NanoEnergie

EIN NEWSLETTER VON CENIDE

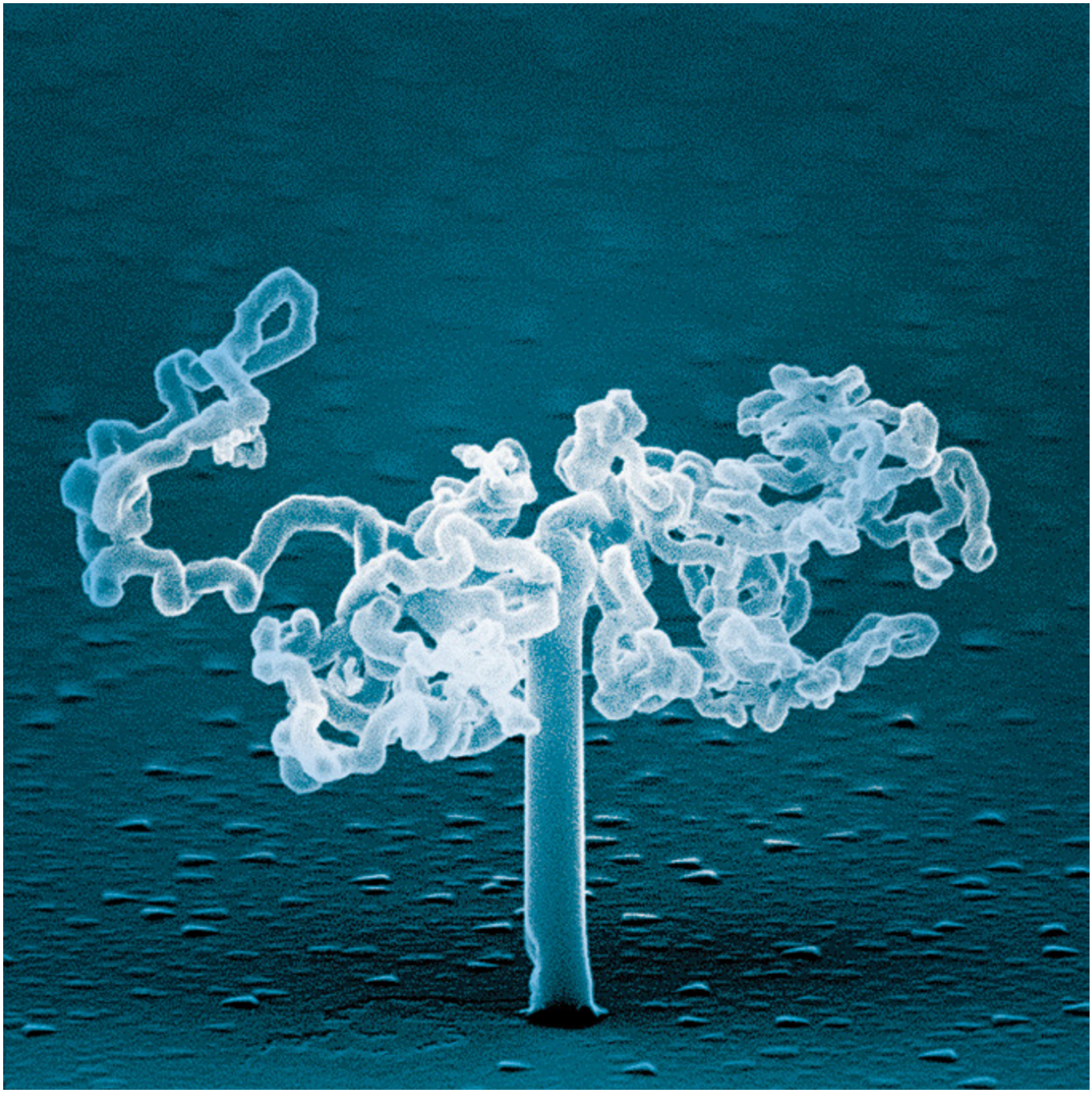
10

FORSCHUNG UND WIRTSCHAFT Spritsparende Wärmenutzung, Silbernanodrähte und Photoströme

INTERVIEW Dr. Ralph Nonninger, Präsident des Deutschen Verbandes Nanotechnologie e. V., im Interview

TECHNOLOGIEFOLGE Auf die Oberfläche kommt es an

TERMINE Veranstaltungen rund um die Nanotechnologie



DAS ENTSCHEIDENDE ÄUSSERE

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Wissenschaftler sind sich darin einig, wie wichtig sie ist und dass sie stets die fortschreitende Technologieentwicklung begleiten muss: die Forschung zur Freisetzung und Wirkung von Nanomaterialien und die Untersuchung der daraus resultierenden möglichen Risiken für Mensch und Umwelt.

Tatsächlich gibt es viele Projekte, die sich mit diesen Themen beschäftigen, doch in der Kommunikation ihrer Ergebnisse haben sie es schwer. Zu viele unterschiedliche Materialien und Partikel, zu viele allgemeine Umstände und verschiedene Organismen gilt es zu beachten, um konkrete und gleichzeitig möglichst allgemeingültige Aussagen treffen zu können. Doch die Verantwortlichen des Verbundprojekts „Nanostrukturierte Materialien – Gesundheit, Exposition und Materialeigenschaften" (nanoGEM) haben kürzlich bei ihrer Abschluss-Pressekonferenz genau das getan: konkrete Ergebnisse vorgestellt (S. 18). Auf diese Weise kann gelingen, was Dr. Ralph Nonninger, Präsident des Deutschen Verbandes Nanotechnologie e. V., in seinem Interview auf den Seiten 6 und 7 fordert, nämlich „die Nanotechnologiedebatte zu ent-emotionalisieren". Denn nur eine auf Fakten beruhende Einschätzung der Sicherheit im Umgang mit Nanomaterialien kann auf lange Sicht die Grundlage künftiger Technologien sein. Alles andere wäre einer aufgeklärten Gesellschaft nicht würdig.

Eine besonders in diesem Sinne informative Lektüre wünscht Ihnen Ihr

Prof. Dr. Christof Schulz,
Wissenschaftlicher Direktor NanoEnergieTechnikZentrum

Impressum

HERAUSGEBER
CENIDE

AUSGABE
10 (2013)

ERSCHEINUNGSWEISE
NanoEnergie erscheint 4-mal im Jahr

PROJEKTLEITUNG
Dr. Marion Franke

REDAKTION
Birte Vierjahn, CENIDE |
Michael Houben, Marcellini Media GmbH

KONZEPT UND UMSETZUNG
Marcellini Media GmbH

PAPIER
Gedruckt auf EnviroTop (aus 100 % Altpapier, klimaneutral produziert) mit Druckfarben aus nachwachsenden Rohstoffen

DRUCK
Gutenberg-Druckerei GmbH, Bottrop

KONTAKT
Birte Vierjahn
Postanschrift: Forsthausweg 2;
Besucheranschrift: Carl-Benz-Str.199
47057 Duisburg
Tel.: +49 203 379-8176
E-Mail: cenide@uni-due.de
www.cenide.de

Titelfoto: © Werner Prost (CENIDE)
Editorial: © Ralf Schultheiss, zwanzig10

GaAs-Nanodraht, der mittels Gold-Quellpunkt im Vapor-Liquid-Solid-Wachstumsmodus gewachsen wurde.

Editorial

2 **DAS ENTSCHEIDENDE ÄUSSERE**
Vorwort von Prof. Dr. Christof Schulz

Kurznachrichten

4 **AKTUELLES AUS DER FORSCHUNG IN KÜRZE**

Interview

6 **NANO IST ZWINGEND NOTWENDIG**
Dr. Ralph Nonninger | Der Präsident des Deutschen Verbandes Nanotechnologie e. V. im Gespräch

Forschung & Wirtschaft

8 **PHOTOSTRÖME IN ECHTZEIT**
Prof. Dr. Alexander W. Holleitner | Zentrum für Nanotechnologie und Nanomaterialien Walter Schottky Institut und Physik-Department, Technische Universität München

9 **SONNENENERGIE EFFIZIENT NUTZEN**
Dr. Jens Degenhardt | Helmut Lüder | ODB-Tec GmbH & Co. KG, Neuss

10 **SPRITSPARENDE WÄRMENUTZUNG**
Dr. Jan D. König | Dr. Jana Heuer | Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

11 **LASERGENERIERTE KATALYSATOREN**
Dr. Philipp Wagener | Lehrstuhl für Technische Chemie I | Universität Duisburg-Essen

12 **GREENSENSE**
Dr. Eckhard Hennig, Bianca Leistritz IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau | Prof. Dr. Martin Hoffmann, Stefan Hampl IMN MacroNano®, Technische Universität Ilmenau

14 **SILBERNANODRÄHTE FÜR DIE SERIE**
Adi Parzl | rent a scientist GmbH, Regensburg

15 **MOBILE INTERBAND-KASKADENLASER**
Andreas Heger | nanoplus Nanosystems and Technologies GmbH, Gerbrunn

16 **NANOSTRUKTURIERTE ELEKTRODEN**
Dr. Christoph Gimmler | CAN GmbH, Hamburg

18 **AUF DIE OBERFLÄCHE KOMMT ES AN**
Birte Vierjahn | CENIDE, Universität Duisburg-Essen

Termine

19 **VERANSTALTUNGEN RUND UM DIE NANOTECHNOLOGIE**

IKOSAEDER FÜR DIE ZUKUNFT

Das Verhältnis von Struktur zur Eigenschaft verstehen und nutzen

Eine Forschungsgruppe um Professorin Hong Yang (University of Western Australia) hat eine neue Methode entwickelt, um hochgradig gleichförmige Nanokristalle aus Platin zu synthetisieren. Die ikosaederförmigen Nanopartikel stellen laut Yang sowohl für die Grundlagenforschung als auch für die angewandte Nanotechnologie einen wichtigen Schritt dar. Neben der Synthese konzentrieren sich die Wissenschaftler darauf, die Beziehung zwischen Struktur und Eigenschaft von auf Nanostrukturen basierenden Materialien zu verstehen, um sie für die Bereiche Energie, Katalyse und Biotechnologie nutzbar zu machen. Die synthetisierten Platinprodukte liefern dabei mit ihrem hohen Reinheitsgrad den idealen Werkstoff zum Studium. Die gewonnenen Erkenntnisse erweisen sich schon heute in Bezug auf die Konzipierung fortschrittlicher Katalysatoren aus Hochleistungsmetallen und Metalllegierungen als nützlich. In Brennstoffzellen kann durch die Oberflächendehnung der ikosaederförmigen Platinkristalle die Katalyseaktivität bei der Sauerstoff-Reduktions-Reaktion zum Teil gesteigert werden.
Quelle: http://engineering.illinois.edu

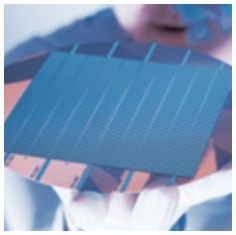
Fotos: © Alchemist-hp (1), © BMBF (1), © O-Flexx Technologies GmbH (1)

KLEINE UND MITTLERE UNTERNEHMEN – INNOVATIV

Das BMBF hat eine neue Fördermaßnahme zur Stärkung des Forschungspotenzials vor allem von KMU beschlossen. Auf der Grundlage des Rahmenprogramms „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft“ (WING) wurden Antrags- und Bewilligungsverfahren vereinfacht und beschleunigt sowie Beratungsleistungen und Fördermaßnahmen ausgebaut. Förderkriterien sind hierbei Innovationsgrad, Exzellenz oder die Anwendbarkeit von Lösungen zu aktuell relevanten Fragestellungen. Auch bei der „Materialforschung für die Energiewende” gibt es neue Förderrichtlinien.
Quelle: www.nmwp.nrw.de

NEUE ART DER REIBUNG IN DER NANO-WELT

Bei der Untersuchung des Reibungsverhaltens nanometerkleiner Systeme entdeckten Wissenschaftler der Technischen Universität München eine bislang unbekannte Art der Reibung, die „Desorptionshaftung“. Dieser Reibungsmechanismus trat bei einer bestimmten Kombination aus einem Polymer, einem Lösungsmittel und einer Testoberfläche auf. Dabei haftete das Polymer an der Oberfläche. Es konnte jedoch ohne nennenswerten Kraftverlust in die umgebende Lösung gezogen werden. Die Ursache hierfür ist vermutlich eine sehr geringe interne Reibung innerhalb des Polymerknäuels.
Quelle: http://www.tum.de



