insgesamt 12 Wochen berufspraktische Tätigkeiten und Fachexkursionen sowie der Bachelorarbeit als Abschlussarbeit. Insgesamt sind 180 Leistungspunkte (LP) zu erreichen.

Grundlagenstudium

Der Bachelorstudiengang gliedert sich ein Grundlagenstudium und in ein Vertiefungsstudium. In den ersten drei Semestern des Grundlagenstu-diums werden technische, mathe-matische und naturwissenschaftliche Kenntnisse vermittelt. Das Grundla-genstudium gliedert sich dabei in fol-gende Kompetenzfelder: Allgemein, Chemie, Elektrotechnik und Infor-matik, Maschinenbau, Mathematik, und Physik. Die Kurse der ersten drei Semester sind festgelegt.

Initiated by the LNQE, Leibniz Universität Hannover provides the interdisciplinary Bachelor study course nanotechnology and also as a master's degree since the winter semester 2011/2012. The study course nanotechnology teaches the basics in the core subjects of chemistry, electrical engineering, mechanical engineering and physics (supplemented by mathematics), while the realization, arising from nanotechnology, considered in particulaly.

Structure of the Study Course

The standard period of study of the bachelor program nanotechnology is six semesters. The training is comprised of lectures and exercises on the one hand. Basisc ideas and in-depth knowledge from different major fields od study are taught. In addition, tutoring is offered to the acquisition of key competencies. On the other hand, the practical training occurs by lab courses, by a total of 12 weeks of practical training activities and study tours, and a bachelor thesis as complementary work. A total of 180 credit points (CP) is to be achieved.

Basis Study

The bachelor's degree is divided into a basic study and a deeper study. In the first three semesters of study are studied the basis of technical, scientific and mathematical skills. The basic study is divided into the following knowledge: general, chemistry, electrical engineering and computer science, mechanical engineering, mathematics, and physics. The courses of the first three semesters are determined.

Grundlagenkurse / <i>Basic Courses</i>	104 LP/CP
Vorlesungen und Labore des Vertiefungsstudiums <i>Lectures and Lab Courses of the Deepening Study</i>	40 LP/CP
Schlüsselkompetenzen / <i>Key Competencies</i>	6 LP/CP
Fachpraktikum (12 Wochen) / <i>Internship (12 weeks)</i>	15 LP/CP
Bachelorarbeit (300 Stunden) / <i>Bachelor Thesis (300 hours)</i>	15 LP/CP
Summe / Sum:	180 LP/CP

Übersicht über zu erbringende Leistungen im Bachelorstudium. *Overview of achievements to be proved in the Bachelor's Degree*

Vertiefungsstudium

Im Vertiefungsstudium erfolgt eine fachliche Spezialisierung der erlernten Grundlagen in zwei von den Kompetenzfeldern Chemie, Elektrotechnik und Informatik, Maschinenbau und Physik, d. h. die Studierenden wählen sich zwei Kompetenzfelder nach ihren Wünschen aus und gestalten so ihren Stundenplan. Zusätzlich erfolgt eine weitere Spezialisierung durch die Belegung eines Wahl-Kompetenzfeldes aus dem Masterprogramm. Das Vertiefungsstudium beinhaltet darüber hinaus ein Praktikum, Fächerkursionen, die Studienarbeit und die Bachelorarbeit im 6. Semester.

Schlüsselkompetenzen

Das Modul Schlüsselkompetenzen besteht aus einem Seminar zur Nanotechnologie und einer Reihe von Vorlesungen, aus denen frei gewählt werden kann (z. B. Kurse für Schlüsselkompetenzen, Projektmanagement, Recht, Firmengründungskurse etc.).

Deepening Study

In the deepening study a specialization of the learned basics is carried out in two of the competence areas chemistry, electrical engineering and computer science, mechanical engineering and physics, that is the students choose two areas of expertise in accordance with their wishes, and create their timetable. In addition, a further specialization by the choice of a selectable area of expertise from the master program occurs. The deepening study also includes an internship, study tours, study thesis and the Bachelor thesis in the 6th Semester.

Key Competences

The module key competences consists of a seminar on nanotechnology and a series of lectures, from which can be chosen freely (eg courses for key skills, project management, law, company formation courses, etc.).

 Leibniz
Universität
Hannover

Kurs- und Modulkatalog Nanotechnologie.

Course and module catalog nano-technology.

Website zum Studiengang:
[https://www.lnqe.uni-hannover.de/
de/studiengang-nanotechnologie/](https://www.lnqe.uni-hannover.de/de/studiengang-nanotechnologie/)

[https://www.lnqe.uni-hannover.de/
en/study-course-nanotechnology/](https://www.lnqe.uni-hannover.de/en/study-course-nanotechnology/)

<p>Kompetenzfeld: Einführung in die Nanotechnologie (7 LP) <i>Area of Expertise: Introduction to Nanotechnology (7 CP)</i></p> <p>Einführung in die Nanotechnologie / <i>Introduction to Nanotechnology</i></p> <p>Seminar Nanotechnologie / <i>Seminar Nanotechnology</i></p>
<p>Kompetenzfeld: Chemie (16 LP) <i>Area of Expertise: Chemistry (16 CP)</i></p>
<p>Einführung in die Allgemeine und Anorganische Chemie / <i>Introduction to General and Inorganic Chemistry</i></p> <p>Physikalische Chemie I / <i>Physical Chemistry I</i></p>
<p>Kompetenzfeld: Elektrotechnik und Informatik (18 LP) <i>Area of Expertise: Electrical Engineering and Computer Science(18 CP)</i></p>
<p>Grundlagen der Elektrotechnik I / <i>Fundamentals of Electrical Engineering I</i></p> <p>Grundlagen der Elektrotechnik II / <i>Fundamentals of Electrical Engineering II</i></p> <p>Grundlagenlabor Elektrotechnik / <i>Basic Lab Course Electrical Engineering</i></p>
<p>Kompetenzfeld: Maschinenbau (15 LP) <i>Area of Expertise: Mechanical Engineering (15 CP)</i></p>
<p>Mikro- und Nanotechnologie / <i>Micro and Nano Technology</i></p> <p>Technische Mechanik I für Maschinenbau / <i>Applied Mechanics I for Mechanical Engineering</i></p> <p>Technische Mechanik II für Maschinenbau / <i>Applied Mechanics II for Mechanical Engineering</i></p>
<p>Kompetenzfeld: Mathematik (22 LP) <i>Area of Expertise: Mathematics (22 CP)</i></p>
<p>Mathematik für Ingenieure I / <i>Mathematics for Engineers I</i></p> <p>Mathematik für Ingenieure II / <i>Mathematics for Engineers II</i></p> <p>Numerische Mathematik / <i>Numerical Mathematics</i></p>
<p>Kompetenzfeld: Physik (26 LP) <i>Competence Area: Physics (26 CP)</i></p>
<p>Physik I – Mechanik und Relativität / <i>Physics I - Mechanics and Relativity</i></p> <p>Physik II - Elektrizität / <i>Physics II - Electricity</i></p> <p>Physik III - Optik, Atomphysik, Quantenphänomene / <i>Physics III - Optics, Atom Physics, Quantum Phenomena</i></p> <p>Grundpraktikum Physik / <i>Basic Lab Course Physics</i></p>

Kurse im Grundlagenstudium / Courses of the Basic Study

Fachpraktikum

Ein berufsbezogenes Fachpraktikum bildet einen wesentlichen Bestandteil des Studiums. Das 12 wöchige Fachpraktikum dient dem Erwerb von Erfahrungen in typischen Aufgabenfeldern und Tätigkeitsbereichen von Absolventen und Absolventinnen in der beruflichen Praxis. Die Studierenden sollen Erfahrungen in der Anwendung ihrer im Studium erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten sammeln. Das Fachpraktikum ist daher durch die Eingliederung der Praktikanten und Praktikantinnen in ein Arbeitsumfeld von Ingenieuren oder entsprechend qualifizierten Personen mit überwiegend entwickelndem, planendem oder lenkendem Tätigkeitscharakter gekennzeichnet. Detaillierte Informationen zum Praktikum liefert die Praktikantenordnung.

Internship

An occupational internship is an essential part of the course. The 12 week co-op program serves the acquisition of experience in typical job fields and fields of activity of graduates in professional practice. The students will get experience in the application of their studies in the acquired knowledge and skills. The practical training is therefore characterized by the integration of the trainees in a work environment for engineers or suitably qualified persons with predominantly evolving, planning or leadership character. Detailed information about the internship is given in the intership regulations.

<p style="text-align: center;">Kompetenzfeld: Chemie (20 LP) <i>Area of Expertise: Chemistry (20 CP)</i></p>
Instrumentelle Methoden I / <i>Instrumental Methods I</i>
Anorganische Chemie I / <i>Inorganic Chemistry I</i>
Anorganische Chemie II / <i>Inorganic Chemistry II</i>
Technische Chemie I / <i>Technical Chemistry I</i>
<p style="text-align: center;">Kompetenzfeld: Elektrotechnik und Informatik (20 LP) <i>Area of Expertise: Electrical Engineering and Computer Science (20 CP)</i></p>
Regelungstechnik I + Informationstechnisches Praktikum / <i>Automatic Control Technique I + Practical Course on Information Technology</i>
Grundlagen der Halbleiterbauelemente + Halbleiterschaltungstechnik / <i>Basics of Semiconductor Devices + Semiconductor Circuit Technology</i>
Sensorik und Nanosensoren / <i>Sensor Technology and Nanosensors</i>
<p style="text-align: center;">Kompetenzfeld: Maschinenbau (20 LP) <i>Area of Expertise: Mechanical Engineering (20 CP)</i></p>
Regelungstechnik I / <i>Automatic Control Technique I</i>
Mikro- und Nanosysteme / <i>Micro and Nano Systems</i>
Werkstoffkunde I + II + Praktikum / <i>Material Science I + II + Practical Course</i>
<p style="text-align: center;">Kompetenzfeld: Physik (20 LP) <i>Area of Expertise: Physics (20 CP)</i></p>
Einführung in die Festkörperphysik / <i>Introduction to Solid State Physics</i>
Elektronik + Praktikum Elektronik / <i>Electronics + Practical Course on Electronics</i>
Quantenmechanik für Nanotechnologen / <i>Quantum Mechanics for Nanotechnologists</i>
<p style="text-align: center;">Schlüsselkompetenzen (6 LP) <i>Key Competences (6 CP)</i></p>
Wählbare Kurse zu Schlüsselkompetenzen / <i>Selectable Courses in Key Competences</i>

Kurse im Vertiefungsstudium / *Courses of the Deepening Study*

Bachelorarbeit

Den Abschluss des Studiums bildet die Bachelorarbeit mit einer Gesamtdauer von drei Monaten. Die Bachelorarbeit soll zeigen, dass der Prüfling in der Lage ist, innerhalb einer vorgegebenen Frist ein Problem selbstständig nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. Die Art der Aufgabe und die Aufgabenstellung müssen mit der Ausgabe des Themas festliegen. Die Bachelorarbeit muss von zwei Prüfern bewertet werden. Sie kann in der Form einer Gruppenarbeit angefertigt werden. Der als Prüfungsleistung zu bewertende Beitrag des einzelnen Prüflings muss aufgrund der Angabe von Abschnitten, Seitenzahlen oder anderer objektiver Kriterien deutlich abgrenzbar und für sich zu bewerten sein. Nähere Informationen zur Bachelorarbeit sind der Prüfungsordnung zum Studiengang „Nanotechnologie“ zu entnehmen.

Bachelor Thesis

The completion of the course is the bachelor thesis, with a total duration of three months. The bachelor thesis is to show that the student is in a position to solve a problem alone within a specified time according to scientific methods. The type of the task and the task must be determined with the issue of the topic. The bachelor thesis must be evaluated by two reviewers. It may be made in the form of a working group. The performance audit assessed contribution of each candidate must be a result of the indication of the sections, page numbers or other objective criteria clearly identifiable and are to be valued. Further information on the bachelor thesis can be taken from the examination rules of the study course „nanotechnology“.

Masterstudiengang Master's degree



Der Studiengang Nanotechnologie hat eine sehr engagierte Studierendenschaft. Es finden regelmäßig treffen des Fachrates im LNQE-Forschungsbau statt.

The degree program nanotechnology has a very dedicated student body. It holds regular meeting of student council in LNQE research building.

Der akkreditierte Masterstudiengang Nanotechnologie ist als Weiterführung des Bachelorstudiengangs Nanotechnologie konzipiert. Neben den Bachelorabsolventinnen und -absolventen der Nanotechnologie steht er aber auch den Studienrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik, Chemie und Physik offen. Die Regelstudiendauer beträgt vier Semester, wovon ein Semester auf die Masterarbeit entfällt. Insgesamt sind 120 Leistungspunkte (LP) zu erreichen.

The accredited master study course nanotechnology is designed as continuation of the bachelor course nanotechnology. In addition to the bachelor's graduates in nanotechnology, he is also open to the study of mechanical engineering, electrical engineering, chemistry and physics. The standard course duration is four semesters with one semester for the Master's thesis. A total of 120 credit points (CP) must be reached.

Grundlagenkurse

Die Grundlagenkurse des Pflicht-Kompetenzfeldes sind von allen Studierenden zu besuchen und vermitteln wichtige Kenntnisse aus den Methoden der Nanotechnologie.