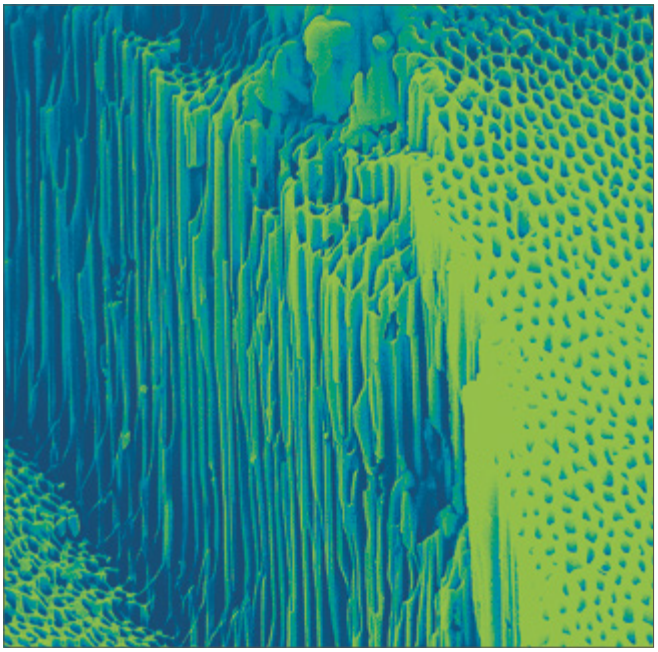
NACHWUCHSPREIS DER THERMOELEKTRIK

Die DTG (Deutsche Thermoelektrik-Gesellschaft) verfolgt das Ziel, die Kenntnis sowie die Umsetzung und Anwendung der Thermoelektrik in Wissenschaft, Industrie und Öffentlichkeit zu fördern. Eingereicht werden können Doktorarbeiten, Diplom- und Masterarbeiten oder herausragende Bachelorarbeiten, die ein Teilgebiet der Thermoelektrik abdecken. Die besten zukunftsorientierten Problemlösungsvorschläge werden mit einem Preisgeld in Höhe von 1.500 € honoriert. Der Homepage der DTG können Sie weitere Informationen entnehmen.
Quelle: http://www.thermoelektrik.org

NANOMATERIAL SICHERER MACHEN

Neue Strategien zum Risikomanagement

Seit 2007 haben mehrere Projektpartner eine Forschungsstrategie erarbeitet, die den Stand von über 80 Forschungsprojekten zu Chancen und Risikoaspekten der Nanotechnologie unter die Lupe genommen hat. Nun liegt die erste Bilanz vor. Beteiligt waren die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) und das Umweltbundesamt (UBA) in Kooperation mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM). Jetzt gilt es, die erarbeiteten Strategien in die Praxis umzusetzen, neue Leitlinien für ein erfolgreiches Risikomanagement zu formulieren und Risikoschwerpunkte einzugrenzen. In Zukunft soll die Forschung einen Beitrag zur Vermeidung von aufwändigen Untersuchungen unzähliger einzelner Nanomaterialien leisten und trotzdem Basis für sinnvolle Aussagen zum Schutz von Beschäftigten, Verbrauchern und Umwelt sein. Die Bilanz kann von der Seite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit heruntergeladen werden.
Quelle: http://idw-online.de



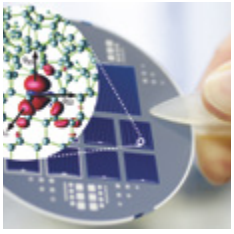
Fotos: © CENIDE (1), © istockphoto (1), © TUM (1) © HZB / Uni Paderborn (1)

NANOSILBER WENIGER BELASTEND ALS VERMUTET

Eine im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms »Chancen und Risiken der Nanomaterialen« durchgeführte Studie der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz zeigt, dass Nanosilber auf dem Weg zur Kläranlage in weniger problematische und schlechter lösliche Formen von Silbersulfidsalz umgewandelt wird. So gelangt ein geringerer Teil als bisher angenommen in die Gewässer, da bis zu 95 Prozent der Nanopartikel im Klärschlamm gebunden werden. Den verbleibenden Anteil könnte man durch bessere Filter senken.
Quelle: www.eawag.ch

LITHIUM-IONEN-BATTERIEN OPTIMIEREN

Einen großen Fortschritt in der Entwicklung von Kathodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien im Hochleistungsbereich verspricht das Rice University lab of materials. Dort ist es gelungen, Hybridbänder aus Vanadiumoxid und Graphen zu entwickeln, die als Kathodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz kommen können. Durch die einzigartige Struktur dieser Bänder konnten die Kathoden bei einem Test in einer Halbzelle Lade- und Entladezyklen in nur 20 Sekunden bewältigen und erhielten nach 1.000 Zyklen noch über 90 % ihrer Anfangskapazität.
Quelle: http://news.rice.edu



DEFEKTE AN GRENZFLÄCHEN AUFGESPÜRT

Physiker des HBZ spüren Defekte an Grenzflächen von Solarzellen direkt auf, stellen sie in atomarer Auflösung dar und bestimmen so die elektronische Struktur. Solarzellen aus Silizium könnten 30 Prozent des Sonnenlichts in Strom umwandeln. Defekte sorgen jedoch für eine Reduzierung auf etwa 25 Prozent (Laborwerte). Moderne Wafer, bedampft mit einer nur zehn Nanometer dünnen amorphen Siliziumschicht, können Defekte absättigen, Strom direkt aus der Zelle ableiten und erreichen damit einen Wirkungsgrad von 24,7 Prozent (industrieller Maßstab).
Quelle: http://www.helmholtz-berlin.de

Fotos: © Volker Presser/Deutscher Verband Nanotechnologie

NANO IST ZWINGEND NOTWENDIG

Interview mit Dr. Ralph Nonninger, Präsident des Deutschen Verbandes Nanotechnologie e. V.

Welche Aufgaben hat der Deutsche Verband Nanotechnologie e. V. und welche Gestaltungsmöglichkeiten in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik sehen Sie?

Der Deutsche Verband Nanotechnologie ist die Stimme der Nanotechnologie in Deutschland. Wir informieren sachlich, bewerten die Forschungs-, Bildungs- und Unternehmenslandschaft und honorieren dabei besondere Leistungen durch Auszeichnungen herausragender Hochschulen oder innovativer junger Unternehmen. Als Sprachrohr der Technologie des 21. Jahrhunderts wollen wir, wenn möglich, in allen entscheidenden Gremien aktiv mitarbeiten, politische Entscheider beraten und Bürgerdialoge unterstützen.

Wie schätzen Sie die Forschungslandschaft und die allgemeine Perspektive in Bezug auf Markteinführungen in Deutschland im internationalen Vergleich ein?

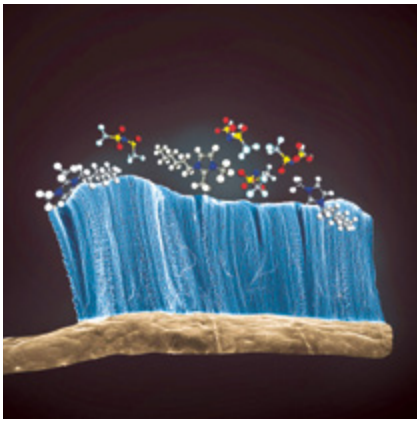
Die Forschungslandschaft in Deutschland ist sehr breit aufgestellt und besitzt international ein hohes Ansehen. Die technologischen Felder, die die Hightech-Strategie der Bundesrepublik adressiert, wie Klima und Energie, Gesundheit und Ernährung, Mobilität, Kommunikation und Sicherheit sind gut gewählt und – lassen Sie mich

dies unterstreichen – ohne Nanotechnologie in Zukunft unvorstellbar. Einzig und allein die Umsetzung der Ergebnisse in konkrete Produkte und Arbeitsplätze sehe ich im internationalen Vergleich als kritisch an. Dabei ist sicherlich zu berücksichtigen, dass die Technologieskepsis außerhalb von Deutschland geringer ist.

Was kann aus Ihrer Sicht verbessert werden?
Vieles …, aber lassen Sie mich nur eine Sache konkret ansprechen. In einer sich stetig verändernden Welt stehen wir vor immer neuen, immer komplexeren Aufgaben. Aber auch in Zukunft wird es für uns darum gehen, die Lebensqualität des Einzelnen zu verbessern, gesellschaftlichen Wohlstand zu sichern und Lösungen zu finden für die Probleme und Herausforderungen unserer Zeit. Dies kann nur gelingen, wenn man auf neue Technologien setzt, Fortschritt zulässt und endlich damit anfängt, die Nanotechnologiedebatte zu „ent-emotionalisieren". Wir brauchen verlässliche und effiziente Technologien, die selbstverständlich sicher sind – nicht mehr, aber auch bitte nicht weniger. Wir brauchen keine Diskussionen, die die Nanotechnologie ohne erkennbaren Grund stigmatisieren.

»WIR BRAUCHEN VERLÄSSLICHE UND EFFIZIENTE TECHNOLOGIEN«

Welche Bedeutung messen Sie dem Thema „Energie" in der nanotechnologischen Forschung bei?
Vom Gelingen der Energiewende hängt es ab, ob Deutschland seinen Status als erfolgreiche Industrienation behaupten kann – also ein Thema von enormer forschungs- und wirtschaftspolitischer sowie gesellschaftlicher Tragweite. Die Energieversorgung, so wie wir sie heute kennen, wird mehr und mehr verschwinden. Dezentrale Anlagen werden an Bedeutung gewinnen, die zusammen mit intelligenten Speichern flexibel den Energiebedarf decken. Die Komplexität des Prozesses wird ebenso zunehmen wie die Flexibilität bei Erzeuger und Verbraucher. Nicht nur müssen nachhaltige Energien weiter ausgebaut werden, sondern auch die damit verbundenen Versorgungsnetze. Energiegewinnung oder besser -umwandlung, Energiespeicherung, Energietransport und nicht zuletzt die Effizienzsteigerung sind die dominierenden Technologiefelder, die auf die Unterstützung der Nanotechnologie angewiesen sind. Dabei muss uns bewusst sein, dass die Nanotechnologie schon immer ein wichtiges Prinzip bei der Energieforschung war. Dabei fallen mir die Stichworte „Lithium-Ionen-Batterie", „moderne Schaltkreise", „Wärmedämmstoffe" ein, um nur einige zu nennen. Von der Netzinstallationsdebatte einmal abgesehen, beinhalten alle heute diskutierten Technologien maßgeblich Nanotechnologie: Photovoltaik, Materialien für Windkraftanlagen oder Energiespeicher (dort sogar die Rotorblätter von Wasserkraftwerken). Hinzu kommt, dass eine höhere Energieeffizienz meines Erachtens nur durch Nanotechnologie erzielt werden kann, sprechen wir doch in diesem Fall immer von einer besseren Kenntnis von Materie und Nanostrukturen.



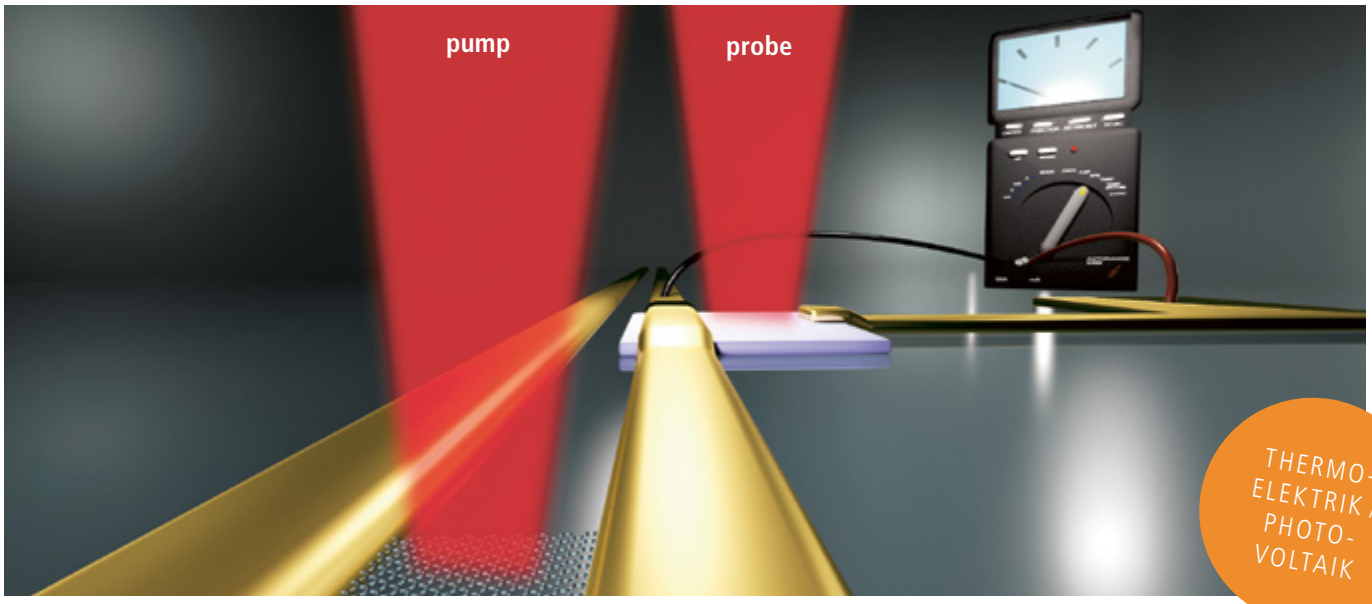
„Nano-Bürste": Kohlenstoff-Nanoröhrchen auf einer Aluminiumfolie, die als hochleistungsfähige Elektrode für die Energiespeicherung dienen.

Welche nanotechnologischen Errungenschaften werden unsere Kinder im Jahr 2030 alltäglich wahrnehmen?
Unsere Kinder werden einen umfassend vernetzten Alltag erleben, eine Vernetzung, die in sich wesentlich intelligenter ist, als „nur" ein Zusammenschalten von Einheiten. Die Waschmaschine wäscht dann, wenn der Strom am günstigsten ist, das Auto gibt an das Netz Strom zurück, wenn es das Netz erfordert und über das Internet wird der PV-Anlage mitgeteilt, dass sie den Wärmespeicher entleeren sollte, weil noch mehr Sonne erwartet wird. Es wird ein neuer, ungezwungener, hochkomplexer Umgang mit Informationen stattfinden, der sich dann aber im Detail unserem Verständnis entziehen wird. Lediglich die Frage nach der Bereitschaft für ein solches vernetztes und technologiebasiertes Leben ist wohl heute noch nicht endgültig geklärt. Auch wird sich unser Umgang mit Energie verändern. Durch kabelloses Laden und schnelle, hocheffiziente Speicher wird das Leben leichter: Stromkabel, die in der Straße liegen, werden die Batterien der allgegenwärtigen Elektroautos mittels elektrischer Induktion permanent aufladen und so deren Reichweite und Leistung deutlich verbessern.

Wenn Sie sich selbst einen Forschungsauftrag geben könnten: Welcher Frage würden Sie gerne auf den Grund gehen?
Effektive Energiespeicherung, kein banales Pumpen von Wasser in Speicher, sondern die Verwendung von lokal überschüssiger Energie zur Herstellung komplexer Rohstoffe, die transportabel sind.

Was tut der DV Nano, um auch die Öffentlichkeit bei der technologischen Entwicklung mitzunehmen?
Ich denke, dass die Öffentlichkeit eine umfassende Technologiekompetenz braucht, ein Wissen und ein Verständnis für die Technik, die unseren Alltag heute und in der nahen Zukunft bestimmt. Sonst stößt die technologische Entwicklung auf Unverständnis oder sogar Ablehnung. Als Verband informieren wir deshalb darüber, wie die Nanotechnologie ganz konkret unser Leben verändert, welche Chancen sich für den Einzelnen und die Gesellschaft eröffnen – in der Gesundheitsversorgung, in der Mobilität, in der Kommunikation und im Energiesektor. Und wir setzen uns dafür ein, dass eine der faszinierendsten Technologien der Gegenwart auch in den Lehr- und Ausbildungsplänen von Schulen und Universitäten den Platz erhält, der ihrer Bedeutung entspricht.

Dr. Ralph Nonninger,
Präsident des Deutschen Verbandes Nanotechnologie e. V., Saarbrücken



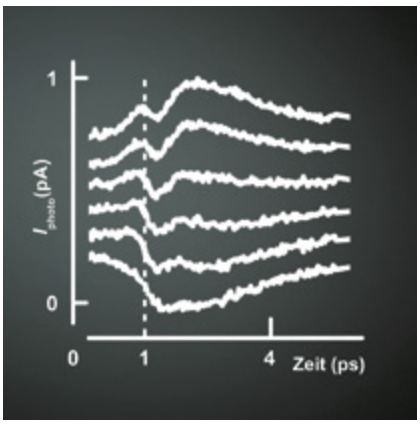
Fotos: © Christoph Hohmann, Nanosystems Initiative Munich (NIM)

THERMO-ELEKTRIK / PHOTO-VOLTAIK

PHOTOSTRÖME IN ECHTZEIT

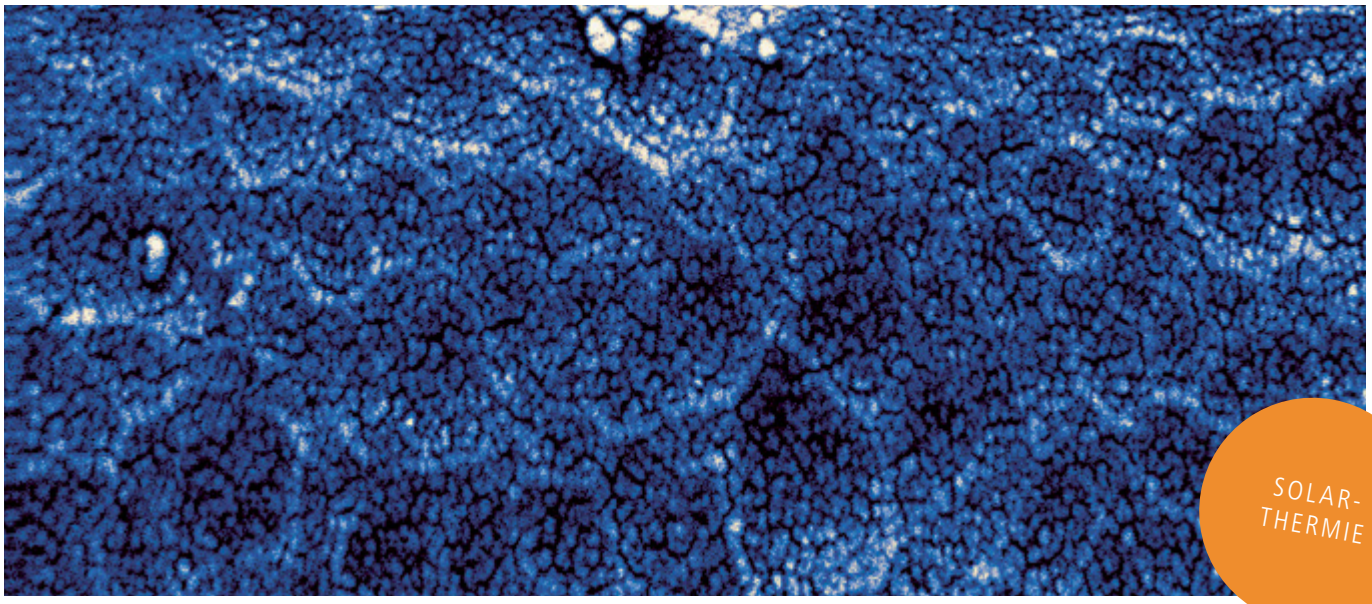
Ultraschnelle nanoskalige Optoelektronik

Graphen, Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Halbleiter-Nanodrähte gelten als vielversprechende Nanomaterialien für zukünftige optoelektronische und elektronische Bauteile. Deren optische Relaxationszeit und Rekombinationslebensdauer liegen typischerweise im Bereich von unter einer Pikosekunde bis hin zu Nanosekunden. Entsprechend ultraschnelle Photoströme können mittels konventioneller elektrischer Messungen nicht aufgelöst werden, da die elektronischen „Trigger"- und Detektions-Transienten dafür zu langsam sind. Zusätzlich besitzen Nanomaterialien typischerweise hohe Widerstände und Impedanzen, sodass die ultraschnellen Ströme in den Nanomaterialien durch die Antwortzeit der Hochfrequenz-Schaltkreise überdeckt werden. Uns ist es gelungen, derartige Ströme mittels einer optoelektronischen Pump-Probe-Methode für eine Reihe von Nanomaterialien mit einer Zeitauflösung von unter einer Pikosekunde zu messen. Dazu werden die Nanomaterialien mittels THz-Streifenleitungen elektrisch kontaktiert und mithilfe eines Femtosekunden-Laserpulses optisch angeregt (siehe Grafik). Kleinste Photoströme erzeugen in den THz-Streifenleitungen einen elektromagnetischen Puls, der mit Lichtgeschwindigkeit entlang der Streifenleitungen propagiert. Ein zeitverzögerter, zweiter Femtosekunden-Laserpuls generiert Ladungsträger in einem On-Chip-Photoschalter, womit der elektromagnetische Puls und damit die Ströme in dem Nanoschaltkreis mit einer Zeitauflösung von unter einer Pikosekunde ausgelesen werden. Die Methode geht auf D. H. Auston zurück, der sie Anfang der 80er-Jahre auf niederohmige Volumen-Halbleiterschaltkreise anwendete. Wir konnten nachweisen, dass die Methode auch auf hochohmige Nanomaterialien und -schaltkreise anwendbar ist. Damit werden zeitlich aufgelöste dielektrische Verrückungsströme, die Propagationsgeschwindigkeit von optisch angeregten Elektronen, thermoelektrische Ströme, Lebensdauer-limitierte Ströme und die Beweglichkeit von optisch angeregten Ladungsträgern in den Nanoschaltkreisen experimentell zugängig. Die Streifenleiter können als Nahfeldantennen für THz-Ströme in den Nanomaterialien verstanden werden. So konnten wir ebenso die Generation von THz-Strahlung in optisch angeregten einzelnen Indiumarsenid-(InAs)-Nanodrähten und Graphen erstmals nachweisen. Diese Methode hält faszinierende Einsichten in die Echtzeit-Dynamik von elektrischen Strömen in Nanomaterialien bereit, die für ultraschnelle Photodetektoren, Photoschalter, photovoltaische Zellen und THz-Quellen unerlässlich sind.



Zeitaufgelöster Photostrom für verschiedene Positionen entlang eines einzelnen InAs-Nanodrahts bei 77 K.

Prof. Dr. Alexander W. Holleitner, Zentrum für Nanotechnologie und Nanomaterialien, Walter Schottky Institut und Physik-Department, TUM



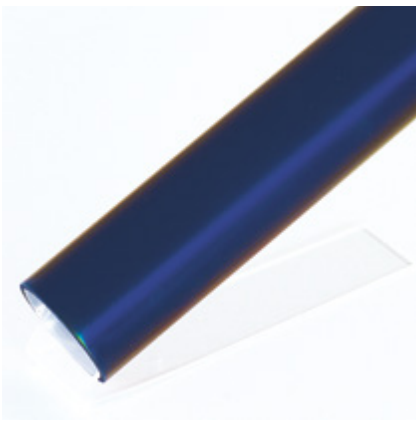
Fotos: © ODB-Tec

SOLAR-THERMIE

SONNENENERGIE EFFIZIENT NUTZEN

Einzigartige hochselektive Beschichtung entwickelt

Beim Einsatz von Solarthermiekollektoren ist es entscheidend, die solare Strahlung maximal effizient in technische Wärme umzuwandeln, wie beispielsweise in Hochtemperatur-Prozesswärme-Anwendungen (CSP Concentrated Solar Power) oder bei der Heizungswärme- oder Warmwassergewinnung. Dazu werden die Absorber als „Herzstücke" der Solarkollektoren hochselektiv beschichtet – mit hoher Absorption im Bereich des solaren Spektrums und hoher Reflektivität im infraroten Bereich, um Strahlungsverluste zu vermeiden. Damit verbleibt ein Maximum an Energie im Absorber. Mit dem innovativen Beschichtungsverfahren der ODB-Tec GmbH & Co. KG ist es möglich, Teile mit nahezu beliebiger dreidimensionaler Geometrie zu beschichten – so zum Beispiel CSP-Absorberrohre oder Kissenabsorber im Batch-Verfahren. Die Beschichtungsanlage ist dynamisch erweiterbar, sodass bei Bedarf auf andere Formen oder Größen umgestellt werden kann. Gleichzeitig lässt sich die patentierte ODB-Beschichtung wesentlich günstiger auftragen als herkömmliche hochselektive Schichten: Im Gegensatz zu anderen auf dem Markt erhältlichen Beschichtungsanlagen,