Wahlkompetenzfelder

Neben den Grundlagenkursen sind von den Studierenden drei der angebotenen Wahlkompetenzfelder als Vertiefungsfächer zu wählen:

- Chemie
- Chemie der Nanowerkstoffe
- Lasertechnik/Photonik
- Materialphysik
- Mikro- und Nanoelektronik
- Mikroproduktionstechnik
- Biomedizintechnik

Wahlbereich

Im Wahlbereich können Veranstaltungen aus einer Liste von Fachkursen gewählt werden.

Basic Courses

The basic courses of the mandatory area of expertise have to be attended by all students and provide important skills on the methods of nanotechnology.

Selectable Areas of Expertise

Besides the foundation courses three of the competence areas of choice are to be chosen as majors by the students:

- Chemistry
- Chemistry of nanomaterials
- Laser technology/photonics
- Materials physics
- Micro and nanoelectronics
- Micro production technology
- Biomedical engineering

Courses of Choice

In elective courses from a list of professional courses can be selected.

Pflicht-Kompetenzfeld „Methoden der Nanotechnologie“ / <i>Mandatory Area of Expertise “Methods of Nanotechnology”</i>	12 LP/CP
3 Wahlkompetenzfelder / <i>3 Selectable Areas of Expertise</i>	36-46 LP/CP
Wahlbereich / <i>Courses of Choice</i>	14-24 LP/CP
3 Labore 360 Stunden / <i>3 Lab Courses 360 hours</i>	12 LP/CP
Studium Generale / <i>General Studies</i>	6 LP/CP
Masterarbeit 6 Monate / <i>Master Thesis 6 month</i>	30 LP/CP
Summe / <i>Sum:</i>	120 LP/CP

Übersicht über zu erbringende Leistungen im Masterstudium.

Overview of achievements to be proved in the master's degree

Labore

Im Rahmen des Studiums müssen die Studierenden drei verschiedene Labore absolvieren. Als Labore sind ein Halbleitertechnologie-Labor, ein Laborpraktikum Festkörperphysik sowie ein Mikrotechnik-Labor vorgesehen.

Lab courses

As part of the study course, students must complete three different lab courses. A semiconductor technology lab course, a solid-state physics lab course and a microtechnology lab course are provided.

Studium Generale

Für das Studium Generale besteht die Wahlfreiheit aus dem gesamten Angebot der Universität.

General Studies

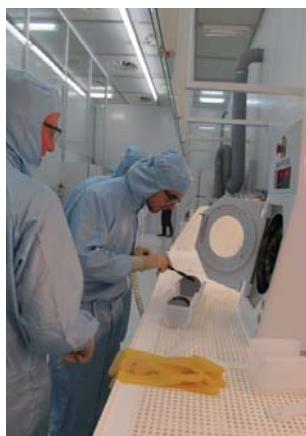
For General Studies there is freedom of choice from the full range of the university.

Masterarbeit

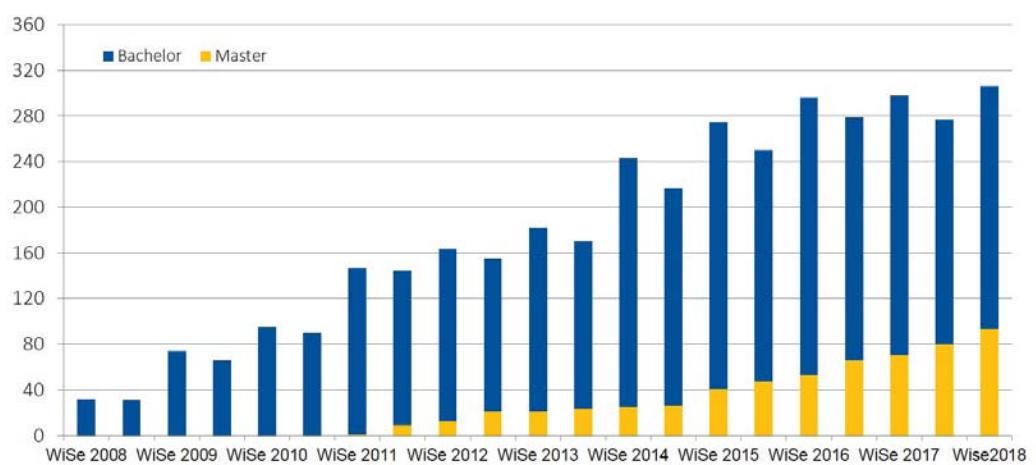
Den Abschluss des Studiums bildet die Masterarbeit mit einer Gesamt-dauer von sechs Monaten.

Master Thesis

The completion of the study course is the Master's thesis with a total duration of six months.



Halbleiter-Labor im Nanotechnologie-Studium. Im Reinraum werden in Kleingruppen von 3-4 Personen MOS-Strukturen und pn-Dioden hergestellt und später charakterisiert. / *Semiconductor lab cours in the nanotechnology study course. In the clean room MOS structures and p-n diodes are fabricated and characterized later in small groups of 3-4 people.*



Gesamtzahl der Studierenden der Nanotechnologie an der Leibniz Universität Hannover im Bachelor (Blau) und Master (Orange). / *Total number of students in nanotechnology at the Leibniz Universität Hannover in the Bachelor (Blue) and Master (Orange).*

Promotionsprogramm / PhD-Program “Hannover School for Nanotechnology”



Continental Unternehmensbesuch
19.04.2018 (Foto: A. Cetin)

*Continental Company Visit
19.04.2018 (Photo by A. Cetin)*

Die Hannover School for Nanotechnology (hsn) ist ein koordiniertes Doktorandenprogramm des Laboratoriums für Nano- und Quantenengineering der Leibniz Universität Hannover gemeinsam mit der Hochschule Hannover, gefördert als niedersächsisches Promotionsprogramm durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur. In das Programm eingebunden sind die Disziplinen Physik, Chemie, Elektrotechnik und Maschinenbau. Koordinator des Programms ist das LNQE-Vorstandsmitglied Professor Dr. Rolf Haug. Das Ziel des Promotionsprogramms ist die interdisziplinäre Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf dem hochaktuellen Gebiet der Nanotechnologie. Die hsn hat es sich zum Ziel gesetzt, hervorragende Ausbildung in exzellenten Forschungsprojekten zu bieten und in möglichst kürzer Zeit ohne Qualitätsverlust zur Promotion zu führen.

Die Nanotechnologie ist eine sehr interdisziplinäre Wissenschaft, sie verlangt Kenntnisse in Chemie, Physik, Elektrotechnik und Maschinenbau. Die Hannover School for Nanotechnology führt die interdisziplinäre Ausbildung der Bachelor- und Masterstudiengänge „Nanotechnologie“ der Leibniz Universität Hannover konsequent auf die Doktorandenebene fort.

The Hannover School for Nanotechnology (hsn), is a coordinated PhD-programme of the Laboratory of Nano and Quantum Engineering from Leibniz Universität Hannover together with Hochschule Hannover funded within the Lower Saxony PhD-programme. Involved in the programme are the disciplines of physics, chemistry, electrical engineering, and mechanical engineering. Coordinator of the program is the LNQE board member Professor Dr. Rolf Haug. The aim of the doctoral program is the interdisciplinary training of young scientists on the highly topical field of nanotechnology. The hsn has set itself the goal of providing outstanding education in excellent research projects with the shortest possible time to doctorate without quality loss.

Nanotechnology is a very interdisciplinary science; it requires knowledge of chemistry, physics, electrical engineering and mechanical engineering. The Hanover School for Nanotechnology leads the interdisciplinary training of bachelor and master programs “Nanotechnology” at the Leibniz Universität Hannover consistently to doctorate level. Apart from the actual thesis topic the scholarship holders a customized curriculum is offered. This includes nanotechnology courses, seminars, colloquia, courses to promote personal skills, and in particular, special events that teach the responsible use of nanotechnology. A particular focus of hsn is beyond the promotion of young female scientists. For the best scholars offers the hsn after an evaluation a fast-track option, with the promotion starts with a scholarship during the master time. It is then acquired the master’s degree and then completed after two years with a PhD.

Masterzeit	Promotion										
	1	2	3	4	5	6					
4. Semester											
Master's thesis 6 month. The contents of the thesis can be used as preparation for the dissertation.	Promotion agreement with work plan and timetable	Lecture: Sensor Technology and Nanosensors 2 hours	Lecture: Quantum Devices 2 hours	Lecture: Nanotechnology 2 hours	Focus on publishing	Writing of the PhD dissertation and disputation					
		Professional Skills (2 x 2day workshops per semester)									
		Status meeting once per semester									
Mentoring by the future supervisor of the PhD thesis	Ph.D. students seminar 1 hours 14-day										
	LNQE-Colloquium + annual workshop „Nanoday“										
	Scientific work at the doctorate										
	Funding with a scholarship for 3 years										
	Funding with a scholarship in fast-track for 3 years										

Curriculum mit der Semesterübersicht des Promotionsprogramms hsn.

Curriculum with the semester overview of the doctoral program hsn.

Neben dem eigentlichen Promotionsthema wird den Stipendiatinnen und Stipendiaten ein maßgeschneidertes Lehrangebot geboten. Dies beinhaltet Nanotechnologie-Kurse, Seminare, Kolloquien, Kurse zur Förderung von persönlichen Fähigkeiten, und insbesondere spezielle Veranstaltungen, die einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanotechnologie lehren. Ein besonderer Schwerpunkt von hsn ist darüber hinaus die Förderung von jungen Wissenschaftlerinnen. Für die besten Stipendiatinnen und Stipendiaten bietet die hsn nach einer Evaluation eine Fast-Track Option an, mit der die Förderung mit einem Stipendium bereits während der Masterzeit beginnt. Es wird dann der Masterabschluss erworben und nach zwei Jahren dann mit Promotion abgeschlossen.

Sektion Sensors (2016-2020):

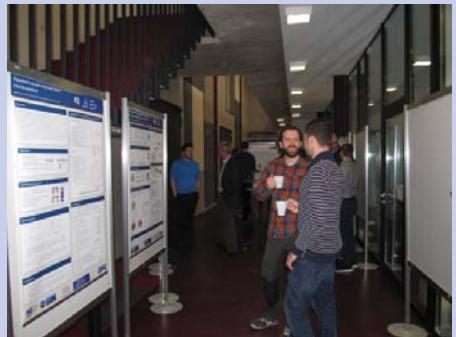
Die Nanotechnologie spielt auf dem Gebiet der Sensorik eine immer größere Rolle. Sensoren mit nanoskaligen Oberflächen, Sensoren, die Informationen aus der nanoskopischen Welt in der makroskopischen Welt übertragen und Sensoren, die Nanoeffekte als Sensor-Prinzip verwenden, können zusammen als Nanosensoren definiert werden. Nanosensoren basieren oft auf unterschiedlichen Messprinzipien als herkömmliche Sensoren, die spannende Möglichkeiten für Forschung und Entwicklung eröffnen.

Für hsn-sensors wurden zwölf Georg-Christoph-Lichtenberg-Stipendien sowie die dazu benötigten Sach- und Reisekosten bewilligt. Die gesamte Fördersumme beträgt 802.800,- Euro für den Zeitraum vom 01.10.2016 bis 30.09.2020. Es gab 300 Bewerbungen aus 50 verschiedenen Ländern auf die Stipendien von hsn-sensors. Wie bereits beim Vorgänger hsn-energy sind im Programm zusätzlichen Doktorandinnen und Doktoranden aus den beteiligten Arbeitsgruppen aufgenommen.

Section Sensors (2016-2020):

Nanotechnology is playing an ever greater role in the field of sensor technology. Sensors with nanoscale surfaces, sensors that transfer information from the nanoscopic world in the macroscopic world and sensors that use nanoeffects as sensor principle, can be collectively defined as nanosensors. Nanosensors are often based on different measurement principles than conventional sensors, which open up exciting possibilities for research and development.

For hsn-sensors, twelve Georg-Christoph-Lichtenberg fellowships and the necessary material and travel expenses were granted. The total funding amounts to 802.800 euros for the period from 01.10.2016 to 30.09.2020. There were 300 applications from 50 different countries on the scholarships of hsn-sensors. As with the predecessor hsn-energy, the program has include additional doctoral students from the participating research groups.



Bei halbjährlichen Statustreffen stellen die Doktorandinnen und Doktoranden den Fortschritt ihrer wissenschaftlichen Arbeiten vor.

In semi-annual status meetings the doctoral students present the progress of their scientific work.

PhD-Projects of hsn-sensors



Annas Bin Ali

I Graphene-based sensors: towards applications with carbon nanofibers

Supervisor: R. Sindelar, R. Renz, C. Tegenkamp

Researcher: A. B. Ali

Graphene's unique properties, i.e. the extraordinary carrier mobility and capacitance, high electron transfer rate, exceptionally large surface-to-volume ratio in addition to its mechanical robustness and flexibility, makes it an attractive candidate for future sensor applications. The successful implementation of a graphene-based sensor technology requires a host material, which is low-priced in manufacture and sustainable fabricated from an almost inexhaustible source. Carbon nanofibers (CNFs), fabricated by electrospinning and subsequent processing, contain graphene as building-blocks and fulfill all of these requirements as recently demonstrated by us. This proposal is part of a joint project between solid state physics, inorganic chemistry and mechanical engineering.