Hochselektiv beschichtetes Absorberrohr

welche mit wesentlich kostenintensiveren klassischen PVD (Physical Vapor Deposition)- oder CVD (Chemical Vapor Deposition)-Verfahren arbeiten, wird kein Vakuum für die Beschichtung benötigt. In der Fertigung von Plattenware ergibt sich beispielsweise lediglich ein Energiebedarf von ca. 0,25 kWh/m². Das Prinzip der Beschichtung baut auf einer Aluminiumoberfläche auf, deren natürliche Oxidschicht in einem elektrochemischen Verfahren verstärkt und nanostrukturiert wird. In einem zweiten Prozessschritt werden dann mittels Wechselstromverfahren metallische Nanopartikel in die bestehende Oxidschicht eingelagert, die durch ihre Wechselwirkung mit Lichtwellen zu einer starken Absorption der einfallenden Strahlung führen. Da die Wellenlänge der absorbierten Strahlung von Größe und Form der Nanopartikel abhängig ist, wurde deren Geometrie so modifiziert, dass ein möglichst großer Anteil der einfallenden solaren Strahlung absorbiert wird. Gleichzeitig ist die Abgabe von Energie in Form von Infrarotstrahlung durch den Schichtaufbau minimal. Die nach diesem galvanischen Verfahren aufgebrachte hochselektive Beschichtung ist rein anorganisch und damit alterungsbeständig. Es findet keine Degradation unter UV-Bestrahlung statt, und die Schichten können bis zu einer Temperatur von 400 °C eingesetzt werden. Die technischen Parameter wie Absorptions- und Emissionswerte sind vergleichbar mit denen der auf dem Markt erhältlichen hochselektiven Beschichtungen.

Dr. Jens Degenhardt, Helmut Lüder, ODB-Tec GmbH & Co. KG, Neuss

Fotos: © König, Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

THERMO-ELEKTRIK

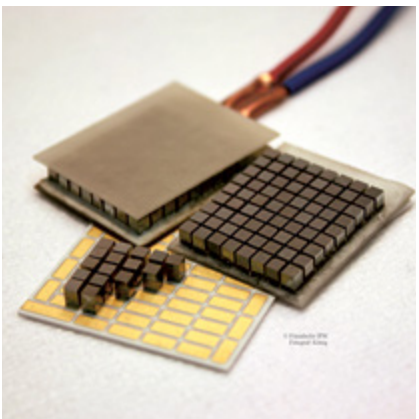
SPRITSPARENDE WÄRMENUTZUNG

Abgaswärme am Kfz liefert 500 Watt elektrische Energie

Seit den 1960er-Jahren werden in thermoelektrischen Generatoren halbleiterbasierte Materialien verwendet. Allerdings war die Umwandlungseffizienz bisher nur gering, weshalb die Thermoelektrik vor allem in Weltraumanwendungen zur Stromversorgung eingesetzt wird – so zum Beispiel bei den Raumsonden Voyager 1 und 2, bei Mondlandungen oder aktuell im Mars-Rover „Curiosity".

Nanostrukturen helfen heute vor allem dabei, die Gitterwärmeleitfähigkeit der verwendeten Materialien zu reduzieren, wodurch die Thermoelektrik jetzt auch für industrielle Anwendungen interessant wird. So gibt es zahlreiche Möglichkeiten der Abwärmenutzung in Automobilen, um Treibstoffverbrauch und schädliche CO_2-Emissionen zu minimieren.

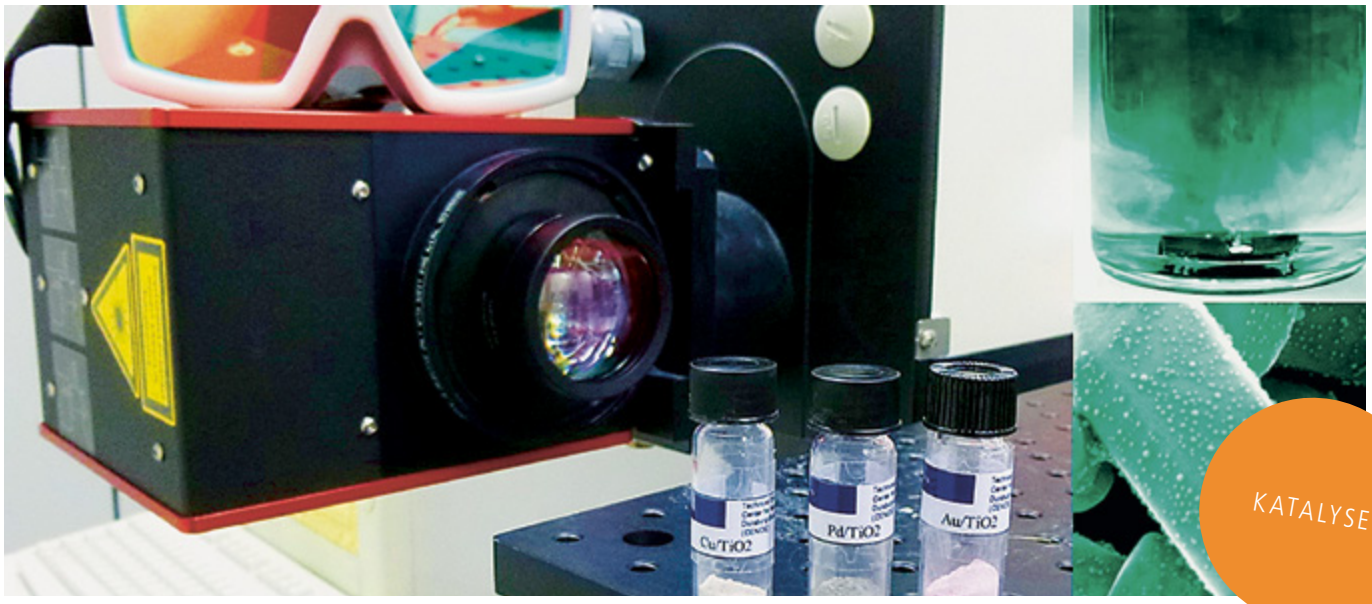
Das Fraunhofer IPM erforscht zu diesen Zwecken nanostrukturierte Materialien und entwickelt damit neuartige thermoelektrische Generatoren und Systeme. Die am Institut aus unterschiedlichsten thermoelektrischen Materialien aufgebauten Energiewandler besitzen Leistungsdichten von über 1 W/cm² bei Heißseitentemperaturen von über 500 °C. Da die elektrischen Kontakte neben der thermoelektrischen Materialqualität zu den wesentlichen Leistungsfaktoren von thermoelektrischen Generatoren zählen, wurden hierzu neue Löt- und Schweißprozesse für die jeweiligen Materialien erforscht. Ein guter Kontakt beinhaltet einen äußerst geringen Kontaktwiderstand, eine gute mechanische und thermische Stabilität sowie eine auch bei hohen Anwendungstemperaturen geringe chemische Reaktivität zwischen dem thermoelektrischen und dem Kontaktmaterial. Für diese Zwecke wurden auf die thermoelektrischen Materialien angepasste Mehrschichtkontaktsysteme entwickelt. Die so aufgebauten thermoelektrischen Generatoren werden speziell für die Anwendungen designt und gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung in die Zielsysteme wie Fahrzeuge integriert.



Thermoelektrische Generatoren aus nanostruktiertem Material mit Wärmetauschereinheit

Gemeinsam mit der Siemens AG, der Robert Bosch GmbH, Valeo, FIAT, TermoGen und ROM Innovation ist es beispielsweise gelungen, in Testversuchen eine elektrische Energie von 500 W aus dem Abgas zu entnehmen. Im »Neuen Europäischen Fahrzyklus« (NEDC) konnte eine Treibstoffeinsparung von 2,2 % und eine Reduzierung der CO_2-Emissionen von 6,7 g/km gemessen werden (EU-FP7 HeatReCar). Im Zyklus »Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure« (WLTP) kam es sogar zu einer Treibstoffersparnis von 3,9 % und einer CO_2-Minderung von 9,6 g/km.

Dr. Jan D. König, Dr. Jana Heuer, Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg



Fotos: © Lehrstuhl für Technische Chemie I der UDE

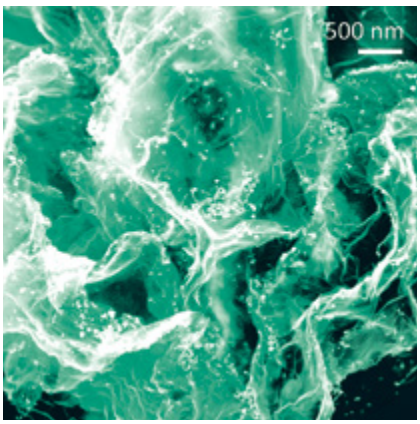
KATALYSE

LASERGENERIERTE KATALYSATOREN

Neue Materialien für energietechnische Anwendungen

Katalysatoren spielen nicht nur in der Stoffumwandlung, sondern auch bei der chemischen Energiespeicherung eine bedeutende Rolle. Zu ihrer Herstellung werden katalytisch aktive Nanopartikel, häufig aus Edelmetallen wie Platin, Palladium oder auch Gold, auf einen Träger aufgebracht. Für diese Nanomaterialien ist Reinheit ein wichtiger Gesichtspunkt, da die katalytische Aktivität in besonderem Ausmaß davon abhängt, ob die Nanopartikeloberfläche zugänglich und reaktiv ist. Nach konventionellen, nasschemischen Synthesemethoden ist diese Oberfläche jedoch häufig durch Hilfs- und Stabilisierungsreagenzien, die Liganden, bedeckt und dadurch desaktiviert. Die Aktivierung muss oft nachträglich durch Reinigungs- oder Kalzinierungsprozesse erfolgen.

Ein alternativer Ansatz zur Herstellung von heterogenen Katalysatoren wird in der BMBF-geförderten Nachwuchsgruppe von Dr. Philipp Wagener am NanoEnergieTechnikZentrum (NETZ) in Duisburg verfolgt. Dazu wird ein Metallsubstrat im flüssigen Medium mit einem gepulsten Laserstrahl abgetragen. Die freigesetzten Nanopartikel werden von der