This project addresses the reliable fabrication of mechanically robust, highly conductive graphene-like templates realized by carbon nanofibers and elucidates the potential for sensor applications. In detail, the process window for the fiber fabrication, i.e. temperature for pyrolysis, electrospinning parameters, solvents, etc., will be systematically explored, also in respect of technological and economic aspects. Moreover, the CNFs will be functionalized by means of surface chemistry and comprehensively characterized by UV-VIS, IR, DMS, Raman as well as electric transport measurements (from the nm to mm scale bridging 6 orders of magnitude) in order to demonstrate the reliable transfer of laboratory-scale recipes for prospective applications for gas-sensors. The basic process is patent pending and the group is open for more and more detailed patents. Further on this sub-project offers a lot of boundaries to industry, up-scaling and even economic aspects.

This project is closely entangled with the projects of Prof. Renz and Prof. Tegenkamp. The functionalization of our CNFs with various adsorbates and relevant molecules is intended by the groups from the physical and chemical departments by molecular beam epitaxy of various elements (Au, Pb) and further wet-chemical functionalization with relevant molecules, e.g. biotin. Thereby, different bonding schemes (dipole, covalent, dispersive) are implemented and the sensing properties are analyzed in our lab and together with the colleagues.



Maria Allers

Mercury vapor sensor

Supervisor: S. Zimmermann

Researcher: M. Allers

The aim of this project is to develop a miniaturized mercury sensor to monitor the mercury concentration in air. Mercury forms amalgam in connection with gold. This effect can be used to determine the presence and concentration of mercury, since the formation of amalgam influences various physical parameters.

Nanoscale magnetic field sensor beyond the Standard Quantum Limit

Supervisor: C. Klemp, W. Ertmer

Researcher: F. Anders

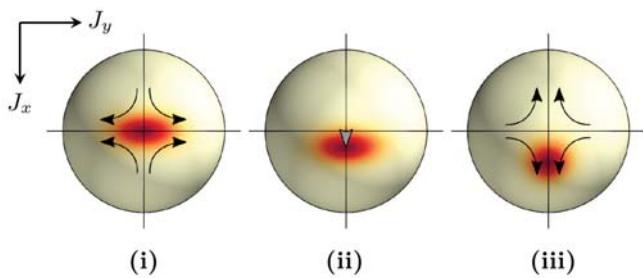
Atomic sensors allow for the precise measurement of many relevant quantities, including frequency (time), acceleration, rotation, and magnetic fields. For such measurements, the atoms are usually prepared in a superposition of two different states, in our case spin states. The quantity of interest, such as the magnetic field strength, is mapped onto a population imbalance by an interferometric protocol.

For conventional interferometric protocols and classical atomic states, the precision of such a measurement is fundamentally limited by the Standard Quantum Limit (SQL). Employing entangled atoms and novel measurement protocols, the SQL can be surpassed, allowing for entanglement-enhanced precision ultimately reaching the Heisenberg Limit in the ideal case [1, 2].

The actual enhancement due to the entanglement is however restricted by technical noise, most crucially by the detection noise (that is the ability to count the final number of atoms in the two spin states). Within this project, we already developed a novel interferometric protocol that mitigates the influence of imperfections in the detection [3]. We will also implement a better detection apparatus to finally count the atoms with single-particle resolution, allowing us to detect a large variety of entangled states.

In addition to great precision, the application as a magnetic sensor calls for a fine spatial resolution. Starting with an optically trapped atom cloud with a spread of a few micrometers, the resolution can be reduced by employing different spatially distributed states [4] or novel trap shapes.

The ambition of this project is to demonstrate the resolution of magnetic field structures below a micrometer, pushing towards the nanometer scale, measured with an outstanding precision beyond the SQL.



Schematic visualization of the developed detection-noise robust interferometric scheme on the generalized Bloch sphere. (i) An entangled state is prepared, here leading to a state represented by an ellipse (prone to detection-noise). (ii) The interferometric protocol shifts the state. (iii) Inverse dynamics to (i) amplifies the shift (signal) and leaves us with a classical state to detect (robust to detection-noise). The protocol retains the signal-to-noise ratio and thereby the entanglement-enhanced precision.



Fabian Anders

[1] B. Lücke, M. Scherer, J. Kruse, L. Pezzé, F. Deuretzbacher, P. Hyllus, O. Topic, J. Peise, W. Ertmer, J. Arlt, L. Santos, A. Smerzi, C. Klemp, Twin matter waves for interferometry beyond the classical limit, *Science* 334, 773 (2011).

[2] B. Lücke, J. Peise, G. Vitagliano, J. Arlt, L. Santos, G. Tóth, C. Klemp, Detecting multiparticle entanglement of Dicke states, *Phys. Rev. Lett.* 112, 155304 (2014).

[3] F. Anders, L. Pezzè, A. Smerzi, C. Klemp, Phase magnification by two-axis counter-twisting for detection noise robust interferometry, arXiv:1711.02658.

[4] K. Lange, J. Peise, B. Lücke, I. Kruse, G. Vitagliano, I. Apellaniz, M. Kleinmann, G. Toth, C. Klemp, Entanglement between two spatially separated atomic modes, arXiv:1708.02480.



Johannes Aprojanz

Functionalisation of Graphene Nanostructures

Supervisor: C. Tegenkamp

Researcher: J. Aprojanz

Patterning of graphene into narrow stripes leads to exciting alterations of the extraordinary band structure of graphene. For instance, the electronic confinement in these so called graphene nanoribbons (GNR) gives rise to topologically protected edge states depending on the edge orientation and the crystal quality.

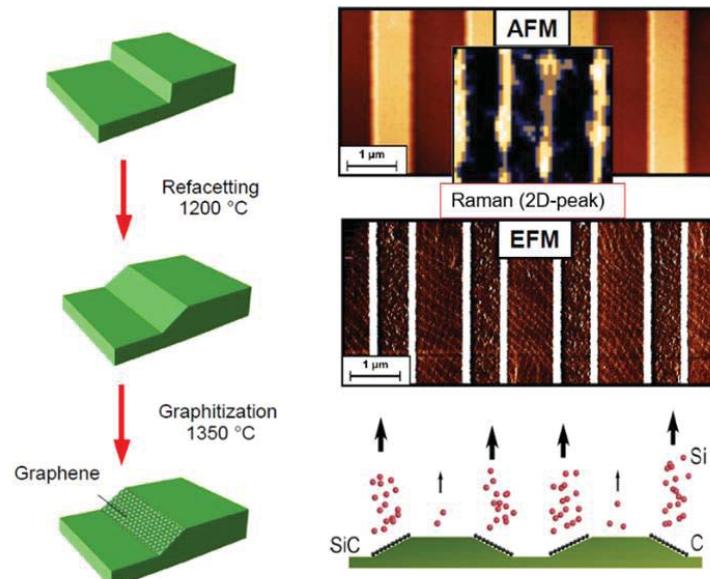
GNR are epitaxially grown on nanofacets of SiC mesa structures to avoid any damages of post-processing. The local transport properties as well as the electronic structure of as-grown GNR are studied by means of a 4-tip STM, which allows to perform transport measurements with probe spacings smaller than 100 nm.

We have shown that the nanoribbons produced with that method exhibit an extraordinary quality resulting in exceptional transport properties. Moreover, our results indicate a fully spin-polarized single channel ballistic transport behavior. Finally, the major objective of my studies is to explore the origin of this unique transport channel as well as the functionalization of GNR by adsorption of magnetic and non-magnetic impurities.

[1] Jens Baringhaus, Mikkel Settnes, Johannes Aprojanz, Stephen R. Power, Antti-Pekka Jauho, and Christoph Tegenkamp: Electron Interference in Ballistic Graphene Nanoconstrictions, Phys. Rev. Lett. 116, 186602 (2016)

[2] J. Baringhaus, J. Aprojanz, J. Wiegand, D. Laube, M. Halbauer, J. Hübner, M. Oestreich and C. Tegenkamp: Growth and characterization of sidewall graphene nanoribbons, Appl. Phys. Lett. 106, 043109 (2015)

[3] Jens Baringhaus, Ming Ruan, Frederik Edler, Antonio Tejeda, Muriel Sicot, Amina Taleb-Ibrahimi, An-Ping Li, Zhigang Jiang, Edward H. Conrad, Claire Berger, Christoph Tegenkamp, Walt A. de Heer: Exceptional ballistic transport in epitaxial graphene nanoribbons , Nature, 506, 349 (2014)



Schematic of the processing steps and a overview of different methods used to characterize epitaxially grown sidewall GNR.

Transport through quantum dot systems

Supervisor: R. Haug

Researcher: J. Bayer

Quantum dots are artificial systems in which charge carriers are spatially confined to the order of their Fermi wavelength. Due to this confinement quantum dots exhibit a discrete energetic spectrum. Coulomb repulsion and Pauli exclusion hereby prevent the energetic states to be occupied by more than one charge carrier at a time.

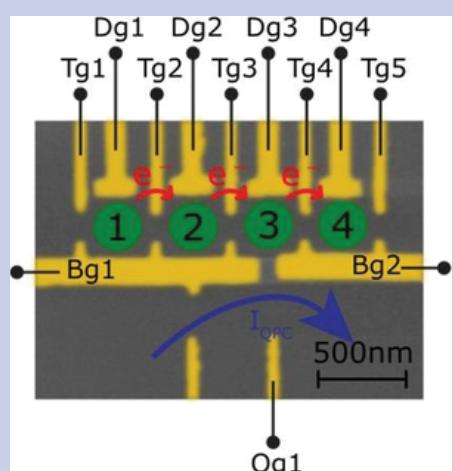
The focus of this project lies on the investigation of quantum dot arrays based on two-dimensional electron gases (2DEGs) which are formed in GaAs/Al-GaAs heterostructures. Metallic Schottky gates are fabricated on the surface of the heterostructure via electron beam lithography and by applying negative potentials to these gates, the 2DEG below can be depleted to define the quantum dots. In the same way a quantum point contact (QPC) is defined in the vicinity of the quantum dots and acts as a highly sensitive charge detector.

This QPC charge sensor allows the real-time tracking of electrons moving through or inside a quantum dot system and opens up opportunities like implementing a feedback protocol to suppress the shot noise in a single electron transistor device [1].

[1] T. Wagner; P. Strasberg; J. C. Bayer; E. P. Rugeramigabo; T. Brandes; R. J. Haug, Strong suppression of shot noise in a feedback-controlled single-electron transistor, *Nature Nanotechnology* DOI:10.1038/nnano.2016.225 (2016).



Johannes Bayer



False color SEM image of a quadruple quantum dot device. The quantum dots are depicted as green circles. Red arrows indicate the possibility to move electrons through the array. This movement can be tracked by the QPC charge sensor, depicted by the blue arrow.

Ultrasensitive Current Sensor with Quantum Dots

Supervisor: R. Haug, N. Bigall

Researcher: B. Brechtken

Quantum dots, quasi zero dimensional systems, can be produced via lithographic procedures or via chemical processes. If quantum dots are connected to electrical leads by tunnelling barriers single electron tunnelling can be observed. Such devices are called single-electron transistors. Since few years it is possible to detect the tunnelling of the individual electrons at low temperatures in a time-resolved fashion with a nearby quantum point contact. In this way the electrons can be counted and the electrical current flowing through the quantum dot is measured. This technique allows for detection of smallest currents. Measurements of few attoamperes are routinely achieved. In decreasing the size of the quantum dots room temperature operation of these ultrasensitive current sensors is possible.

Within this project such sensors will be produced and studied in detail. A decrease of the size of the quantum dots can be achieved via lithographic procedures but also in using chemical methods. In this way the sensors will be developed further to allow for room temperature operation. Different material systems, as e.g. graphene, but also e.g. CdSe/CdS systems will be used. The applicability of these sensors in different environments will be tested.



Benedikt Brechtken



Vui Nghi Dang

Sensoric Functionalisation of (Bio-)Polymers (BioFunc)

Supervisor: H.-J. Endres, F. Renz

Researcher: V. N. Dang

This research project BioFunc has been set up to functionalise polymers and biopolymers by taking new, nanoscale and chemical approaches in order to gain sensoric properties. The BioFunc is achieved by covalent or non-covalent linkage of stimuli-responsive sensoric compounds to the biopolymers. The aim of BioFunc is to establish a scientific basis for innovative medical or materials engineering applications.

In the medical sector, for example, the objective of BioFunc is to functionalise polymers with biosensors that are able to monitor healing processes (e.g., bandages that detect inflammatory conditions in babies or animals) or indicate diseases (e.g., cancer detection) at an early stage. Another objective is to release and/or absorb bio-effective substances in a locally controlled manner by functionalising bioresorbable or biocompatible polymers accordingly.

In other technological areas, for example, the focus of BioFunc lies on polymers with increased thermal conductivity for heat transfer (functional textiles, automobile heaters, etc.), or increased electrical conductivity for signal transmission (sports sector, sensors and control elements, adaptronics, medicine, etc.). Another functional capacity would be the detection of mechanical stress in engineering components, for example to indicate manufacturing flaws, fiber breakages, material fatigue, or delamination in fiber composite components. Additional fields of application might be to develop forgery-proof materials (product protection of plastic components, certificates and diplomas, etc.), to develop materials for selectively permeable membranes, or to develop polymers that are degradable even under marine conditions, e.g., for cosmetic uses.



Bastian Dreyer

Graphene-based sensors: Application of sensory and actorial graphene structures in medical engineering

Supervisor: R. Sindelar, F. Renz

Researcher: B. Dreyer

The unique properties of graphene, e.g. the high charge mobility and electron transfer rate, the exceptionally high surface-to-volume ratio and the mechanical stability make it an attractive candidate for future sensor applications. For the successful introduction of the graphene based on sensor technology, a carrier material is needed which is inexpensive and sustainable in production and which has a secure raw material basis. The nanoscale dimensions of the fibers to be investigated suggest application to the cell plane. While presently electrical stimulation devices, e.g. Cochlear implants, electrodes of at least one square millimeter, and thus stimulate entire nerve strands over a large area, can create a stimulus on cell plane and even below, e.g. at a synapse. Together with the functionalization of the fibers, e.g. through switchable metal complexes, a variety of sensory and stimulatory properties can be thought of in a single nanoscale fiber. The project is closely linked to the working groups of Professor Renz and Professor Tegenkamp. While the fibers are produced on the HsH, the functionalization is carried out in chemistry. This is to be investigated in cooperation with the physics. If promising sensors or actuators are produced, these can be tested in the neurology of the MHH.

Hollow and Concave Colloidal Plasmonic Nanoparticles as Size and Shape Selective Sensors on the Nanometerscale

Supervisor: D. Dorfs, D. Bahnemann

Researcher: R. Himstedt

In the framework of this project, colloid chemically synthesized plasmonic nanoparticles shall be investigated with respect to their potential as size and shape selective sensors on the nanometerscale in liquid phase. For this purpose a variety of different plasmonic nanoparticles will be synthesized. Already this pure synthesis part of the project will go beyond the state of the art in nanoparticle synthesis. Apart from "normal" plasmonic particles from noble metals also plasmonic particles from highly doped (degenerately doped) semiconductor or oxide materials with localized surface plasmon resonances tunable in the near infrared part of the spectrum shall be synthesized and shall be compared with the classic metallic nanoparticles with respect to their sensory properties.[1]

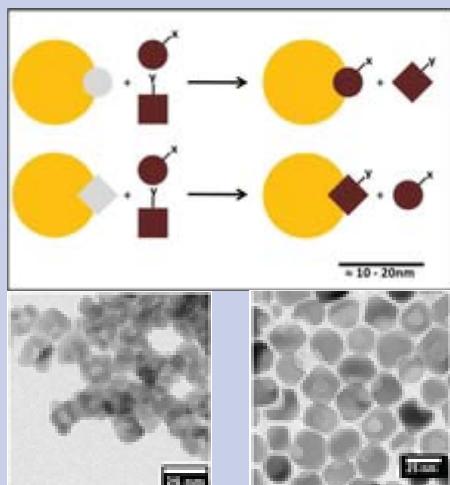
The plasmonic particles can detect an analyte either via changes of the dielectric constant of the surrounding or via other, specific interactions with the analyte. With respect to the latter point, especially plasmonic particles with concave or cylindrical voids at the particle surface shall be synthesized, which can show size and shape selective interactions with different analytes [2] (see also scheme for e.g. key lock like interactions) which finally can easily be detected by a change of the resonance frequency of the localized surface plasmon resonance of these particles.

[1] (a) Dorfs, D. et al. J. Am. Chem. Soc. 2011, 133, 11175 (b) Wolf, A.; Kordanek, T.; Dorfs, D.; Nanoscale 2015, 7, 19519.

[2] George, C.; Dorfs, D. et al. J. Am. Chem. Soc., 2011, 133, 2205.



Rasmus Himstedt



*Scheme 1: left: principle of nanoparticle key lock recognition
right: examples of partially concave particles already synthesized in the group of D. Dorfs*

Setup of a quantum-enhanced atomic sensor for precision metrology and tests of fundamental physics

Supervisor: C. Klempert

Researcher: A. Idel

Many-particle entangled states are not only a valuable resource for quantum information tasks and entanglement-enhanced metrology, but can also be applied as probes to test fundamental properties of nature. Across the communities of optics and atomic and molecular physics, major advances have been made towards the creation of entangled states with increasing entanglement strength and fidelity. However, in the field of ultracold atoms, the created nonclassical states are up to now mostly restricted to the two classes of squeezed states and W states. Within this project, we will employ spin-changing collisions in a Rb Bose-Einstein condensate to experimentally generate new classes of highly nonclassical many-particle states, including high-fidelity multi-particle Fock states, particle-added and particle-subtracted states, and Schrödinger cat states. We will demonstrate multi-mode entanglement and non-local entanglement by devising entangled quantum states with spatial separation. We will explore possible application scenarios for using these highly sensitive states for precision metrology with atom interferometers.



Alexander Idel



Alexander Knebel

Electrical and Optical Switching of Gas Transport through Surface MOF Layers

Supervisor: J. Caro

Researcher: A. Knebel

Metal-organic frameworks (MOFs) and surface anchored MOFs (SURMOFs) are a class of crystalline materials consisting of inorganic metal nodes interconnected by organic linker molecules. These materials demonstrate exceptionally high surface areas and adsorption abilities, optimally fitted for gas separation and purification applications. They find use in membrane technology, for example as neat MOF membranes or mixed matrix membranes (MMMs) [1]. Through their standing as organic-inorganic hybrid materials, MOFs were recently found to be smart materials, when, for example, adding stimuli responsive moieties into the framework. Demonstration of tailor-made functionality in a remote-controllable membrane with light switchable azobenzene (AZB) in the backbone of MOF crystals was recently published [2]. However, MOFs stay behind their potential gas separation potential for the same reason: flexibility within these hybrid frameworks prevents molecular sieving. They are called "soft porous crystals" [3] due to thermally induced lattice flexibility, called breathing, that is particularly conducted through shear-deformations, soft-modes and linker rotations, depending on the type of MOF [4]. The primary aim of the PhD work is to exploit this framework flexibility with external stimuli in membrane layers and MMMs. The main project is the utilization of static and alternating electric fields [5] as well as the irradiation with light of specific wavelength [6]. The production of switchable smart membranes for separation and purification purpose is important to surpass today's standards in membrane technology.

[1] A. Knebel, S. Friebe, N.C. Bigall, M. Benzaqui, C. Serre, J. Caro, Comparative Study of MIL-96(Al) as Continuous Metal-Organic Frameworks Layer and Mixed-Matrix Membrane, *ACS appl. mater. interfaces* 8 (2016) 7536–7544.

[2] A. Knebel, Z. Wang, S. Grosjean, D. Wagner, S. Bräse, C. Wöll, J. Caro, L. Heinke, Tunable Molecular Separation by Nanoporous Membranes, *Nat. Commun.* (2016), 7, 13872.

[3] S. Horike, S. Shimomura, S. Kitagawa, Soft porous crystals, *Nat. Chem.* 1 (2009) 695–704.

[4] M.R. Ryder, B. Civalleri, T.D. Bennett, S. Henke, S. Rudic, G. Cinque, F. Fernandez-Alonso, J.-C. Tan, Identifying the role of terahertz vibrations in metal-organic frameworks: from gate-opening phenomenon to shear-driven structural destabilization, *Phys. Rev. Lett.* (2014), 1132, 15502.

[5] A. Knebel, B. Geppert, K. Volgmann, J. Twiefel, P. Heijmans, J. Caro, Defibrillation of soft porous metal-organic frameworks with electric fields, *Science* (2017), 358, 347-351

[6] A. Knebel, L. Sundermann, A. Mohmeyer, S. Friebe, P. Behrens, J. Caro, Azobenzene Guest Molecules as Light-Switchable CO₂ Valves in an Ultrathin UiO-67 Membrane, *Chem. Mater.* (2017), 29, 3111-3117

Acknowledgement: This work is funded by and part of the DFG priority programm "Coordination Networks: Building Blocks for Functional Systems" (COORNets) SPP 1928.

Sensoric Functionalisation of (Bio-)Polymers (BioFunc)

Supervisor: H.-J. Endres

Researcher: J. Lecinski

This research project BioFunc has been set up to functionalise polymers and biopolymers by taking new, nanoscale and chemical approaches in order to gain sensoric properties. The BioFunc is achieved by covalent or non-covalent linkage of stimuli-responsive sensoric compounds to the biopolymers. The aim of BioFunc is to establish a scientific basis for innovative medical or materials engineering applications. The focus of BioFunc lies on polymers with increased thermal conductivity for heat transfer (functional textiles, automobile heaters, etc.), or increased electrical conductivity for signal transmission (sports sector, sensors and control elements, adaptronics, medicine, etc.). Another functional capacity would be the detection of mechanical stress in engineering components, for example to indicate manufacturing flaws, fiber breakages, material fatigue, or delamination in fiber composite components.



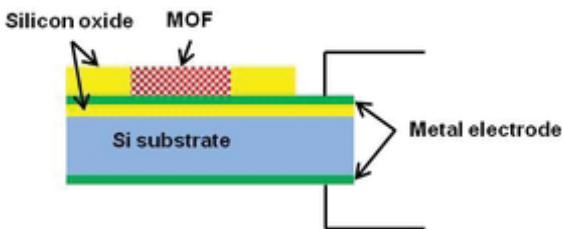
Jacek Lecinski

Electronic Devices for Gas Sensing based on Metal-Organic Frameworks (MOF)

Supervisor: J. Osten, J. Caro

Researcher: L. Montañez

MOFs represent a new class of soft porous materials. The permanent porosity after solvent removal allows the reversible adsorption of guest molecules for sensing. The adsorption of gases can be tuned via the interaction with the open metal sites or with polar, basic or acid groups of the linkers. Gas loading of these MOFs causes variations in electronically relevant properties like work functions or dielectric behavior.



Liz Margarita
Montañez Huamán

Fig: schematically drawing of a MOS capacitor with MOF above the top electrode.

This project focusses on possible applications of such effects in simple electronic devices. Suitable devices (MOS capacitors or transistors) have to be designed and fabricated. Then, selected MOFs have to be crystallized as thin layers in preformed windows on these devices. Finally, the impact of different gas adsorptions on device properties (work function change -> changes in threshold voltage; change in dielectric properties -> capacity variation) will be evaluated.



Dennis Müller

Synthesis and Characterization of Nanocrystal-based Gel Materials for Electrocatalysis

Supervisor: N. Bigall

Researcher: D. Müller

In this project, various nanocrystal-based gel materials are to be produced with a view to improved electrocatalytic activity. In addition to pure (noble) metal nanoparticles, metal oxides or various heteroparticles are to be used as building blocks. In contrast to the conventional wet chemical procedure, a cryogelation process is to be used here. Following the preparation, a basic, structural and electrochemical characterization of the cryogel materials is to be carried out in order to gain a knowledge about the influence of different parameters on the electrocatalytic activity of these substances. With regard to a technical application, our aim is to enhance the electrocatalytic activity and the long-term stability.



Dominik Natke

Graphene based sensors: functionalization by molecular switches

Supervisor: F. Renz, R. Sindelar, C. Tegenkamp

Researcher: D. Natke

Graphene's unique properties, i.e. the extraordinary carrier mobility and capacitance, high electron transfer rate, exceptionally large surface-to-volume ratio in addition to its mechanical robustness and flexibility, makes it an attractive candidate for future sensor applications. The successful implementation of a graphene-based sensor technology requires a host material, which is low-priced in manufacture and sustainably fabricated from an almost inexhaustible source. Carbon nanofibres (CNFs), fabricated by electrospinning and subsequent processing and containing graphene as building-blocks, fulfil all of these requirements as recently demonstrated by us. Secondly, the tunability and tailoring of the sensor's selectivity is the most crucial step. In this project the functionalization of graphene and CNFs with modulating compounds and molecular switches is intended. The interdisciplinary collaboration with partners from physics and mechanical engineering has the potential to establish a new field of nanosensor research.

In detail, the project is devoted to the exploration of functionalized graphene in order to modulate the sensoric effects. The functionalized graphene is achieved via defects (substitutional, interstitial, intercalated), coordination (of metals, clusters, complex compounds), covalent bonding (of auxiliary electron donating or withdrawing groups in order to control the inductive and mesomeric effects), such as multi-stable complexes. The multi-stable molecular switches are stimuli-responsive with changing properties, such as in size or magnetism. These results will be extended to CNFs.

This project is closely entangled with the projects of Prof. Tegenkamp and Prof. Sindelar. Atomically well-defined pre-decorated graphene structures are transferred for further wet-chemical functionalization with relevant molecules, e.g. biotin as a linker, coupled via different bonding schemes (dipole, covalent, dispersive). After the ex-situ characterization in our labs the samples are re-installed for in-situ nanoscopic transport experiments (Prof. Tegenkamp; 4-tip STM/SEM system), in order to correlate the impact of selective bonding regimes with modifications of an electrical signal. In analogy, these recipes will be applied to CNFs (Prof. Sindelar) and the sensoric behaviour will be probed via transport measurements ranging from nanoscopic to macroscopic distances, including ambient conditions.

Synthesis and Analysis of Switchable Multinuclear Iron Coordination Compounds

Supervisor: F. Renz

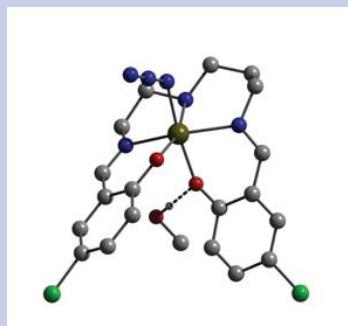
Researcher: A. Preiss

The aim of this project is the design, development, and investigation of switchable nanoscopic coordination compounds for sensor applications. The compounds exhibit concerted and sequential electronic molecular switching upon thermal or electro-magnetical excitation.

A milestone is the synthetical modification of the switchable mono- and multinuclear compounds. The modification is based on electronical or sterical substitutions in the organic framework as well as in the metal centers. The synthesized complexes are to be characterized by suitable spectroscopic methods (eg IR, UV/Vis, Raman spectroscopy, ESI-MS, NMR, XRD) and their switching behavior should be investigated (eg Mössbauer spectroscopy, SQUID magnetometry, temperature-dependent IR spectroscopy).