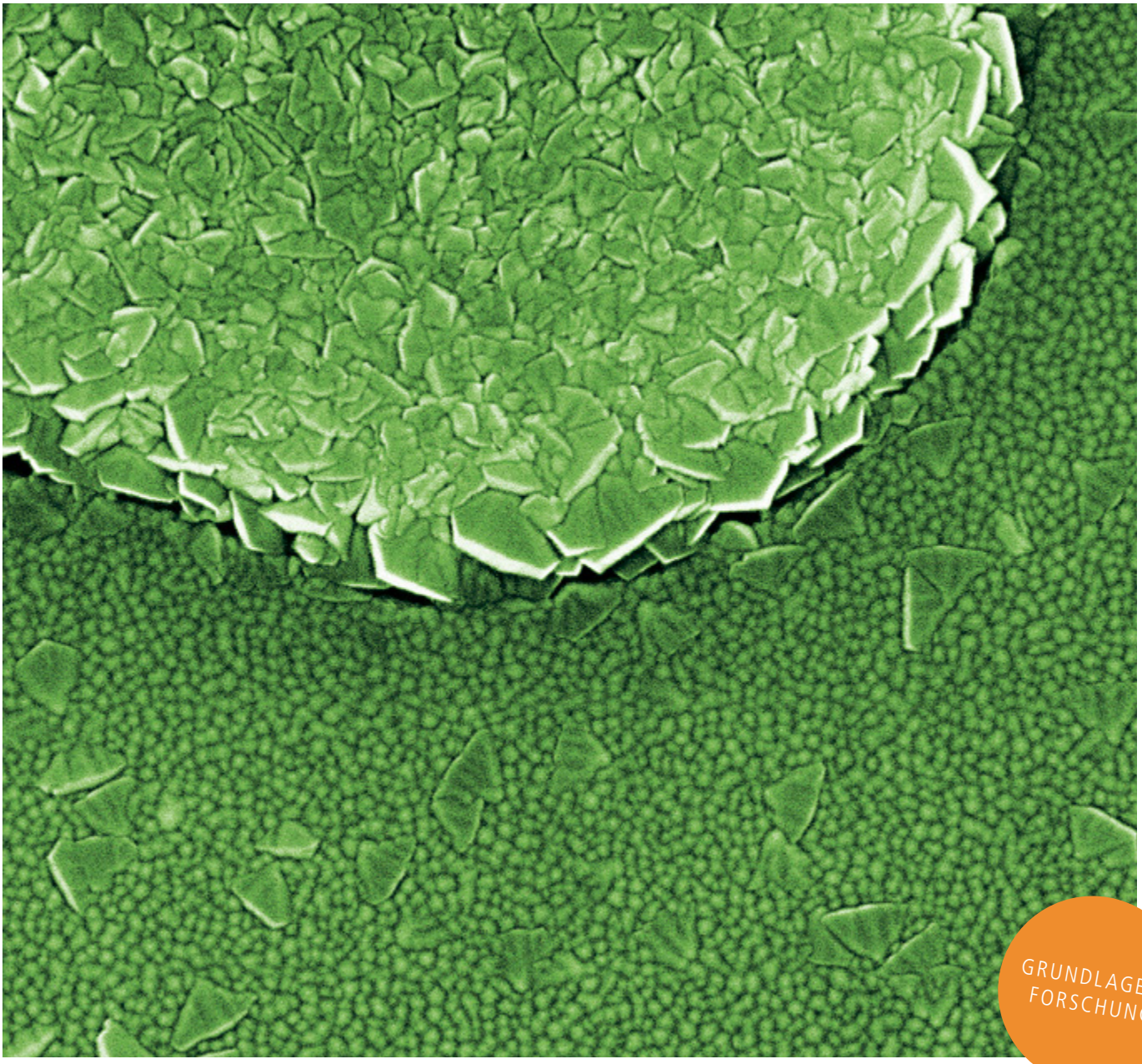
Elektronenmikroskopische Aufnahme von lasergenerierten Goldnanopartikeln auf Graphen

Trägerflüssigkeit stabilisiert, vor Agglomeration geschützt und sind optimal zur Weiterverarbeitung vorbereitet. Diese rein physikalisch hergestellten Kolloide sind frei von Kontaminationen durch nicht umgesetzte Edukte, und es kann vielfach auf potenziell toxische und desaktivierende Stabilisatoren verzichtet werden.

Zur Herstellung heterogener Katalysatoren werden die lasergenerierten Nanopartikel durch einen einfachen Adsorptionsprozess auf das Trägermaterial (z. B. TiO_2, Graphen) aufgebracht. Die Abwesenheit einer Ligandenschicht wirkt sich positiv auf die Affinität der Nanopartikel zur Trägeroberfläche aus. Bisherige Untersuchungen zeigten, dass die Nanopartikeladhäsion direkt von der Ligandenbedeckung abhängt, durch derartige Reststoffe förmlich blockiert wird und bei komplett ligandenfreien Nanopartikeln um bis zu eine Größenordnung erhöht ist. Die so hergestellten heterogenen Katalysatoren werden in Modellreaktionen der chemischen Energiespeichertechnik (z. B. für die photokatalytische Wasserspaltung zur nachhaltigen H^2-Synthese) anschließend auf ihre Aktivität getestet.

Ein großer Vorteil des Laserprozesses liegt in seiner Flexibilität: Neben verschiedenen Trägermaterialien kann eine breite Auswahl an (Legierungs-)Nanopartikeln hergestellt werden, die sich durch die entsprechende Wahl des Ablationstargets festlegen lassen.

Dr. Philipp Wagener,
Lehrstuhl für Technische Chemie I,
Universität Duisburg-Essen



Fotos: © Stefan Hampl, IMN MacroNano®, TU Ilmenau/IMMS GmbH, Ilmenau
© *Obere Fotos: pixelio: links: Petra Bork, rechts: Klaas Hartz*

GRUNDLAGEN-FORSCHUNG

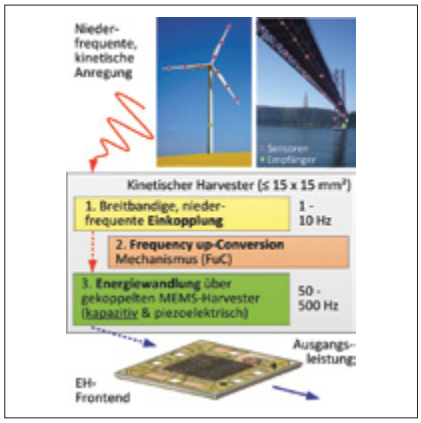
GREENSENSE

Technologien für ressourcen- und energieeffiziente, intelligente Sensornetzwerke

Drahtlose Smart-Sensor-Netzwerke (Wireless Sensor Networks – WSN) sollen in Zukunft die kontinuierliche Messung von Prozessparametern in industriellen Produktions-, Transport- und Betriebsabläufen ökonomischer gestalten. Ermöglicht wird dies durch die Entwicklung neuartiger Energieversorgungsoptionen. Indem Prozesse mittels umfassender Überwachung aller Einflussgrößen effizienter geregelt werden, bieten sich vielfältige Potenziale zur Einsparung von Energie und Ressourcen. Ziel des Projekts GreenSense ist die Erforschung und Entwicklung einer kostengünstigen, modularen Technologieplattform. Diese soll dem effizienten Aufbau und Betrieb komplexer, engmaschiger WSN energieautarker Mehrgrößen-Sensorknoten mit eingebetteter elektronischer Signalverarbeitung dienen. Neben Untersuchungen zur energetischen Modellierung und Optimierung auf Systemebene, dem Entwurf und Test von Ultra-Low-Power-CMOS-Sensoren (z. B. Temperatur-, pH-Wert- und Lichtsensor) umfassen die Arbeiten insbesondere die Entwicklung integrierter Energy-Harvesting-Lösungen zur effektiven Gewinnung, Aufbereitung und Speicherung von Kleinstenergiemengen.

Die Nanotechnologie kann dabei neue Wege für Energieanwendungen auf Mikroebene eröffnen, z. B. in Form nanokristalliner, piezoelektrischer Dünnschichten.

Neben einem Lösungsansatz der Energie- und Datenübertragung per RFID für extrem miniaturisierte Einweg-Multisensoren im Bereich der Bioanalytik wird mit mikromechanischen Energiewandlern ein mikrotechnischer Ansatz zur Versorgung energieautarker Sensorknoten verfolgt. Insbesondere an schwer zugänglichen, bauraumbeschränkten Betriebsorten ohne Temperaturgradienten, Lichteinfall oder die Möglichkeit einer Nahfeldversorgung sollen Kleinstmengen ambienter, kinetischer Energie umgesetzt werden. Im Fokus stehen verschiedene Anwendungsszenarien, wie die Überwachung von Brücken und Windkrafträdern oder Systemen im Automotive-Bereich. Dort lassen sich niederfrequente Anregungen im einstelligen Hz-Bereich durch ein breitbandig sensitives Wandlerprinzip ausnutzen. Erfassbare Kenngrößen sind oftmals Vibrationen, Beschleunigungen, mechanische Belastung, Neigung und Temperatur. Zu nutzende ambiente Vibrationen stellen zeitlich veränderliche, niederfrequente Anregungen dar.



Schema zur kinetischen Energiegewinnung

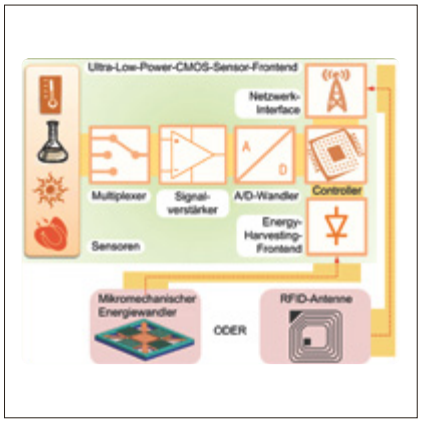
Mikrosystemtechnisch gefertigte Oszillatoren besitzen skalierungsbedingt in diesem Kontext zu hohe Eigenfrequenzen. Dies unterbindet ihre effiziente, direkte Beschleunigungsanregung. Stattdessen soll die äußere Vibrationseinkopplung in eine mesoskopische, niederfrequente Arbeitsmasse erfolgen. Diese erregt, als Teil eines Frequenzumwandlungsmechanismus', mittels temporärer Kraft- oder Wegkopplung, die höherfrequent schwingende, mikroskalige Wandlermasse. In diesem Mikro-Energy-Harvester erfolgt die strukturelle und elektronische Verbindung eines kapazitiven Konzepts in klassischer Silizium-Mikromechanik mit einem piezoelektrischen Wandlerkonzept, das nanokristalline Dünnschichten nutzt.

Den kapazitiven Wandleranteil bilden per Silizium-Tiefenätzen erzeugte Kammstrukturen in Form vertikaler Flächenschwinger. Diese bieten bei beschränkter Chipfläche (Gesamtsystem ≤ 15 x 15 mm²) bei voller Elektrodenüberdeckung hohe Kapazitäten im dreistelligen pF-Bereich. Weiterhin liegen auslenkungsabhängig große Kapazitätshübe vor ($ac = C_{max}/C_{min} \geq 4$). Mikrofedern aus einkristallinem Silizium erlauben eine weiche und zugleich ausreichend quersteife Vertikalführung ($C_{lateral} > 100*c_z$) von freibeweglicher Oszillatormasse und

»DIE NANOTECHNOLOGIE KANN NEUE WEGE FÜR ENERGIEANWENDUNGEN AUF MIKROEBENE ERÖFFNEN«

ihrer Elektroden mit Auslenkungsamplituden u_z von bis zu 100 µm bei moderater Materialbeanspruchung. Als neuartiges Führungselement kann eine technologische Integration der piezoelektrischen Wandlerkomponente in Form monomorpher Komposit-Federn aus Piezo-Dünnschicht und Silizium erfolgen. Das ermöglicht eine gesteigerte Energiegewinnung sowie die autarke Grundaufladung des kapazitiven Anteils durch Ladungsträgergeneration.

Dünnschichten aus reaktiv gesputtertem Aluminiumnitrid einiger hundert nm Dicke zeigen eine orientierte Wurtzit-Textur von Kristalliten weniger Nanometer Durchmesser. Das Material ist



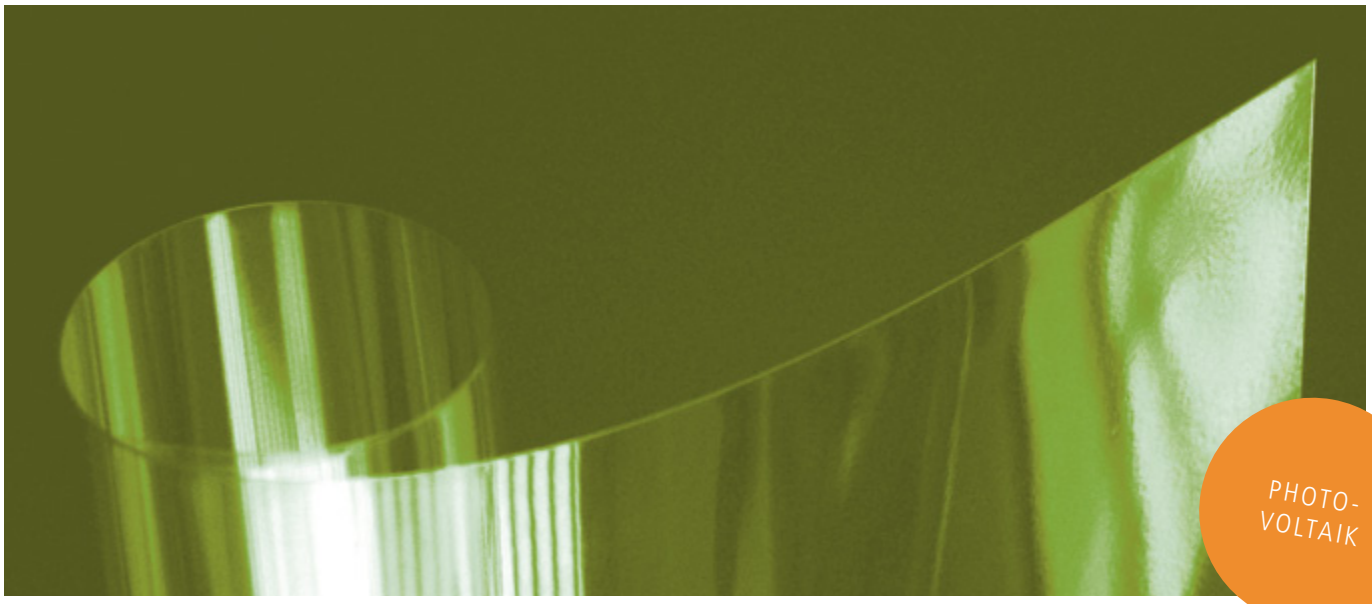
Versorgungsoptionen des energieautarken, multimodalen Mikrosensors

kompatibel zur Halbleitertechnologie, besitzt exzellente mechanische Eigenschaften und hat texturabhängig auf unterschiedlichen Substraten oder Elektroden einen signifikanten Piezokoeffizienten von ca. 5,6 pm/V (d_{33}). Zudem entfällt eine nachträgliche Polarisierung. Über ein elektronisches Harvester-Frontend soll z. B. einem Sensor eine kontinuierliche Ausgangsleistung von 10 µW bereitgestellt werden. In Zukunft soll ein mehrlagiger kapazitiv-piezoelektrischer Wandler auf SOI-Basis realisiert werden, der neben piezoelektrischen Federn zwei elektrisch isolierte Statorebenen aufweist. Diese bilden gegenüber dem vertikal durchkämmenden Oszillator zwei um 180° phasenversetzte, veränderliche Kapazitäten. Neben einer Erhöhung der Leistungsdichte ermöglicht dieser Ansatz eine anregungsabhängige Verschaltung zur optimalen Energiewandlung.