Annika Preiss



Malte Schäfer

Selective sensors based on porous coordination polymers

Supervisor: P. Behrens, S. Zimmermann

Researcher: M. Schäfer

Porous coordination polymers (PCPs) or metal-organic frameworks (MOFs) are a novel class of materials which are interesting for a variety of applications, including sorption and sensing. The possibility to design and synthesize special organic linkers should allow the development of highly specific sensor materials. However, the purely empirical search for sensor materials has so far not lead to applications due to the unsufficient specificity of the material for a selected analyte. Therefore, within this project a combined theoretical and practical approach is employed. By computer simulations on the force field level, PCPs with a specific disposition of interacting groups on their pore walls, which serve to recognize a certain analyte (e.g. ethanolamine), are generated and evaluated with regard to the specificity of the recognition on the basis of the calculated binding energies. Then, such PCPs shall be synthesized in the laboratory and tested with regard to their actual sorption properties.

Novel Nanocrystal Assembly Concepts for Quantum Dot Based Photo-electrochemical Sensors

Supervisor: N. Bigall, A. Kirschning

Researcher: A. Schlosser

Colloidal nanoparticles have the advantage that with one single synthetic step a huge amount of nanoparticles can be prepared with subnanometer precision and an extremely far-developed size-, material-, and shape-control. For building photoelectrochemical sensors in order to detect a large variety of different molecules dissolved in aqueous solutions (such as pollutants or biomedical molecules), the nanoparticles must be deposited on electrodes without losing their nanoscopic properties (mainly quantum confinement). The geometry (architecture) of the nanoparticle arrangement will play an important role for the quality and sensitivity of the resulting sensor.

In this project, tailored colloidal nanocrystals will be first synthesized by wet-chemical routes. Subsequently, assembly concepts will be developed in order to build superstructures of the nanoparticle building blocks which partly still exhibit nanoscopic properties. Assemblies of porous, dense-packed, regular and non-regular arrangements will be developed. The resulting novel systems will be characterized by means of electron microscopy, optical spectroscopy and electrochemical techniques.



Anja Schlosser

Photoelectrochemical sensors of these materials will be built. Here, a comparison between the different assembly architectures will yield information about the optimum arrangement. We expect that by optimizing the arrangement architecture and choosing highly advanced colloidal nanocrystals, we will be able to build sensors with high photocurrents and sensitivities as well as a huge analyte detection range and long-term stability.



Marcel Schulz

Calix[4]arene-based Metal-organic Frameworks as Sensor Materials

Supervisor: P. Behrens

Researcher: M. Schulz

Metal-organic frameworks (MOFs) are class of hybrid materials with interesting properties for applications like sorption or sensing. The functionality and size of the pores can be controlled by variation of the linker molecules. In combination with calix[4]arene-based linker molecules which show intrinsic porosity, gas molecules can be adsorbed more effectively. Furthermore highly selective sensor materials can be formed due to the high adsorption affinity of calix[4]arenes to nitrogen oxides and nitro aromatic compounds (NACs) like TNT or nitrobenzene. In this project the synthesis of MOFs with various functionalised calix[4]arene derivatives is investigated to create porous frameworks for sorption and especially for sensing applications for these compounds. Another application could be a drug and release system for the nerve stimulating NO molecules.



Ina Strauß

Metal-Organic Frameworks (MOF) for gas sensing

Supervisor: J. Caro, N. Guschanski, T. Wietler

Researcher: I. Strauß

MOFs represent a new class of soft porous materials. The permanent porosity after solvent removal allows the reversible adsorption of guest molecules for sensing. The adsorption of gases can be tuned via the interaction with the open metal sites or with polar, basic or acid groups of the linkers. The selective adsorption of a guest alters the vibrational modes of the MOF as host in the IR region in a characteristic way since MOFs as "soft" materials show extended and easy to modify lattice vibrations. In this project, MOFs are used for detecting gases by IR spectroscopy. At the beginning, the interesting MOF structures are screened, the response of the MOFs upon gas adsorption will be detected by recording the IR spectra of the MOFs as powder by DRIFT. The change of the vibrational patterns upon gas adsorption will be also by Raman spectroscopy. Finally, selected MOFs will be prepared as layer on a fiber-optics using Evanescent Wave Spectroscopy. We are one of the internationally leading groups to crystallize these MOFs as thin layers on solid surfaces like on glass fiber-optics [1]. We have developed know how to hydrophobize MOFs thus making their structure stable against humid attack and to exclude water as disturbing component in sensing [2]. We have also long-year experience in IR of gases at solid surfaces [3] and on Raman spectroscopy [4].

[1] A. Huang ... J. Caro, Organosilica-functionalized zeolitic imidazolate framework ZIF-90 membrane with high gas-separation performance, *Angew. Chem. Int. Ed.* 51 (2012) 10551.

[2] X. Liu ... J. Caro, Improvement of hydrothermal stability of zeolitic imidazolate frameworks, *Chem. Commun.* 49 (2013) 9140-9142.

[3] J. Heidberg, N. Guschanskaja et al., High-resolution FT-IR spectroscopy of H₂ and D₂ adsorbed on NaCl, *Mikrochim. Acta* 14 (1997) 643-645.

[4] T. F. Wietler et al., Surfactant-mediated epitaxy of silicon germanium films on silicon (001) substrates, *Thin Solid Films* 557 (2014) 27.

Aktivitäten in 2018

Activities in 2018

hsn-sensors Status Meeting 3

PhD-program „Hannover School of Nanotechnology“

19.01.2018

LNQE-Afternoon

Vortragsveranstaltung mit vier Vorträgen

18.04.2018

LNQE-Mitgliederversammlung

Jährliche Mitgliederversammlung des LNQE

14.06.2018

hsn-sensors Status Meeting 4

PhD-program „Hannover School of Nanotechnology“

22.06.2018

SommerUNI 2018 im LNQE

Informationsveranstaltung und Führung

03.07.2018

Hochschulinformationstage: Studiengang Nanotechnologie

Informationsveranstaltung und Führung

12-13.09.2018

NanoDay2018

Vortragsveranstaltung mit acht Vorträgen und einer Postersitzung

27.09.2018

Begrüßungsveranstaltung Erstsemester Nanotechnologie

Feierliche Eröffnungsveranstaltung

15.10.2018

Niedersachsen-Technikum Nanotechnologie

Informationsveranstaltung und Führung

22.10.2018

„Die Nacht, die Wissen schafft“: Kleinste Dinge – menschenge-macht!

Informationsveranstaltung und Führung

10.11.2018

Wissenschaftliche Projekte / Scientific Projects

Eine Auswahl von Projekten aus den Arbeitsgruppen des LNQE.
A selection of projects from the research groups of LNQE.

Prozesstechnik und Modellierung der Synthese maßgeschneiderter ZrO_2 -Nanopartikel

P. Stolzenburg^a, A. Freytag^{b*}, N. C. Bigall^{b*}, G. Garnweitner^{a*}

a Institut für Partikeltechnik, Volkmaroder Str. 5, 38104 Braunschweig, Germany;

b Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie, Callinstr. 3A, 0167 Hannover, Germany

** Laboratorium für Nano- und Quantenengineering, Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Germany*

Nanostrukturiertes Zirconium(IV)-Oxid ist aufgrund seiner hohen chemischen und thermischen Stabilität, seiner geringen Toxizität und seiner vorteilhaften mechanischen Eigenschaften von großem Interesse für verschiedenste Anwendungen auf den Gebieten der technischen Keramik, für Katalysatoren oder Elektronikkomponenten. Jedoch ist seine Performance maßgeblich von den spezifischen Eigenschaften der zugrundeliegenden Nanopartikel abhängig. Insbesondere deren Partikelgröße und Kristallitgröße, Morphologie oder Phasenzusammensetzung sind von großer Bedeutung und müssen somit genau kontrolliert werden. Dies erlaubte bislang die Herstellung dieser Nanopartikel nur durch aufwendige Synthese im kleinen Maßstab. Um den stetig steigenden Bedarf dieses Hochleistungsmaterials zu decken, sind Prozesse wie die nichtwässrige Sol-Gel-Synthese nötig, welche die Produktion von hochkristallinen Nanomaterialien mit definierten Eigenschaften im technischen Maßstab erlauben. Ein großer Vorteil der nichtwässrigen Sol-Gel-Methode gegenüber anderen Verfahren sind die relativ milden Reaktionsbedingungen [1,2], welche durch eine geeignete Prozessführung eine gute Kontrolle der finalen Partikeleigenschaften ermöglichen. Trotzdem ist für die Realisierung dieses Verfahrens ein tiefgründiges Verständnis über die Wechselwirkungen zwischen Prozessparametern und den zur Partikelbildung führenden Mechanismen unabdingbar. Diese Studie konzentriert sich auf die grundlegenden Mechanismen zur Bildung und zum Wachstum von ZrO_2 -Nanopartikeln und zeigt, wie die chemischen Reaktionskinetiken finale Nanopartikeleigenschaften wie Größe, Morphologie oder Phasenzusammensetzung beeinflussen.

Dafür wurde die Synthese in mehreren speziell für dieses Projekt angefertigten gerührten Batch-Reaktorsystemen von 250 mL bis zu 1,5 L Volumen unter solvothermalen Bedingungen in einem Temperaturbereich von 200-270 °C durchgeführt (Abbildung 1). Die Reaktorsysteme erlaubten eine Probenent-

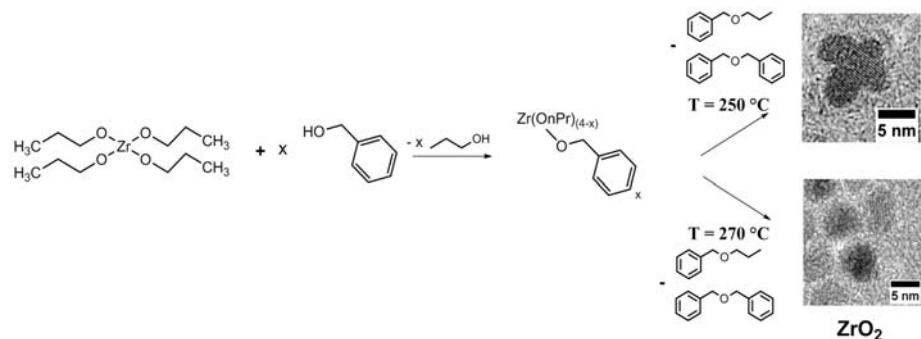


Abbildung 1 Reaktionsschema der nichtwässrigen Sol-Gel-Synthese von ZrO_2 -Nanopartikeln. Die TEM-Aufnahmen zeigen synthetisierte Nanopartikel verschiedener Größe und Morphologie, welche durch die Wahl der Synthesebedingungen gezielt hergestellt werden können.

nahme während des Syntheseprozesses bzw. die direkte Nachverfolgung der Partikelbildung durch Lasertransmissionsmessung. Mittels Röntgenbeugung, Röntgenkleinwinkelstreuung, Elektronenmikroskopie und Thermogravimetrie wurden die Nukleation, das Wachstum sowie die Phasenzusammensetzung der Nanopartikel untersucht. Die chemischen Reaktionskinetiken wurden anhand der Zirconiumionenkonzentration $[Zr]$ verfolgt, welche gravimetrisch bestimmt wurde.

Die kinetischen Untersuchungen haben ergeben, dass die zur Partikelbildung führende chemische Reaktion am besten durch eine Kinetik pseudonullter Ordnung beschrieben werden kann und der Reaktionsverlauf einem linearen Trend bis zu einem vollständigen Umsatz folgt. Zudem gelten die Gesetzmäßigkeiten nach Arrhenius, wodurch die Reaktionsgeschwindigkeit mit steigender Temperatur zunimmt. Die beobachteten Kinetiken können – trotz der wesentlich komplizierteren Bildungsmechanismen unter Beteiligung chemischer Reaktionen – mit der klassischen Nukleationstheorie beschrieben werden. Durch die Verfolgung des Partikelwachstums während der Synthese konnten wir feststellen, dass die Nanopartikel in einem Größenbereich von etwa 2 nm gebildet werden und fast ausschließlich tetragonal sind, danach jedoch auf 7 nm anwachsen und einen Phasenwechsel bis zu monoklinen Anteilen von 90 Gew.-% durchlaufen. Wir konnten beobachten, dass der Phasenwechsel von tetragonal zu monoklin durch einen charakteristischen Wechsel der Partikelmorphologie von kleinen runden zu stark dendritischen Strukturen (Abbildung 1) begleitet wird [2]. Zudem kann der Phasenanteil über die Synthesebedingungen eingestellt werden (Abbildung 2a). Synthesen bei niedrigen Temperaturen und niedrigen Ausgangskonzentrationen führen durch die langsamen chemischen Reaktionskinetiken zu größeren und dendritischen Nanopartikeln mit hohen monoklinen Phasenanteilen; Synthesen mit schnellen Reaktionskinetiken, z.B. bei hohen Temperaturen, bewirken hingegen die Bildung kleinerer runder Partikel mit tetragonalen Phasenanteilen. Besonders stark ist dieser Einfluss bei der spezifischen Oberfläche der Nanopartikel erkennbar (Abbildung 2b), da diese bei niedrigen Prozesstemperaturen durch die dendritischen Strukturen stark zunimmt, was insbesondere für katalytische Anwendungen von großem Vorteil ist.

Die Entwicklung der Nanopartikel im Verlauf der Synthese wurde weiterhin auch theoretisch nachgebildet [3]. Hierfür wurde die sogenannte Methode der Populationsbilanzen herangezogen, welche die zeitliche Entwicklung der Partikelgrößenverteilung wiedergibt (Abbildung 3). Die Ergebnisse stimmen sehr gut mit den experimentellen Daten überein und zeigen, dass

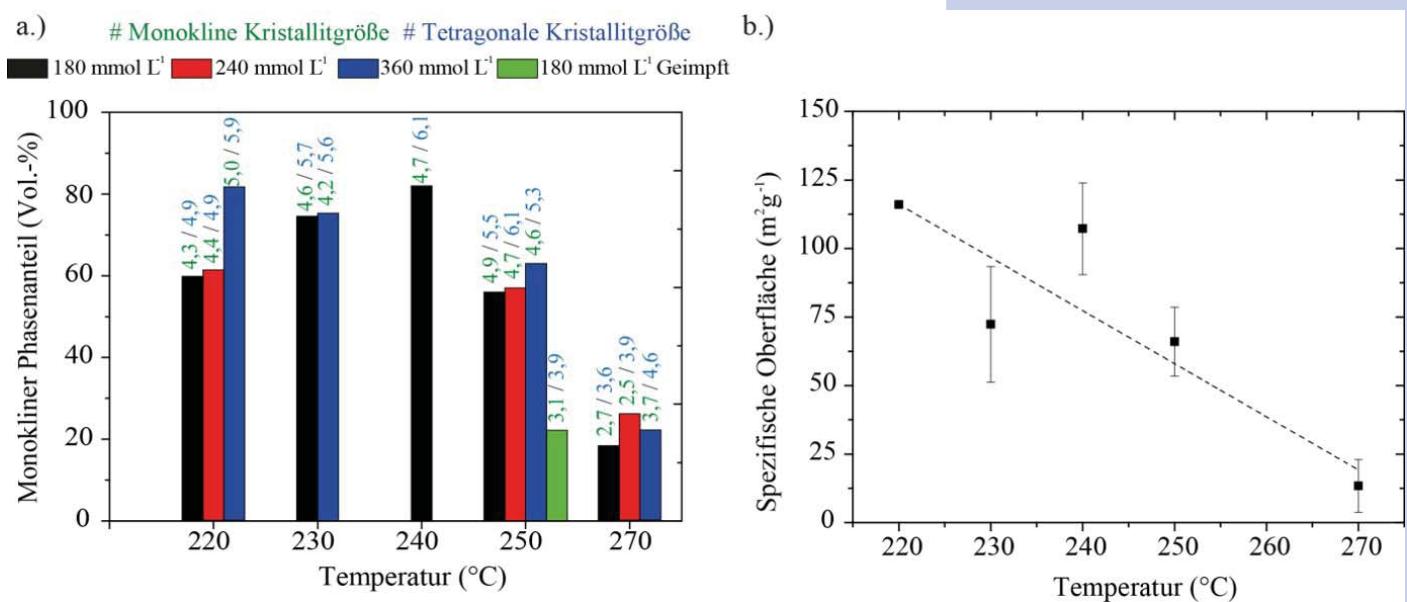


Abbildung 2 a: Kristallitgröße und monokliner Phasenanteil bei verschiedenen Prozessbedingungen; **b:** Einfluss der Synthesetemperatur auf die spezifische Oberfläche der Produkte

die nichtwässrige Synthese durch Kopplung der Kinetiken der chemischen Bildungsreaktionen mit partikeltechnischen Simulationsmethoden erfolgreich nachgebildet werden kann. Die Anwendung der Modelle ermöglicht nunmehr eine gezielte Einstellung von Kristallitgröße, Morphologie und Phasenanteil durch die Prozessparameter, wodurch Nanopartikel anwendungsspezifisch maßgeschneidert werden können.

References

- [1] M. Zimmermann, B. Temel, G. Garnweitner, Parameter studies of the synthesis of titanium dioxide nanoparticles: Effect on particle formation and size, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 74 (2013) 83-89.
- [2] I.-C. Masthoff, M. Kraken, D. Menzel, F.J. Litterst, G. Garnweitner, Study of the growth of hydrophilic iron oxide nanoparticles obtained via the non-aqueous sol-gel method, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 77 (2016) 553-564.
- [3] P. Stolzenburg, A. Freytag, N.C. Bigall, G. Garnweitner, Fractal growth of ZrO₂ nanoparticles induced by synthesis conditions, *CrystEngComm* 18 (2016) 8396-8405.
- [4] P. Stolzenburg, G. Garnweitner, Experimental and numerical insights into the formation of zirconia nanoparticles: A population balance model for the nonaqueous synthesis, *Reaction Chemistry and Engineering* 2 (2017) 337-348.

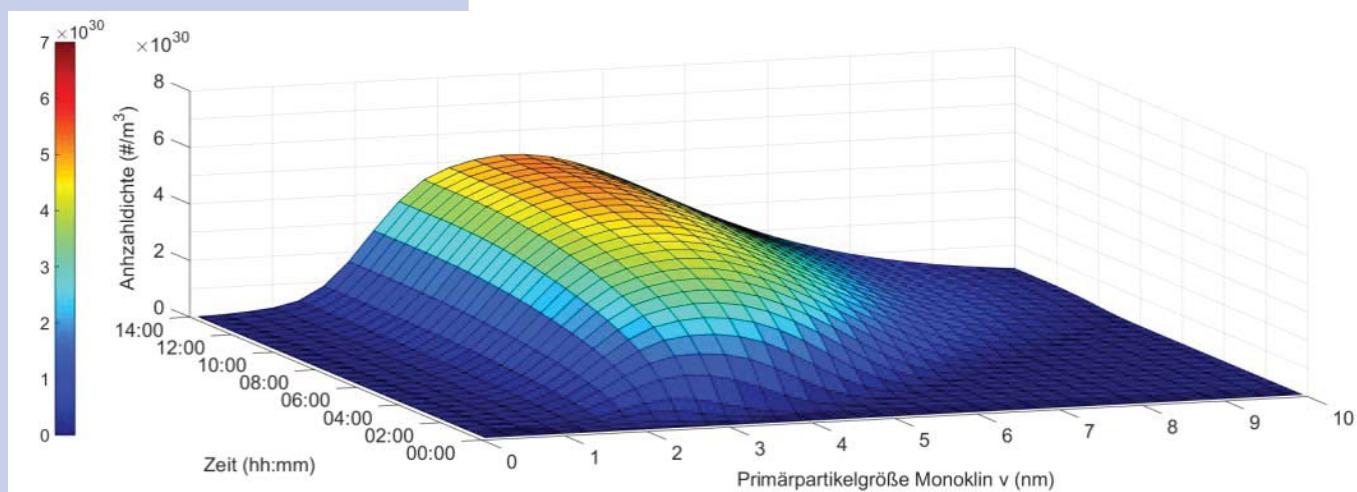


Abbildung 2 a: Kristallitgröße und monokliner Phasenanteil bei verschiedenen Prozessbedingungen; **b:** Einfluss der Synthesetemperatur auf die spezifische Oberfläche der Produkte

On the interaction of guest molecules with Co-MOF-74: A Vis/NIR and Raman approach

Ina Strauss^{*[a]}, Alexander Mundstock^[a], Dominik Hinrichs^[a], Rasmus Himstedt^[a], Alexander Knebel^[a], Carsten Reinhardt^{*[b]}, Dirk Dorfs^{*[a]}, Jürgen Caro^{*[a]}

[a] Institute for Physical Chemistry and Electrochemistry, Leibniz University Hannover, Callinstraße 3A, 30167 Hannover, Germany

[b] Laser Zentrum Hannover, Hollerithallee 8, 30419 Hannover, Germany

[*] Laboratorium für Nano- und Quantenengineering, Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Germany

Co-MOF-74 rod like crystals with a length of several hundred micrometers have been synthesized via a solvothermal procedure and their interaction with different gases has been evaluated in view of selective gas sensing. We show strongly anisotropic absorption behaviour of the Co-MOF-74 crystals when illuminated with polarized light. This study then addresses the interactions of guests (CO_2 , propane, propene, Ar, MeOH, H_2O) with Co-MOF-74, studied by various spectroscopic techniques. Via Vis/NIR measurements, peak shifts of Co-MOF-74 depending on the interaction with the guest molecules were observed and distinguished. In the visible as well as in the near infrared region, the maximum absorbance is shifted selectively corresponding to the intensity of the Coll-guest interaction. Even propene and propane could be distinguished at room temperature according to their different interactions with Co-MOF-74. Furthermore, we used Raman spectroscopy to detect a modified vibrational behaviour of Co-MOF-74 upon gas adsorption. We show that the adsorption of H_2O leads to a characteristic shift of the peak maxima in the Raman spectra.

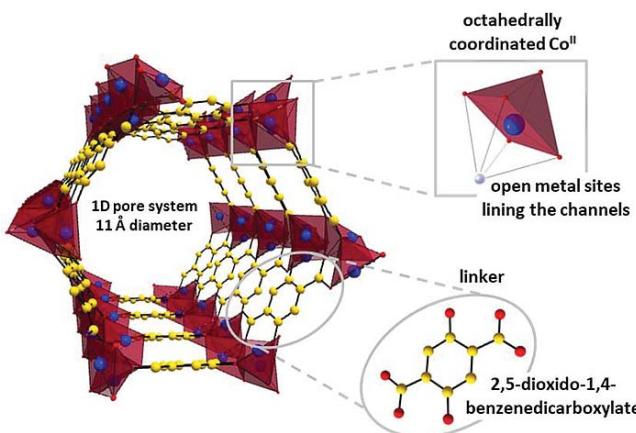


Figure 1 Crystal structure of Co-MOF-74, octahedrally coordinated Coll with open metal sites lining the interior of the pore, and the organic linker, 2,5-dioxido-1,4-benzenedicarboxylate.

Summarizing, we were able to demonstrate the strongly anisotropic absorption behavior of Co-MOF-74 crystals illuminated by polarized light. Afterwards Co-MOF-74 has been evaluated for selective gas sensing. Several gases (CO_2 , propene, propane, Ar, MeOH, H_2O) can be detected and distinguished by Co-MOF-74 due to their interactions with the Co^{2+} - centers. We detected different peak shifts in the Vis/NIR spectra which could be correlated with the metal-guest interaction. Guests like propene, CO_2 , MeOH and H_2O show a stronger interaction with the Coll metal-centers than propane and Ar. In case of propene, an interaction of the Coll with the double bond is assumed, for CO_2 one oxygen atom is interacting with the metal center and in case of MeOH and H_2O the molecules interact via their oxygen atom and can additionally develop hydrogen bonding between the hydrogen atoms of H_2O or MeOH and the oxygen atoms of the organic linker.

See full paper: I. Strauss, A. Mundstock, D. Hinrichs, R. Himstedt, A. Knebel, C. Reinhardt, D. Dorfs, J. Caro: The Interaction of Guest Molecules with Co-MOF-74: A Vis/NIR and Raman Approach, *Angew.Chem. Int. Ed.* 2018, 57, 7434 –7439 DOI: 10.1002/anie.201801966

Selective Detection of NO_2 with a Novel Calixarene-based Metal-organic Framework

Marcel Schulz,^[a] Adrian Gehl,^[b] Stefan Zimmermann,^{*[b]} Andreas Schaate^{*[a]}

[a] Institute for Inorganic Chemistry, Leibniz University Hannover, Callinstraße 9, 30167 Hannover, Germany

[b] Institute of Electrical Engineering and Measurement Technology, Leibniz University Hannover, Appelstraße 9A, 30167 Hannover, Germany

* Laboratory for Nano and Quantum Engineering, Leibniz University Hannover, Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Germany

Gas sensors with high sensitivities to an analyte often suffer from cross-sensitivities to other molecules. One consequence is that these materials only work with optimum performance in the application environment they were designed for. Small changes of these environments like a different humidity or different temperature can affect the sensor properties.

The development of sensors with highest selectivities to target molecules can reduce this problem. The complexation of NO_2 using calixarenes is an example of a highly selective organic reaction.^[2] It leads to a deeply blue colored complex, which makes it possible to use the molecule as a colorimetric sensor. Usually it proceeds in volatile organic solvents that ensure the accessibility of the sensing molecules. Additionally, Lewis acids which are necessary for the sensing reaction have to be dissolved in these solutions (Figure 1).

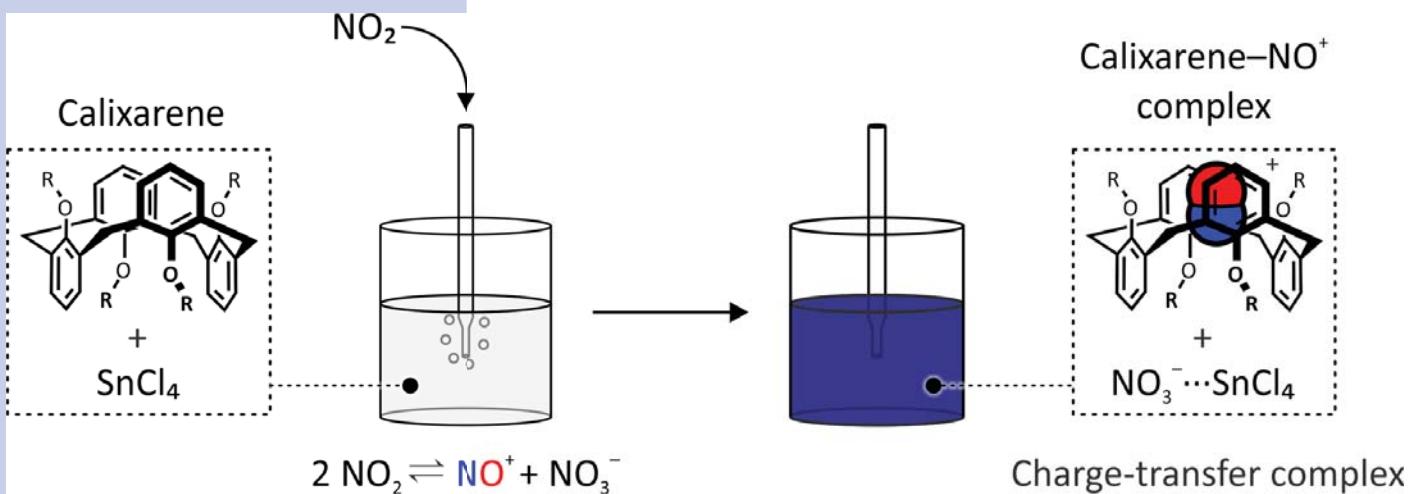


Figure 1 Illustration of the selective reaction between NO_2 and calixarenes. NO_2 dissociates to nitrosonium cations (NO^+) and Nitrate anions (NO_3^-). The NO^+ molecule forms a deeply blue colored charge-transfer complex with the calixarenes.

The aim of our work is to transfer the complexation of NO_2 by calixarenes to the solid state by creating metal-organic frameworks (MOFs) that are based on calixarenes. The reaction of tetracarboxylic acid H_4caI with ZrCl_4 leads to the formation of Zr-caI MOF (Figure 2a) in which the calixarenes are accessible through a complex three dimensional pore system (Figure 2b). The impressive, reversible color change of the solid from white to purple during the reaction with NO_2 proves in particular the accessibility of the calixarene cavity and the ability of the compound to serve as a colorimetric sensor in solid state (Figure 2c). The inorganic part of the framework provides the Lewis acidity that is needed for the reversibility of the sensing reaction.

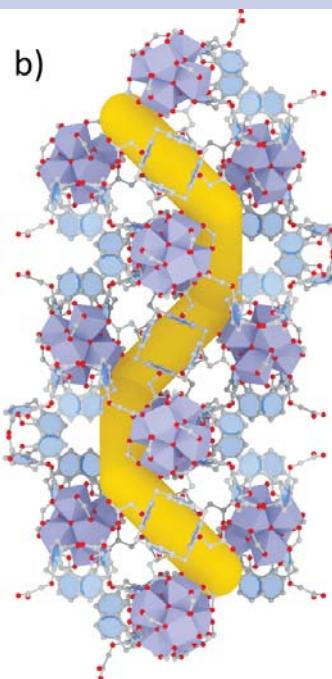
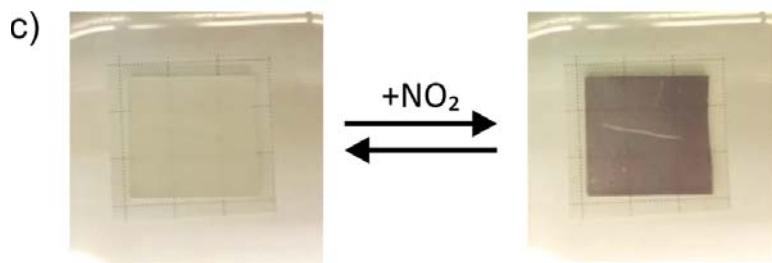
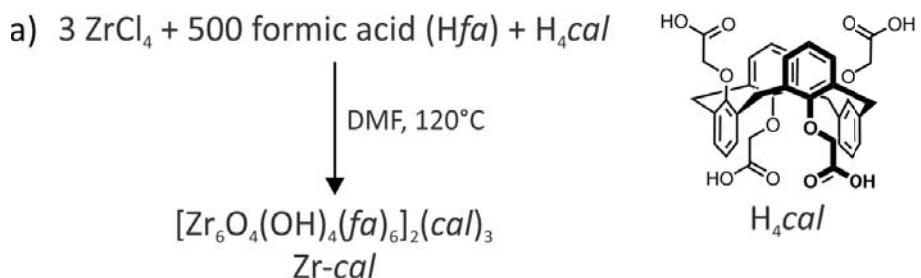


Figure 2 a) Reaction conditions for the synthesis of the novel calixarene-based MOF; b) part of the crystal structure showing a channel (diameter of 5 Å) through the MOF; c) photograph of a glass slide spray coated with the MOF and the sensing reaction with NO_2 .

For the application as a NO_2 sensor material, coatings of the MOF on glass slides were prepared and investigated by SEM. We used these coated glass slides for first measurements of NO_2 in air to evaluate the potential of the novel calixarene-based MOF as a sensor material. The coated glass slides were placed inside a home-made sensor cell (Figure 3a) equipped with an LED ($\lambda = 525 \text{ nm}$). The LED irradiates the coated glass slide, and a photodiode used as detector is placed behind it. When NO_2 passes the chamber, the coating turns blue and the increasing absorption of light leads to a reduced photocurrent of the photodiode. We observed a reversible change in the photocurrent depending on the concentration of NO_2 (Figure 3b). No color change was observed when we exposed the coatings to NO gas, highlighting the selectivity of the calixarene-based MOF.

This work introduces a novel principle to the application of MOFs as sensors, namely the transfer of highly specific reactions into MOFs where one of the reaction partners is exposed by being part of the porous framework, leading to sensor materials of highest selectivity.

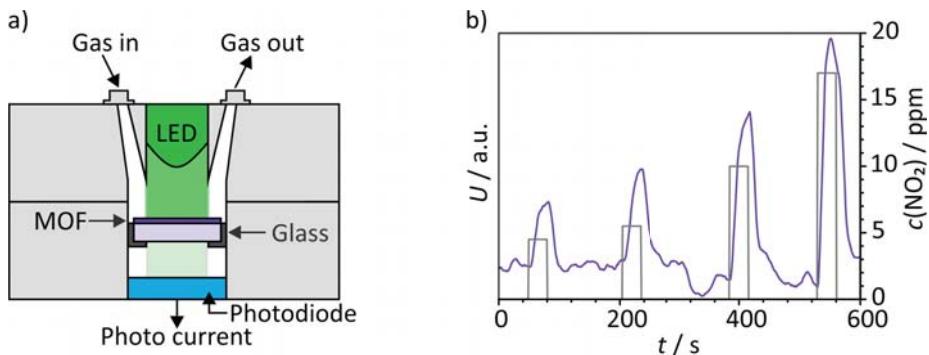


Figure 3 a) Schematic diagram of the sensor setup; b) response to different NO_2 concentrations in purified air.

The original paper to which this short description refers appeared in Angew. Chem. Int. Ed. 2018, 57, 12961-12965; <https://doi.org/10.1002/anie.201805355>

Delamination and Photochemical Modification of a Novel Two-Dimensional Zr-based MOF

Alexander Mohrmeyer^[a], Andreas Schaafe^[a], Benedikt Brechtken^[b], Johannes C. Rode^[b], Dawid P. Warwas^[a], Gesa Zahn^[a], Rolf J. Haug^{*[b]}, Peter Behrens^{*[a]}

[a] Institut für Anorganische Chemie, Leibniz Universität Hannover, Callinstr. 9, 30167 Hannover, Germany

[b] Institut für Festkörperchemie, Leibniz Universität Hannover, Appelstr. 2, 30167 Hanonver, Germany

* Laboratory for Nano- und Quantum Engineering, Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Germany

Metal-organic frameworks (MOFs) are currently one of the most intensely researched class of materials [1]. Zr-based MOFs usually exhibits high thermal and chemical stability which are interesting properties for industrial applications. Post-synthetic modifications allow further adaptation of MOFs for application. It is usually performed on specific functionalities on the linkers like amino, alkyne, azide or halide groups or by click chemistry [2,3]. Here, we present a novel two-dimensional Zr-based metal-organic framework which offers the possibility for postsynthetic photochemical modification at the linker molecule benzophenone-4,4'-dicarboxylic acid (H_2bzpdc) [4]. The new Zr-*bzpdc*-MOF crystallizes in the orthorhombic system as crystals with rhombic shape; a crystal structure model shows that the Zr-*bzpdc*-MOF is built up from 2D layers (figure 1).

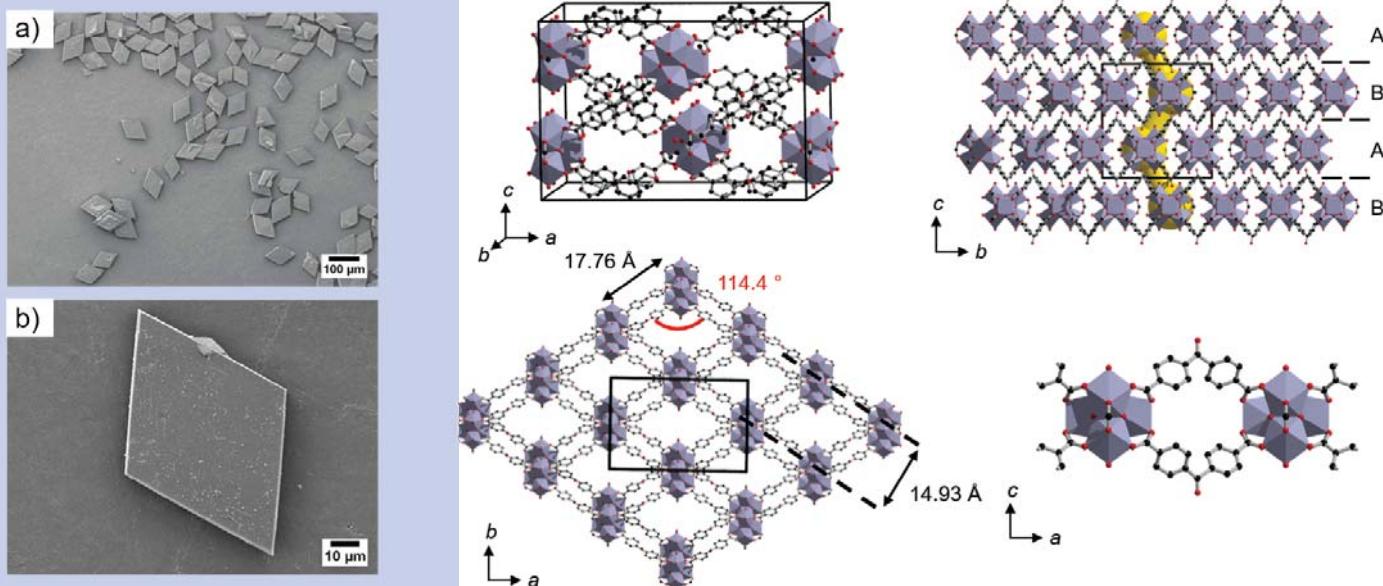


Figure 1 Left: SEM images of Zr-*bzpdc*-MOF crystals with rhombic shape. Center: Crystal structure model of the Zr-*bzpdc*-MOF with unit cell. Top right: stacking of the two-dimensional layers and the shape of a pore along the c axis (yellow channel); bottom right: connection between two IBUs.

Single crystals of the Zr-*bzpdc*-MOF were modified postsynthetically based on the intrinsic photochemical reactivity of the benzophenone moiety with C-H bond containing molecules [5]. In this way, the surface properties of the MOF crystals (e.g. dispersibility in different solvents) can be changed drastically. We carried out photochemical reactions with a hydrophilic polymer and a hydrophobic alkane as model reac-tions. Zr-*bzpdc*-MOF crystals were dispersed in the solvents and irradiated under inert conditions resulting in yellowish products indicating a successful reaction (figure 2).

The photochemical reaction does not result in any changes in the PXRD patterns, showing that the MOF is basically stable under the reaction conditions and also does not undergo any structural transformations during postsynthetic treatment (figure 2 top). The most obvious result is the fact that the dispersibility in different solvents changed drastically after postsynthetic modification (figure 2 bottom). The MOF itself as well as the modified sample with PEG show hydrophilic characteristics. However, the sample modified with decane is hydrophobic which also indicates a successful postsynthetic modification. An extensive characterization of the Zr-bzpd-MOF and its post-synthetic derivatives are given in ref 4.

Based on the 2D layered structure, the Zr-bzpd-MOF also offers the possibility of delamination which leads to thin sheets of the material of only few nanometer thickness, as shown by SEM, TEM and AFM investigations (figure 3).

The thicknesses of the sheets and facets were determined via AFM investigations (figure 3). The delaminated Zr-bzpd-MOF sheets have thicknesses of 2-10 nm. Thicker particles exhibit facets with heights of about 0.9 nm, which is in agreement with the thickness of an individual layer as observed in the crystal structure of the Zr- -MOF.

Delamination and adaptation of the surface chemistry open up novel ways for shaping MOFs, e.g. for the incorporation into polymer composites, and pave the way for various applications.

References

- [1] J. Caro, Chemie Ingenieur Technik 90 (11); <https://doi.org/10.1002/cite.201800034>
- [2] K. K. Tanabe, S. M. Cohen, Chem. Soc. Rev., 2011, 40, 498–519.
- [3] S. M. Cohen, J. Am. Chem. Soc., 2017, 139, 2855–2863.
- [4] A. Mohmeyer, A. Schaate, B. Brechtken, J. C. Rode, D. P. Warwas, G. Zahn, R. J. Haug and P. Beh-rens, Chem. Eur. J., 2018, 24, 12848–12855.
- [5] O. Prucker, C. A. Naumann, J. Rühe, W. Knoll, C. W. Frank, J. Am. Chem. Soc., 1999, 121, 8766–8770.