Die Arbeiten werden vom Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert (FKZ: 2011 FGR 0121).

Dr. Eckhard Hennig, Bianca Leistritz, IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau

Prof. Dr. Martin Hoffmann, Stefan Hampl, IMN MacroNano®, Technische Universität Ilmenau



Fotos: © rent a scientist GmbH

PHOTO-VOLTAIK

SILBERNANODRÄHTE FÜR DIE SERIE

Hoch leitfähige Oberflächen für Solarzellen und IR-Reflexion

Das Edelmetall Silber nutzt der Mensch seit ca. 5.000 Jahren zur Herstellung von Schmuck, Münzen und Gebrauchsgegenständen. Seine enorme elektrische Leitfähigkeit nutzen wir allerdings erst seit gut 100 Jahren. Die über das patentierte Verfahren der rent a scientist GmbH auf nasschemische Weise hergestellten Silbernanodrähte machen sich diese Eigenschaft in besonderem Maße zunutze.

Die hervorragende Leitfähigkeit von Silber ermöglicht das Erreichen einer notwendigen, definierten Leitfähigkeit mit dem geringstmöglichen Materialeinsatz bzw. Füllgrad des elektrischen Leiters. Mithilfe von Nanodrähten entstehen feinste, leitfähige, perkolierende Netzwerke auf einer Oberfläche oder in einer Materialmatrix. Der Materialeinsatz von Silber wird so nochmals deutlich reduziert. Damit lassen sich beispielsweise hoch leitfähige, transparente Oberflächen herstellen, die unter anderem bei der Herstellung von Solarzellen benötigt werden.

Die neu entwickelte Silbernanodrahttechnologie stößt bei Forschungseinrichtungen in Deutschland und Spanien sowie bei

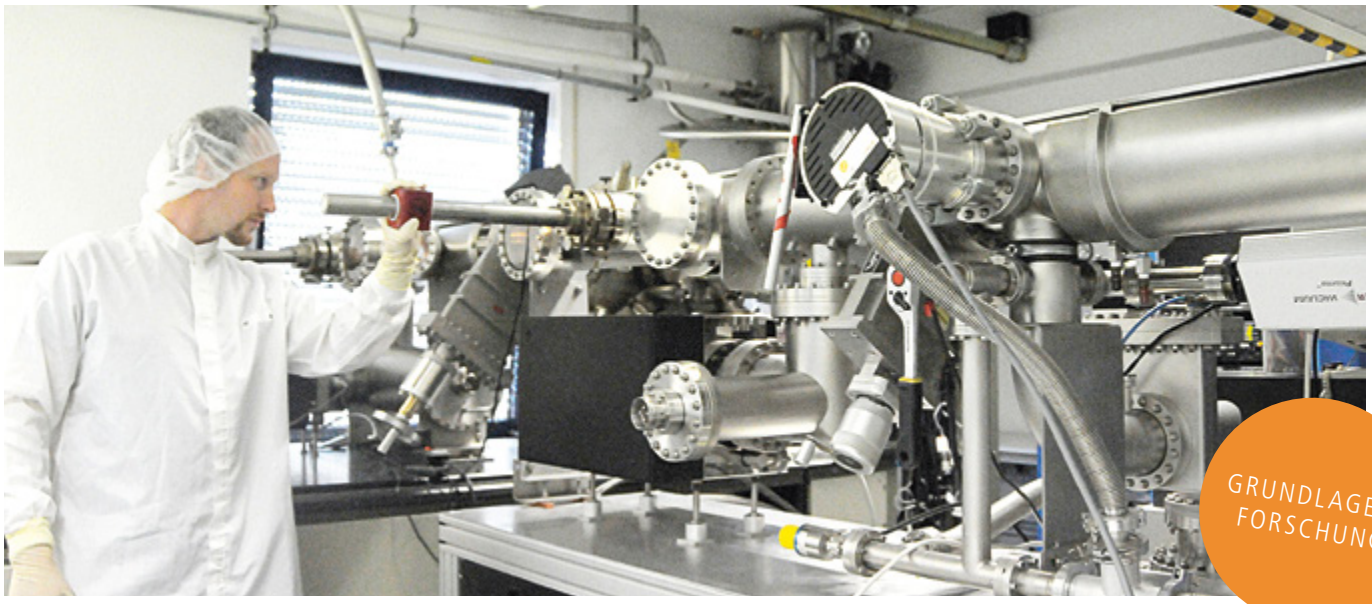
Rasterelektronenmikroskopaufnahme eines perkolierenden Netzwerks von Silbernanodrähten

Unternehmen in verschiedenen europäischen Ländern auf großes Interesse. So will ein internationales Konsortium flüssig prozessierte, hochleistungsfähige, organische Photovoltaikzellen mit Silbernanodrähten entwickeln, in denen transparente Elektroden ein Herzstück der Neuentwicklung darstellen.

Sogenannte low-E-Schichten sind eine weitere Anwendungsmöglichkeit für Silbernanodrähte. Denn Oberflächen, die den Strom gut leiten, sind auch hervorragende Wärmereflektoren, können sie doch die feinen Ladungsunterschiede der Infrarotwellen sofort ausgleichen. Nun bauen unsere Forscher gemeinsam mit dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) das ZIM-Kooperationsnetzwerk „low-E“ auf. In das Netzwerk sind neben Forschungseinrichtungen auch Bauunternehmen, Beschichtungshersteller und Hersteller von technischen Textilien integriert.

Über eine Kooperation mit Heraeus für die Herstellung und den Vertrieb der Silbernanodrähte im Lizenzverfahren wird die schnelle Markteinführung der Technologie vorangetrieben. Während Heraeus die Verfügbarkeit der Materialien sicherstellt, leistet unsere Gesellschaft weiterhin anwendungsorientierte Entwicklungsarbeit. Dabei wird bei Materialien wie Technologien Wert auf die großtechnische Verfügbarkeit, die Bezahlbarkeit und damit die Möglichkeit zur Serienproduktion gelegt.

Adi Parzl, rent a scientist GmbH, Regensburg



Fotos: © nanoplus

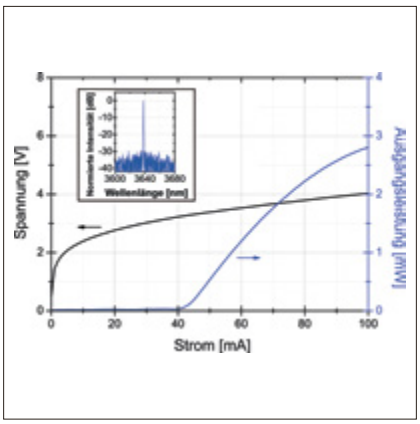
GRUNDLAGEN-FORSCHUNG

MOBILE INTERBAND-KASKADENLASER

Höhere Effizienz bei monomodigen Laserquellen im Bereich von 3-6 µm

Im Wellenlängenbereich unter 3 µm ist die Spektroskopie mit klassischen Diodenlasern längst etabliert und liefert Detektionsgenauigkeiten bis in den parts-per-billion (ppb)-Bereich, in dem bereits ein Molekül unter einer Milliarde Fremdmolekülen quantitativ detektiert werden kann. Viele industrielle Gase (z. B. HCl, CH_2O, H_2O) und Klimagase (CO_2, CH_4, NO etc.) haben im mittleren Infrarotbereich von 3 µm bis 6 µm starke Absorptionsbanden, die noch genauere Messungen ermöglichen würden. Als einziges Halbleitermaterialsystem waren bisher allerdings nur Quantenkaskadenlaser (engl. QCL) für diesen Wellenlängenbereich verfügbar. Doch diese brachten wegen ihrer hohen Leistungsaufnahme hohe Kosten und starke Einschränkungen in batteriebetriebenen Geräten mit sich.

Anfang 2013 hat die nanoplus GmbH Halbleiterlaser vorgestellt, die im Wellenlängenbereich von 3 bis 6 µm im monomodigen Betrieb arbeiten – eine Weltpremiere. Es handelt sich ebenfalls um Kaskadenlaser, die allerdings zur Lichterzeugung mehrere Kaskadenübergänge zwischen Leitungs- und Valenzband im Halbleiter nutzen.

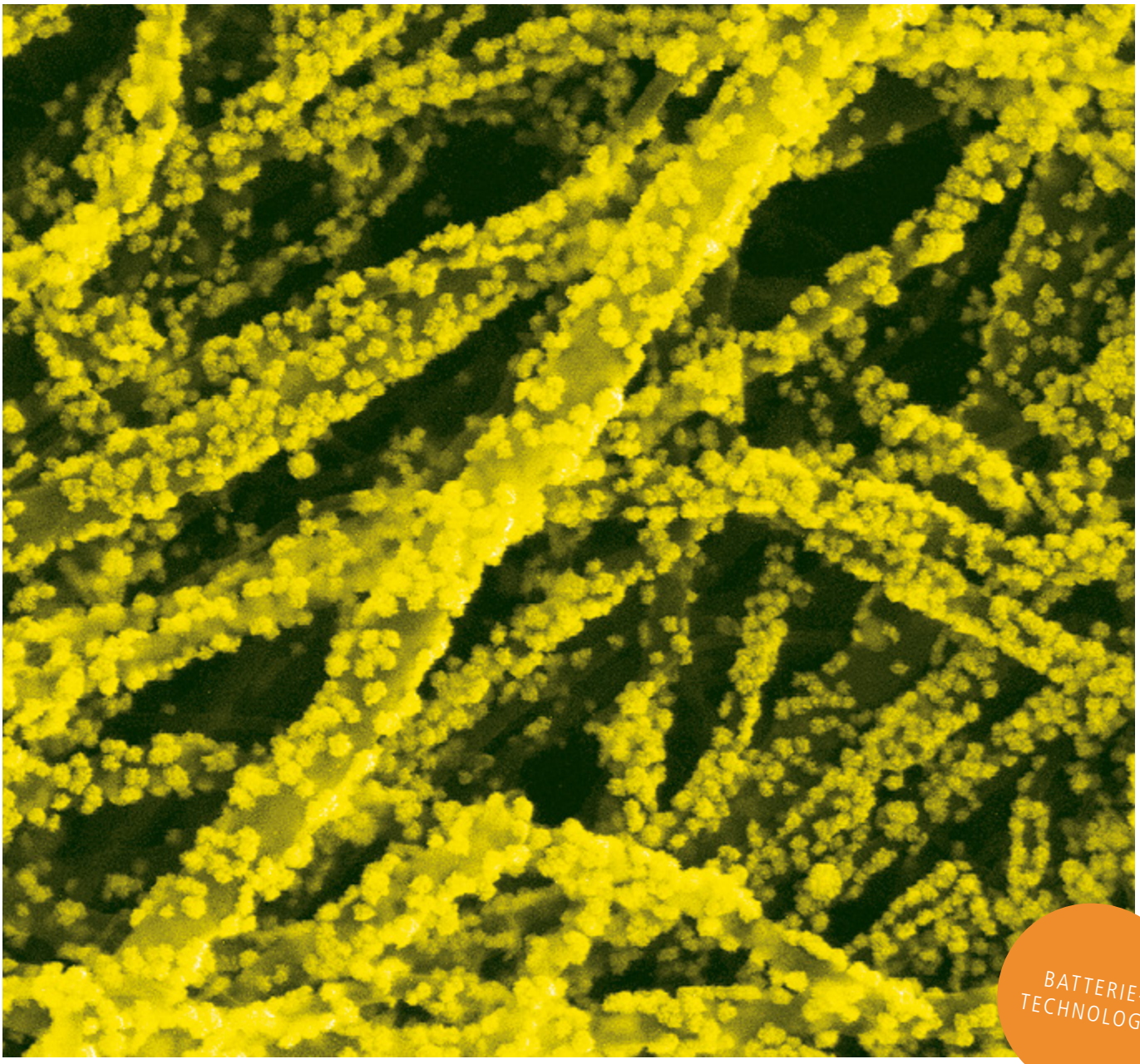


Typische Leistungs-Strom und Spannungs-Strom Kennlinie eines DFB-Interbandkaskadenlasers in CW Betrieb bei einer Chip-Temperatur von 25 °C.
Links oben: Typisches Spektrum monomodiger Laser.

Sie werden daher Interband-Kaskadenlaser (engl. ICL) genannt. Die ICL-Technologie wurde innerhalb eines europäischen Forschungsvorhabens (www.senshy.eu), insbesondere in Kooperation mit der Universität Würzburg, entwickelt und von der nanoplus GmbH zur Serienreife geführt. Zur Herstellung sind modernste Halbleitertechnologieverfahren wie Molekularstrahlepitaxie, Elektronenstrahllithographie und präzise Oberflächenmetallisierungen und -vergütungen nötig.

Durch die gezielte Einstellung der Energieniveaus von Leitungs- und Valenzbändern lassen sich Laser bei jeder beliebigen Wellenlänge im genannten Spektralbereich erzeugen. Die Laserdioden, die nach dem Prinzip der verteilten Rückkopplung (engl. distributed feedback) arbeiten, werden auch DFB-Laser genannt. Durch lithografische Verfahren wird ein DFB-Gitter strukturiert und somit eine einzige Wellenlänge selektiert, sodass der fertige Laser eine Seitenmodenunterdrückung von mehr als 40 dB bei einer spektralen Linienbreite von einigen MHz erreicht. Gleichzeitig lassen sich der cw-Betrieb (cw = continous wave) bei Raumtemperatur und eine verglichen mit QCLs sehr geringe Leistungsaufnahme realisieren. Deshalb eignet sich die Sensorikeinheit auch für den Bau von tragbaren, batteriebetriebenen Sensorgeräten. Die neue Mobilität und die Möglichkeit, durch die größere Wellenlänge nun zahlreiche, bisher nicht optisch spektroskopierbare Gase zugänglich zu machen, sind ein enormer Fortschritt bei Halbleiterlasern.

Andreas Heger, nanoplus Nanosystems and Technologies GmbH, Gerbrunn



Fotos: © CAN GmbH

BATTERIE-TECHNOLOGIE

NANOSTRUKTURIERTE ELEKTRODEN

Hierarchisch-nanoskaliges Kompositmaterial für PEM-Brennstoffe

Der hohe Preis von Platin steht immer noch einer weiteren Kommerzialisierung von Brennstoffzellen entgegen. Im Rahmen eines europäischen Förderprojekts (Europäischer Fond für regionale Entwicklung, EFRE) hat die Hamburger CAN GmbH ein verbessertes Katalysatorsystem auf Kompositbasis entwickelt, bei dem substratgebundene Kohlenstoffnanoröhren als Gerüst für das nanopartikuläre Katalysatormaterial dienen (Abb. 1). Katalysatormaterial wird heutzutage zur Verbesserung des Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnisses üblicherweise in Form von Nanopartikeln eingesetzt. In Brennstoffzellen kommt für diese Nanopartikel meist amorpher Kohlenstoff (Carbon Black) als Trägermaterial zur Anwendung. Nachteilig dabei ist jedoch, dass sich die kleinen Partikel in den dort vorhandenen Poren einlagern und dadurch die Diffusion der Reaktanden zu den katalytischen Zentren erschwert oder unterbunden wird. Ein weiteres Problem ist die auftretende Korrosion des Trägermaterials Carbon Black bei Betreiben der Brennstoffzelle. Zusätzlich tendieren die Nanopartikel durch das unkontrollierte Aufbringen auf Carbon Black zur Agglomeration, was zu einer Verminderung der zugänglichen aktiven

Oberfläche führt. Vor diesem Hintergrund hat die CAN GmbH ein hierarchisch-nanostrukturiertes System entwickelt, in dem die Eigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren (carbon nano tube: CNT) als Trägermaterial mit denen von Nanopartikeln (NP) als Katalysator kombiniert werden.

Wie in der Literatur beschrieben, werden bereits vielversprechende Ansätze für den Einsatz von CNTs in Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen (PEM) verfolgt: Die CNTs werden entweder ungerichtet aus einer Dispersion oder als Pulver auf die Membran gepresst, direkt auf der Gasdiffusionsschicht gewachsen oder als gerichtete Struktur auf die Membran übertragen.

Den Kern der von uns entwickelten Architektur bilden gerichtete, substratgebundene CNTs, die durch ihre hohe elektrische Leitfähigkeit sowie ihre chemische und thermische Stabilität ein gut geeignetes Trägermaterial für Katalysatoren darstellen (Abb. 1a). Die offene Gerüststruktur, in der die CNTs hergestellt wurden, gewährleistet die Diffusion der Reaktanden und die Verfügbarkeit der Katalysatorpartikel. Durch die direkte Anbindung der Kohlenstoffnanoröhren an ein leitendes Substrat wird außerdem eine widerstandsarme Elektronenableitung gewährleistet. Das Wachstum mehrwandiger Kohlenstoffnanoröhren (MWCNTs) auf leitenden Substraten wurde in einem stationären Reaktor zur chemischen Gasphasenabscheidung (Chemical Vapor Deposition, CVD) durchgeführt. Über diese Synthese werden ausschließlich

»DEN KERN [...] BILDEN GERICHTETE, SUBSTRATGEBUNDENE CNTS«

gerichtete Strukturen kristalliner MWCNTs mit hoher Qualität gewachsen (Abb. 1b). Die verwendeten Nanopartikelsysteme wurden auf Basis unserer Nanopartikelexpertise nasschemisch hergestellt. Hierbei handelt es sich um Pt-basierte (legierte) NP sowie Pt@Au-Heterostrukturen. Weiterhin gelang es, eine universelle Methode zu entwickeln, mit der Nanopartikel aus einer Dispersion heraus ohne Funktionalisierung der Kohlenstoffnanoröhren an diese gebunden werden können. Mit diesem Verfahren

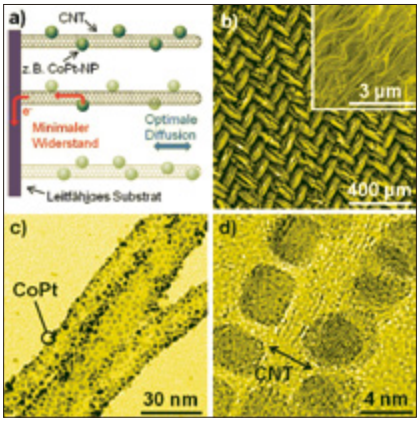


Abb.1: Schema der Nanoarchitektur (a), gerichtete CNTs auf Gitter (b), Anbindung von NP an CNTs (c), direkter Kontakt zwischen NP und CNTs (d).

wird zudem eine hohe Belegung der Kohlenstoffnanoröhren mit Nanopartikeln erreicht (Abb. 1c, 1d). Die sp^2-Struktur der Kohlenstoffnanoröhren bleibt bei der Funktionalisierung mit Nanopartikeln vollständig erhalten. Für die Anbindung der NP an die CNT wird eine auf Ladungstransfer und van-der-Waals-Kräfte beruhende Wechselwirkung vermutet. In Laborversuchen zur katalytischen Aktivität konnten wir bereits erhöhte Ströme durch die Verwendung dieser Kompositsysteme nachweisen. Diese lassen verbesserte katalytische Eigenschaften für den Gebrauch in PEM erwarten. Zusätzlich sollte die gerichtete Struktur aus CNTs in einer Brennstoffzelle die Verteilung und Diffusion der Reaktanden deutlich verbessern. Ein weiterer Erfolg der aufgezeigten Entwicklungsarbeit ist die in-situ-Synthese von Pt@Au-Heterostrukturen direkt auf substratgebundenen Kohlenstoffnanoröhren. Bei dieser Synthese werden kleine Pt-Nanopartikel direkt auf Au-Nanopartikeln gebildet (Abb. 2). Au-Pt-Heterostrukturen zeigen laut Literatur verbesserte katalytische Eigenschaften und erhöhte Stabilitäten im Vergleich zu reinen Pt-Katalysatoren. Innerhalb der vorliegenden Arbeiten wurde daher eine Strategie unter Verwendung von Au-NP als Keime verfolgt, an denen in einem zweiten Verfahrensschritt Pt-Kationen spezifisch reduziert wurden. So gelang es, eine in der Durchführung sehr einfache Herstellungsroute für Pt@Au-NP-Heterostrukturen direkt auf substratgebundenen CNTs mit einer sehr hohen und einstellbaren Belegung an Pt-NP zu entwickeln. Das Resultat waren sehr kleine Pt-NP auf Au-NP mit einer sehr großen katalytisch aktiven, zugänglichen Oberfläche. In den REM-Aufnahmen der mit Pt@Au-NP versehenen substratgebundenen CNTs ist zu erkennen, dass sich ausschließlich einzelne NP an den CNTs befinden und keine Bildung von Agglomeraten auf dem Substrat stattfand (Abb. 2b). Es konnte zudem gezeigt werden, dass diese Strukturen verbesserte katalytische Aktivitäten im Vergleich zu reinen Platin-(Pt)-Nanopartikeln haben. Ausgehend von diesen Strukturen bieten sich nun drei verschiedene Ansätze zur Integration der CNT-NP-Komposite in PEM-Brennstoffzellen an, die innerhalb der CAN GmbH weiter betrachtet werden: Die CNT können ungerichtet aus einer Dispersion oder als Pulver auf die Membran gepresst, direkt auf der Gasdiffusionsschicht

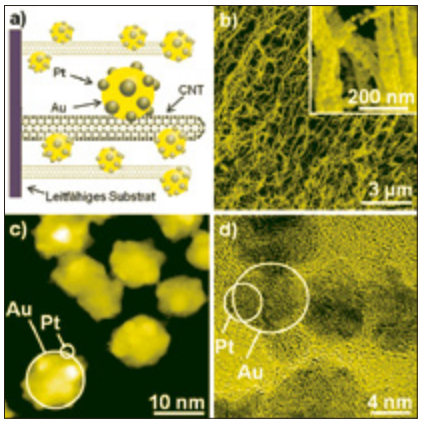
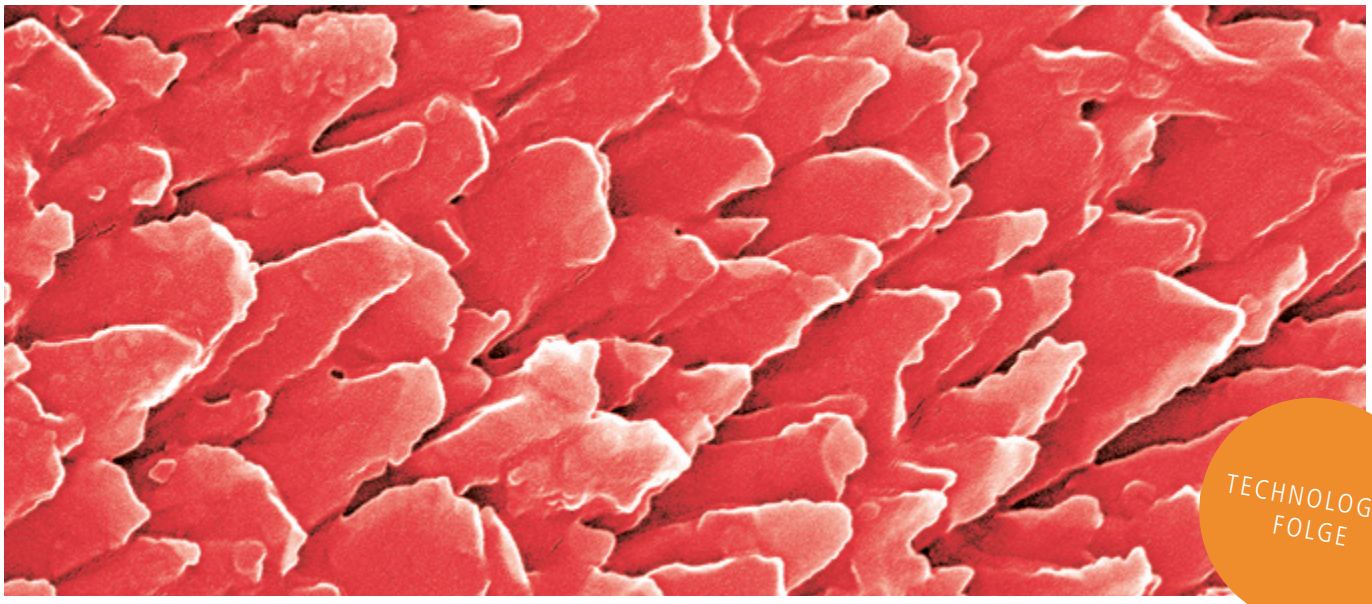