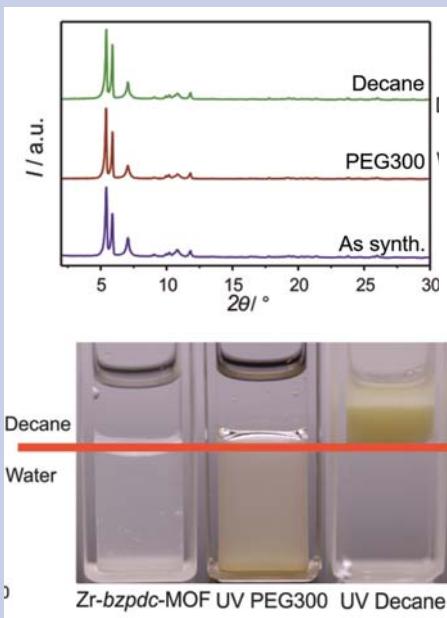


Figure 2 Top: PXRD pattern of postsynthetically modified samples of Zr-bzpd-MOF; bottom: Zr-bzpd-MOF and its postsynthetically modified derivatives exposed to a water/decane two-phase system.

The original paper to which this short description refers appeared in Chem. Eur. J. 24 (2018) 12848–12855; DOI: 10.1002/chem.201802189

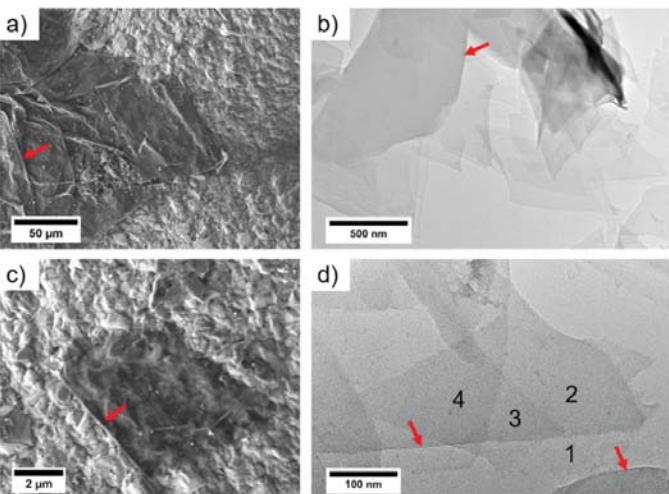
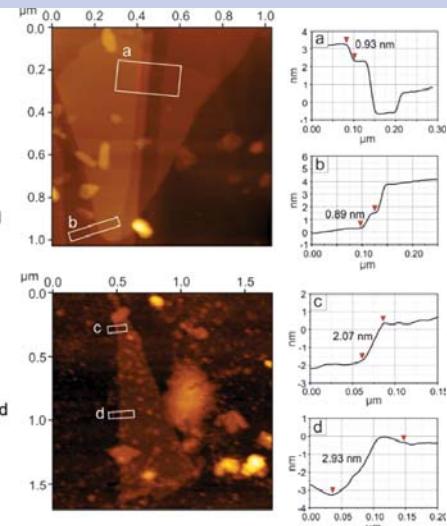


Figure 3 Left: SEM (a,c) and TEM images (b,d) of delaminated sheets of the Zr-bzpd-MOF. Middle: PXRD patterns of Zr-bzpd-MOF before (as-synthesized) and after delamination (ultrasonicated); insets show the region of the 002 re-reflection. Right: AFM investigations of thin particles of Zr-bzpd-MOF with stepped facets at the edges (top) and for an isolated sheet (bottom); height determinations are provided for two different facets.

Macrophage entrapped silica coated superparamagnetic iron oxide particles for controlled drug release in a 3D cancer model

A. Kirschning^{1,*}, P. Behrens^{2,*}, D. Wirth³

¹ Institut für Organische Chemie, Leibniz University Hannover

² Institut für Anorganische Chemie, Leibniz University Hannover

³ Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung, Braunschweig

* Laboratorium für Nano- und Quantenengineering, Leibniz University Hannover

Targeted delivery of drugs is a major challenge in treatment of diverse diseases. Systemically administered drugs demand high doses and are accompanied by poor selectivity and side effects on non-target cells. In a joint research programme between LNQE, BMWZ at Leibniz Universität Hannover and the Helmholtzzentrum für Infektionsforschung (HZI) in Braunschweig we recently introduced a new principle for targeted drug delivery. It is based on macrophages as transporters for nanoparticle-coupled drugs as well as controlled release of drugs by hyperthermia mediated disruption of the cargo cells and simultaneous deligation of nanoparticle-linked drugs. Hyperthermia is induced by an alternating electromagnetic field (AMF) that induces heat from silica-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) (Figure 1)

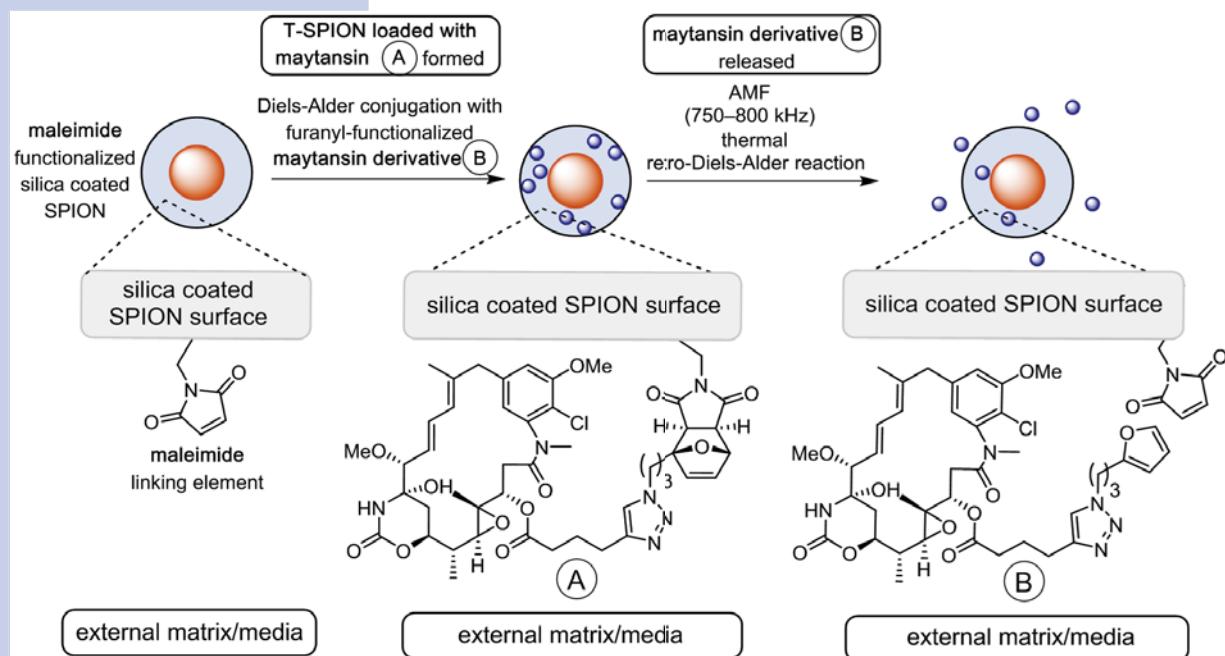


Figure 1 Concept of drug release from SPIONs by hyperthermia.

We demonstrated the proof-of-principle of controlled release by the simultaneous disruption of the cargo macrophages and the controlled, AMF induced release of a toxin, which was covalently linked to silica-coated SPIONs via a thermo-sensitive linker (Figure 2). Cells that had not been loaded with SPIONs remain unaffected. Moreover, in a 3D co-culture model we demonstrate specific killing of associated tumor cells when employing a ratio as low as 1:40 (SPION-loaded macrophage : tumor cells). Overall, our results demonstrate that AMF-induced drug release from macrophage-entrapped nanoparticles is tightly controlled and may be an attractive novel strategy for targeted drug release.

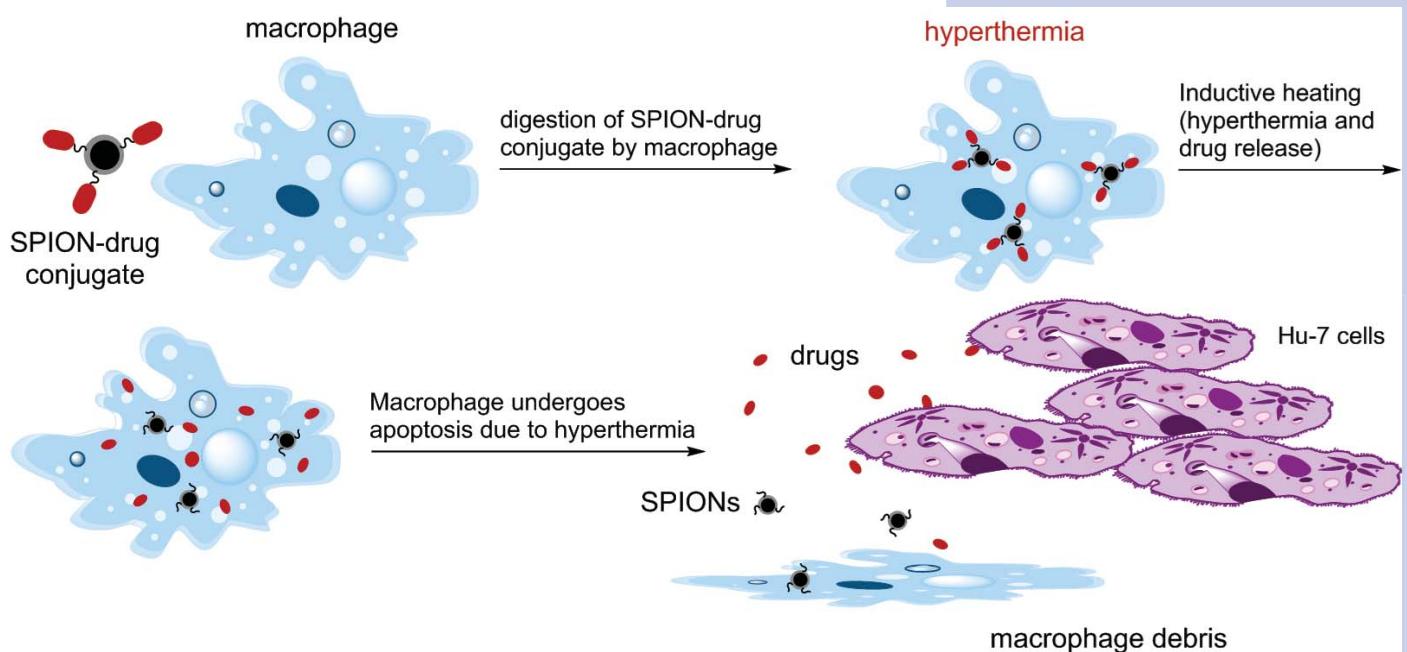


Figure 2 Macrophages as cargo systems for SPION-drug conjugates (see figure 1 for details), concept for externally induced drug release. The hyperthermia leads to cell death of macrophages and cleavage of toxin ansamitocin followed by elimination of liver tumor cells (Hu-7).

Using an in vitro tumor model we found elimination of tumors which sets the stage for extending these studies to in vivo investigations.

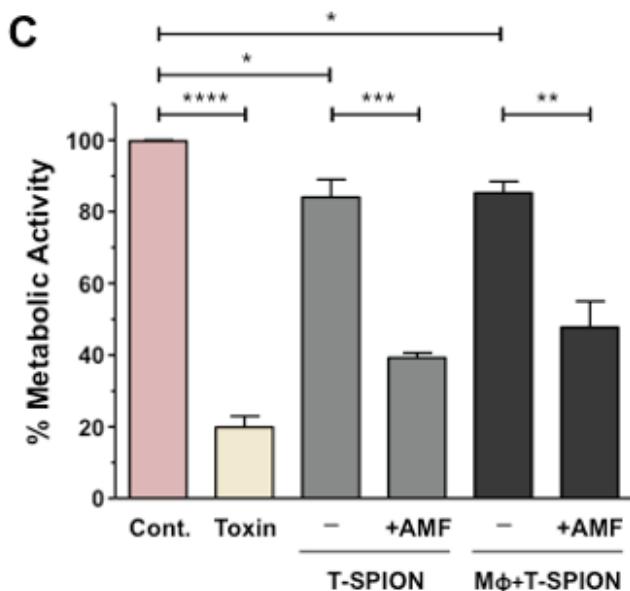


Figure 1 Induced cell death by AMF-mediated release of an ansamitocin derivative from a nanostructured superparamagnetic iron oxide particle after takeup by macrophages.

Reference (LNQE and BMWZ are acknowledged): S. Ullah, K. Seidel, S. Türkkan, D. P. Warwas, T. Du-bich, M. Rhode, H. Hauser, P. Behrens, A. Kirschning, M. Köster, D. Wirth*, Macrophage entrapped silica coated superparamagnetic iron oxide particles for controlled drug release in a 3D cancer model, *J. Contr. Release*, 2019, 294, 327-336. DOI: 10.1016/j.jconrel.2018.12.040



Leibniz Universität Hannover
Laboratorium für Nano- und Quantenengineering
Schneiderberg 39
30167 Hannover
Germany
www.LNQE.uni-hannover.de