Abb.2: Schema der Pt@Au-CNT-Heterostrukturen (a), REM-Aufnahmen der Pt@Au-Heterostrukturen (b) sowie einzelner Pt-NP auf Au-NP (c, d).

wachsen gelassen oder als gerichtete Struktur auf die Membran übertragen werden. Zurzeit erfolgt die Bewertung der hergestellten Materialien unter realen Bedingungen in Testaufbauten für Brennstoffzellen. In Erweiterung des hier vorgestellten Projektinhaltes sollen außerdem Oxid- und Oxinitrid-Substrate für die Beschichtung mit katalytisch aktiven Nanopartikeln und ihr Einsatz in Brennstoffzellen untersucht werden. Die bisher erzielten Ergebnisse wurden mit dem 1. Platz des F-Cell Award der Kategorie Science ausgezeichnet.

Dr. Christoph Gimmler, CAN GmbH, Hamburg



Fotos: © Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V., IUTA

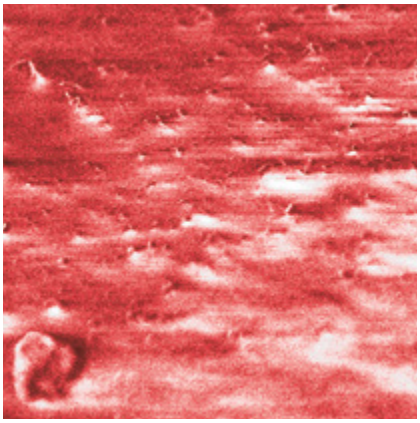
TECHNOLOGIE-FOLGE

AUF DIE OBERFLÄCHE KOMMT ES AN

Forschung zur Freisetzung und Wirkung von Nanopartikeln

Nanotechnologie birgt immenses Potenzial für den technischen Fortschritt, ist aber auch schon heute Inhalt alltäglicher Produkte (z. B. Textilien). Aber wie steht es um das Wissen über die Biokompatibilität von Nanomaterialien? Der sichere Umgang mit nanostrukturierten Materialien ist ein Thema, das die Forschung stets begleiten muss. Daraus ergibt sich die grundsätzliche Frage: Wann und wie können Nanomaterialien in die Umwelt gelangen und welchen Einfluss haben sie möglicherweise auf unseren Körper?

Das Verbundprojekt „Nanostrukturierte Materialien – Gesundheit, Exposition und Materialeigenschaften“ (nanoGEM) hat sich dieser Thematik in dreijähriger Arbeit angenommen und die Ergebnisse am 12. und 13. Juni im Bundesinstitut für Risikobewertung offiziell vorgestellt. Dabei wurden zwei wesentliche Erkenntnisse deutlich herausgestellt. Erstens: Die spezifischen Wirkungen von Nanomaterialien werden nicht nur durch ihre Größe, sondern ebenfalls durch die Gestaltung ihrer Oberfläche determiniert. Und zweitens: „Nano“ bedeutet demzufolge nicht automatisch toxisch.



Auch nach dem Schreddern sind die CNTs noch in größere Partikel eingebunden.

Ob ein Material eine gesundheitsschädliche Wirkung hat oder nicht, ist also mehreren Faktoren geschuldet. Um diese relevanten Eigenschaften zu identifizieren und zu klassifizieren, hat das Projekt nanoGEM wichtige Grundlagen erarbeitet, die eine deutlich vereinfachte Gruppierung und Risikobewertung von Nanomaterialien ermöglichen. Diese Kriterien können in Zukunft auch bei der Entwicklung neuer Materialien angewendet werden, um deren Einsatz sicherer zu gestalten.

In umfassenden toxikologischen Untersuchungen wurden insgesamt 16 verschiedene Nanopartikel untersucht und geprüft, was mit den Partikeln passiert, wenn sie inhaliert oder verschluckt werden und wie sie sich im Körper verteilen bzw. verhalten. Bei oraler Verabreichung zeigte sich in den Testreihen kein signifikanter toxischer Effekt. Wurden die Partikel eingeatmet oder direkt auf Zellen aufgebracht, stand die Wirkung in starker Abhängigkeit zur spezifischen Partikeloberfläche. Ein weiterer zentraler Punkt der Forschung war die Frage, ob die in Nanokompositmaterialien enthaltenen Nanopartikel überhaupt freigesetzt werden. Denn nur so können sie vom Menschen aufgenommen werden. Anhand von Schleif- und Verwitterungsuntersuchungen zeigte sich, dass die Partikel fast ausschließlich im Kunststoff gebunden freigesetzt wurden und keine spezifische Toxizität nachweisbar war.

PD Dr. rer. nat. habil. Thomas Kuhlbusch
Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V., IUTA

08.–09. AUGUST 2013

YOKOHAMA, JAPAN
ICMEE '13 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE

Die zweite internationale Conference on Advanced Materials, Energy and Environments ist interdisziplinär und deckt ein breites Themenspektrum ab. Forscher präsentieren ihre aktuellen Themen aus den Bereichen Nanotechnologien, Nano- und Bionanomaterialien, Solarzellen, Komposit- und elektronische Materialien sowie Polymere. Energiethemen stehen dabei im Fokus.
www.thinfilmtechno.net

12.–14. AUGUST 2013

QUEBEC CITY, KANADA
ICANM 2013 – ADVANCED & NANOMATERIALS

Die internationale Konferenz als jährliche Tagung der International Thermoelectric Society findet wechselnd auf dem amerikanischen, europäischen und asiatischen Kontinent statt. Im Kobe International Conference Center öffnet die 32. Konferenz für Thermoelektrik diesmal wieder auf japanischem Boden. Der Fokus liegt auf den Themen „Energieeinsparung“ und „Energieerzeugung durch Thermoelektrik“.
http://iaemm.com/ICANM2013

12.–16. AUGUST 2013

LONDON, KANADA
INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANOMATERIALS

Auf dem Gelände der Western University der Stadt London findet die ICN statt. Über 40 Vorträge werden erwartet. Ein Hauptaugenmerk liegt auf der zukünftigen Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und Ingenieuren in den Bereichen Wärmeleitung durch Nanopartikel, superleitfähige Partikel, elektronische und optische Aspekte sowie graphitbasierende Strukturen.
http://icn2013.uwo.ca

03.–06. SEPTEMBER 2013

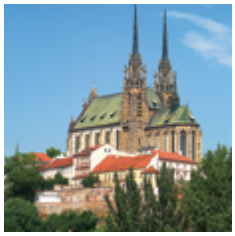
LIBEREC, TSCHECHIEN
INTERNATIONAL NANOPARTICLES CONFERENCE 2013

Im Konferenzzentrum der Stadt Liberec findet die erste Internationale Nanopartikel-Konferenz statt, die in Kooperation mit der ortsansässigen Technischen Universität Liberec abgehalten wird. Das Themenspektrum deckt beispielsweise Synthese und Produktion, Zusammensetzung, Materialtechnologie, Anwendungsmöglichkeiten und Charakterisierung von Nanopartikeln ab.
http://www.nanoparticlesconference.com

16.–21. SEPTEMBER 2013

ALUSHTA, UKRAINE
NANOMATERIALS: CONFERENCE 2013

Auf dieser internationalen Konferenz an der Südküste der Krim widmen sich Forscher aus 45 Ländern aktuellen Problemstellungen der modernen Materialforschung, wie zum Beispiel der Produktion von Nanomaterialien. Ebenso stehen die Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Nanomaterialien in den Bereichen Hi-Tech Industrie, Biologie und Medizin im diesjährigen Fokus.
http://nap.sumdu.edu.ua



16.–18. OKTOBER 2013

BRNO, TSCHECHIEN
NANOCON 2013 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE

In Brno, der zweitgrößten Stadt Tschechiens, findet die fünfte internationale Konferenz über Nanotechnologien statt. Die Themen reichen von synthetischen Aspekten über industrielle, biologische oder medizinische Anwendungsgebiete bis hin zur Klassifizierung und den Folgen für die Umwelt. Der Normung und Charakterisierung von Nanomaterialien ist eine eigene Session gewidmet.
http://www.nanocon.eu/en/

Fotos: © shutterstock (2) © istockphoto (3) © Xcommun (1) © Aleksandrit (1)

CENIDE

Die Dimension des milliardstel Meters ist so unvorstellbar klein, dass in ihr andere physikalische Gesetze herrschen als in der uns vertrauten Welt – Gold in der Nanodimension ist rot, Eisennanopartikel sind so reaktiv, dass sie sich selbst entzünden. Dies sind nur zwei Beispiele von vielen. Deshalb bietet die Nanotechnologie die Möglichkeit, in vermeintlich lange bekannten Materialien neue Eigenschaften zu entdecken und diese zu nutzen. Die Einsatzbereiche der Nanotechnologie sind nahezu unbegrenzt und erstrecken sich von der Energietechnik über die Materialwissenschaften bis hin zur Medizin.

Das »Center for Nanointegration Duisburg-Essen«, kurz CENIDE, vertritt den entsprechenden Forschungsschwerpunkt der Universität Duisburg-Essen (UDE): Seit 2005 vernetzt es die Forschungs- und Lehraktivitäten, die sich mit der Nanodimension beschäftigen, in den Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie in der Medizin. Kurz gesagt: CENIDE ist die Gemeinschaft der Nano-Forscher an der UDE – das Know-how von mehr als 50 Arbeitsgruppen unter der Leitung ausgewiesener Experten trifft hier zusammen. Kooperationen mit externen Mitgliedern, die ähnliche Forschungsansätze verfolgen, stärken das Kompetenzspektrum. Einer der Schwerpunkte der CENIDE-Forschung ist die Nanoenergie – der Einsatz der Nanotechnologie für energietechnische Anwendungen. Mit dem Forschungsbau „NanoEnergieTechnikZentrum, NETZ“ wurde im Februar 2013 ein bisher einzigartiger Komplex für die Verknüpfung von Grundlagenforschung und anwendungsbezogener Weiterverarbeitung für die Energietechnik eröffnet: In den „linked facilities“, also in direkt miteinander verbundenen Laboren von Ingenieuren, Chemikern und Physikern, werden Nanomaterialien hergestellt, erforscht und unmittelbar für energietechnische Anwendungen weiterverarbeitet.

Als zentrale wissenschaftliche Einrichtung der UDE und Konsortialpartner des Clusters NanoMikro+Werkstoffe.NRW gestaltet CENIDE die Projekte und Ziele der Nanoforschung in NRW maßgeblich mit.

Kontakt

Birte Vierjahn | NanoEnergieTechnikZentrum | Universität Duisburg-Essen
Forsthausweg 2 (Post) | Carl-Benz-Str. 199 (Besucher) | 47057 Duisburg
Tel.: +49 203 379-8176 | E-Mail: cenide@uni-due.de | www.cenide.de

CENIDE
CENTER FOR NANO INTEGRATION DUISBURG ESSEN

EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Ziel2.NRW
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen