PTB news
Wissenschaftliches Nachrichtenblatt
3
2013

Die PTB-News liefern dreimal im Jahr aktuelle Nachrichten aus dem vielfältigen Spektrum der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) – aus Grundlagenforschung, dem gesetzlichen Messwesen und den diversen PTB-Aktivitäten für die Wirtschaft.

FORSCHUNGSNACHRICHTEN

Atmosphärenmessungen für die Klimaforschung
PTB sichert bei Messungen mit dem Atmosphärenforschungsinstrument GLORIA die Rückführung auf die Internationale Temperaturskala 2

Windparks und Radar
Neues Feldstärke-Messsystem der PTB soll potenzielle Störungen bei der Koexistenz von Windparks und Radaranlagen vorhersagen 3

Modellierung aktiver Flüssigkeiten
Simulation der Dynamik von Bakteriensuspensionen 4

Neue Methode für die Messung von Strukturbreiten mit atomarer Auflösung
Genaue und rückführbare Kalibrierung mit einer Kombination aus Transmissions-Elektronenmikroskop und Rasterkraftmikroskop 5

Wie hoch liegt ein Ort? Die Verbindung zweier Uhren sagt's mir
Frequenzen hochgenau über fast 2000 km transportiert 6

TECHNOLOGIETRANSFER

Dopingnachweis für Wachstumshormone mit Massenspektrometrie 7
Positionsstabile Luftlager 7
Sechsachsiger Mikromontageroboter 7

VERSCHIEDENES

Auszeichnungen, Neues aus dem EMRP, Die PTB auf Messen, Publikationen 8

Aromatisches Graphen

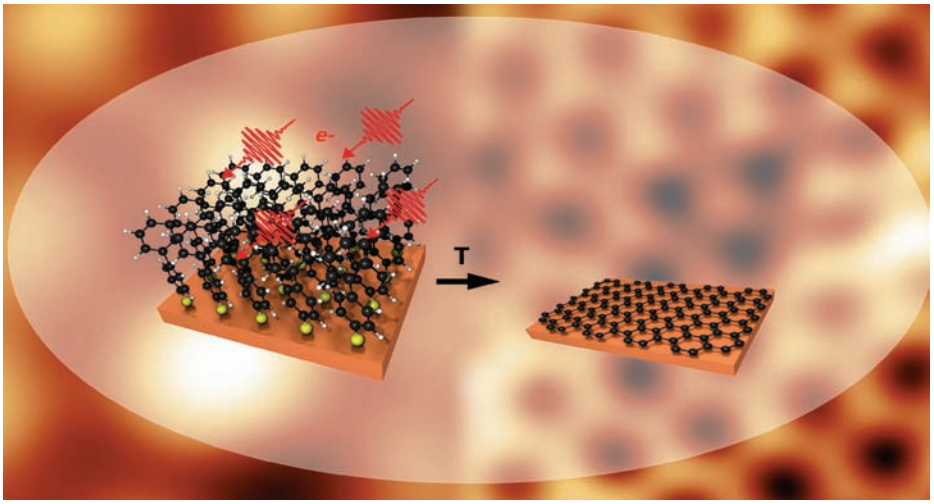
Neue Herstellungsmethode erweitert die Perspektiven zur Nutzung des „Wundermaterials" – verschiedenste Formen sind möglich

Besonders interessant für
- Elektronik
- Sensorik
- Display-Technologie

Graphen, ein Kristall aus nur einer Lage von Kohlenstoffatomen, die im regelmäßigen Sechseck angeordnet sind, gilt als ein Material, dem vor allem in den Bereichen Elektronik, Sensorik und Display-Technologie Wunderdinge zugetraut werden. Ein bereits bei Raumtemperatur erkennbarer Quanten-Hall-Effekt macht das Material auch für die Metrologie interessant. Bereits vier Jahre nach der erstmaligen erfolgreichen Präparation von Graphen wurden seine Entdecker Geim und Novoselov mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Die ursprüngliche Präparationsmethode durch Abschälen einzelner Atomlagen aus Graphit bietet aber keine gute Perspektive für die breite technologische Nutzung. In einem Kooperationsprojekt hat die PTB bei der Entwicklung einer völlig neuen und sehr flexiblen Variante mitgewirkt.

Für die Anwendung wird Graphen bisher z. B. durch Abscheiden von Kohlenstoffatomen aus der Gasphase oder durch thermische Graphitierung von Siliziumcarbid hergestellt. Im Gegensatz dazu wurden in dem Kooperationsprojekt der PTB mit den Universitäten Ulm und Bielefeld aromatische Moleküle als Ausgangspunkt gewählt. Als Substrate dienten Kupfer-Einkristalle und auch preiswerte polykristalline Kupferfolien. Durch Bestrahlung mit niederenergetischen Elektronen und nachfolgendes thermisches Ausheilen gelang es, eine auf der Kupferoberfläche abgeschiedene selbst-organisierte Einzellage des Moleküls Biphenylthiol in Graphen umzuwandeln.

Für die Untersuchung der chemischen und physikalischen Eigenschaften des so erzeugten Graphens kamen verschie-



Auf dem Titelbild der Zeitschrift Advanced Materials ist die Umwandlung der Monolage des komplexen Moleküls Biphenylthiol in den zweidimensionalen Graphenkristall durch Elektronenbestrahlung und thermische Behandlung schematisch dargestellt.
(Abb.: Advanced Materials 25 (2013). Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Reproduced with permission.)

dene Charakterisierungsmethoden der Universitäten Ulm und Bielefeld sowie der PTB zum Einsatz, nämlich die Raster-Tunnelmikroskopie, die Transmissions-Elektronenmikroskopie, die Ramanspektroskopie sowie elektrische Transportmessungen bei tiefen Temperaturen und hohen Magnetfeldern. All diese Messungen bestätigten, dass aus dem aromatischen Molekül wirklich Graphen von hervorragender kristalliner und elektronischer Qualität entstanden war.

Durch die Flexibilität der Elektronenbestrahlung, die mit sehr guter Ortsauflösung möglich ist, lassen sich Graphenstrukturen mit prinzipiell beliebiger Form erzeugen, z. B. Quantenpunkte, Nanostreifen oder andere Nano-Geometrien mit spezifischer Funktionalität. Durch die Wahl der Temperatur beim thermischen Umwandlungsschritt können auch der Grad der Kristallinität und die davon abhängenden Eigenschaften des Graphens eingestellt werden.

Weitere Vorteile entstehen durch die Vielseitigkeit der Methode der selbst-organisierten Beschichtung. Man kann sie mit unterschiedlichen aromatischen Molekülen durchführen, die z. B. auch Dotieratome zur elektronischen Dotierung des Endprodukts enthalten könnten. In Mehrfachlagen aufgebracht, ließen sich sogenannte Bilagen- oder Multilagen-Graphene erzeugen, deren geänderte elektronische Bandstruktur die Anwendungsmöglichkeiten von Einzellagen-Graphen erweitert. Ebenso könnten andere Substrate als das hier verwendete Kupfer (etwa andere Metalle, Halbleiter, Isolatoren) genutzt werden. Darüber hinaus sollte auch die Erzeugung von Graphen auf beliebigen 3D-Oberflächen möglich sein, da molekulare Selbstorganisation auch auf gekrümmten Flächen stattfindet. Die neue Herstellungsmethode erweitert die Perspektiven zur Nutzung des „Wundermaterials“ deutlich. ■

Ansprechpartner
Franz Josef Ahlers
Fachbereich 2.6 Elektrische Quantenmetrologie
Telefon: (0531) 592-2600,
E-Mail: franz.ahlers@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung
D. G. Matei, N.-E. Weber, S. Kurasch, S. Wundrack, M. Woszczyna, M. Grothe, T. Weimann, F.-J. Ahlers, R. Stosch, U. Kaiser, A. Turchanin: Functional single-layer graphene sheets from aromatic monolayers. Advanced Materials, 25, 4146–4151 (2013)

Atmosphärenmessungen für die Klimaforschung

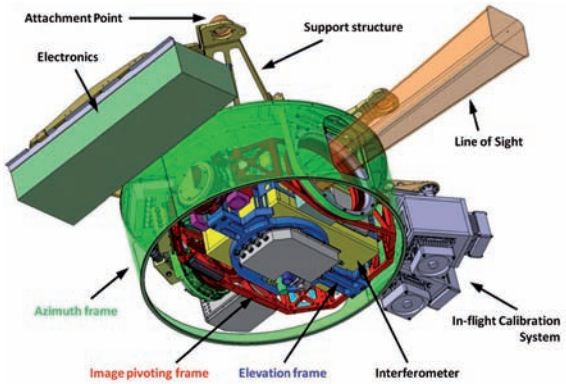
PTB sichert bei Messungen mit dem Atmosphärenforschungsinstrument GLORIA die Rückführung auf die Internationale Temperaturskala

Besonders interessant für
- Meteorologie
- Klimaforschung

Für die Bestimmung der Dichteverteilung von Spurengasen sowie von Temperaturverläufen in der Erdatmosphäre sind quantitative spektroskopische Messungen im infraroten Spektralbereich unentbehrlich. Die Rückführung solcher radiometrischen Messungen auf die Internationale Temperaturskala über das Planck’sche Strahlungsgesetz ist dabei eine unverzichtbare Grundlage, um kleinstmögliche Messunsicherheiten zu erzielen und langfristige Trends sicher nachweisen zu können. Die PTB hat dafür in Zusammenarbeit mit der Bergischen Universität Wuppertal (BUW), dem Forschungszentrum Jülich (FZJ) und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) die Kalibrierstrahler des Atmosphärenforschungsinstruments GLORIA (Gimballed Limb Observer for Radiance Imaging of the Atmosphere) mit Messunsicherheiten von kleiner als 100 mK auf die Strahlungstemperaturskala der PTB rückgeführt.

GLORIA ist ein flugzeuggetragenes Infrarot-Fourierspektrometer in Kombination mit einem ortsauflösenden Infrarot-Detektor, das mehr als 16 000 orts- und spektral aufgelöste Atmosphärenbeobachtungen simultan durchführen kann. Mittels der sogenannten Horizontsondierung erzeugt das Instrument dreidimensionale Bilder der Atmosphäre im Spektralbereich von 7 µm bis 13 µm mit bisher unerreichter Auflösung. Von besonderem Interesse ist dabei die dynamische Übergangsregion zwischen der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre (UTLS-Region) in etwa 10 km bis 15 km Höhe, die eine hohe Relevanz für das Erdklima besitzt.

Für die regelmäßig wiederkehrenden Influg-Kalibrierungssequenzen von GLORIA sind von der BUW großflächige Schwarzkörperstrahler entwickelt worden, die aufgrund einer innovativen Oberflächenstruktur extrem hohe Schwärze bei sehr guter Isothermie aufweisen und damit in sehr guter Näherung während des Fluges Planck’sche Strahlung definierter Temperatur zur Verfügung stellen. Um die sehr hohen



Das Infrarot-Fourierspektrometer GLORIA, das am Rumpf eines Forschungsflugzeuges montiert Messungen zu Teilchendichten und Temperaturen in der Erdatmosphäre durchführt (Quelle: ZAT; FZ Jülich)

Anforderungen an die Kenntnis der Strahlungstemperatur dieser Referenzstrahler erfüllen zu können, wurden sie an der Reduced Background Calibration Facility (RBCF) der PTB umfassend radiometrisch charakterisiert und kalibriert. Die RBCF ist eine in Europa einzigartige Messanlage, die speziell für die Kalibrierung von Instrumenten in der Erdfernerkundung im infraroten Spektralbereich unter anwendungsnahen Bedingungen entwickelt wurde.

GLORIA hat bereits erste Messflüge auf dem russischen Höhenforschungsflugzeug Geophysica während der ESA-Messkampagne ESSenCe und auf dem deutschen Forschungsflugzeug HALO während der TACS/ESMVal Campaign durchgeführt, in denen das Instrument seine Funktion und Kalibrierung unter Beweis stellen konnte. Weitere Flüge, insbesondere auf HALO, für das GLORIA entwickelt wurde, werden folgen. Um mögliche Veränderungen in den Strahlungstemperaturen der Referenzstrahler beobachten zu können, wurden die Strahler jeweils vor und nach den entsprechenden Flugzeugkampagnen an der RBCF kalibriert.

Es ist geplant, die erfolgreiche Zusammenarbeit fortzusetzen, um dauerhaft auf die Internationale Temperaturskala rückgeführte, hochgenaue, klimarelevante Daten über die wichtige UTLS-Region der Atmosphäre zu erhalten. Die von der BUW und der PTB gewonnen Erfahrungen an den flugzeuggetragenen Referenzstrahlern sollen u. a. auch in die Entwicklung von Kalibrierstrahlern für ein ballongetragenes GLORIA-Instrument einfließen und damit auch als Test für eine spätere satellitengetragene Version des Fourierspektrometers dienen. ■

Ansprechpartner
Jörg Hollandt
Fachbereich 7.3 Detektorradiometrie und Strahlungsthermometrie
Telefon: (030) 3481-7369
E-Mail: joerg.hollandt@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung
C. Monte, B. Gutschwager, A. Adibekyan, M. Kehrt, A. Ebersoldt, F. Olschewski, J. Hollandt: Radiometric calibration of the in-flight blackbody calibration system of the GLORIA interferometer. Atmos. Meas. Tech. Discuss., 6, 1–45 (2013)

Windparks und Radar

Neues Feldstärke-Messsystem der PTB soll potenzielle Störungen bei der Koexistenz von Windparks und Radaranlagen vorhersagen

Besonders interessant für
- Flugsicherung, Meteorologie, Bundeswehr
- Betreiber von Windparks
- Genehmigungsbehörden

Ein neues Messsystem kann, an einem Helikopter hängend, die elektrische Feldstärke und die Signalinhalte von Navigationsanlagen der Flugsicherung mit bisher unerreichter Genauigkeit erfassen. Als erweiterte Messeinrichtung kann es in Zukunft Messdaten aufzeichnen, mit denen sich schon im Vorfeld besser klären lässt, in welchem Ausmaß geplante Windenergieparks die Messdaten und die anschließende Signalverarbeitung von benachbarten Radaranlagen der Flugsicherung, Luftverteidigung oder Wetterbeobachtung beeinflussen würden.

Im Zusammenhang mit der Energiewende werden immer mehr Windparks gebaut. Doch die von deren Rotorblättern gestreuten Radarwellen können die Radarüberwachung von Meteorologen, Flugsicherung und Bundeswehr erheblich stören. Die hier übliche Simulation der Wellenausbreitung setzt zahlreiche Annahmen voraus, die bisher nicht durch Messungen verifiziert werden konnten. Folglich lassen sich Wechselwirkungen mit Windenergieanlagen noch nicht ausreichend sicher bewerten. Das neue Messsystem, das von der PTB gemeinsam mit der Firma FCS Flight Calibration Services GmbH entwickelt wurde, kann die grundlegenden Daten für Simulationsmodelle liefern und hierdurch Gutachtern helfen, verlässlichere Prognosen für Genehmigungsbehörden zu erstellen.

Der innovative Ansatz dieses Projektes (WERAN – Wechselwirkung Windenergieanlagen und Radar/Navigation) besteht darin, die komplexe Bewertung von Radarstörungen durch Windparks in messtechnisch erfassbare Zwischenschritte aufzuteilen und nur physikalisch kompatible Größen aus numerischen Simulationen und Messungen miteinander zu vergleichen. Es wird vom Bundesumweltministerium gefördert. Forschungspartner sind die Unternehmen FCS und steep GmbH sowie die Leibniz Universität Hannover.

Das Messsystem besteht aus einer Referenzantenne und einer Empfangseinrichtung. In seiner bisherigen Ausführung hängt es unter einem Helikopter und kann an beliebigen Punkten im Raum die elektromagnetische Feldstärke messen und zeitsynchron Messdaten und Position mit sehr hoher Abtastrate speichern. Tests haben gezeigt, dass damit das für die einwandfreie Signalübertragung (z. B. zwischen einem Instrumentenlandesystem und einem Flugzeug) notwendige elektromagnetische Fernfeld

Der Oktokopter fliegt eine vorgegebene Route anhand von Wegpunktmarkierungen automatisch ab. Die auf ihm montierte autarke Messsonde verfügt über drei orthogonal angeordnete Antennen und einen eigenen GPS-Empfänger. Der integrierte Mikroprozessor verarbeitet den Datenstrom des dreikanaligen HF-Empfängers sowie die GPS-Position und speichert diese Informationen zeitsynchron und mit Zeitstempel versehen ab. Die Messdaten lassen sich später zu einem beliebigen Zeitpunkt auswerten. (Foto: PTB)

so genau gemessen werden kann, wie es die Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO vorschreibt. Diese Validierungsmessungen werden damit erstmals in Europa auf das Internationale Einheitensystem (SI) rückgeführt und damit vergleichbar gemacht.

Als neueste Entwicklung wurde das Messsystem miniaturisiert und auf einem etwa 80 cm breiten Oktokopter montiert. Auf solchen Fluggeräten kann das System in Zukunft an Orten mit bereits existierenden oder geplanten Windparks zum Einsatz kommen und Daten zur Feldstärke und zu veränderten Signalinhalten an frei wählbaren Koordinaten über längere Zeiträume ermitteln. ■

Ansprechpartner
Thorsten Schrader
Fachbereich 2.2 Hochfrequenz und Felder,
Telefon: (0531) 592-2200
E-Mail: thorsten.schrader@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung
J. Bredemeyer, T. Schrader, T. Kleine-Ostmann, H. Garbe: Quasi-stationary signal-in-space measurements using traceable antennas. Proceedings of 17th International Flight Inspection Symposium IFIS (2012)

Modellierung aktiver Flüssigkeiten

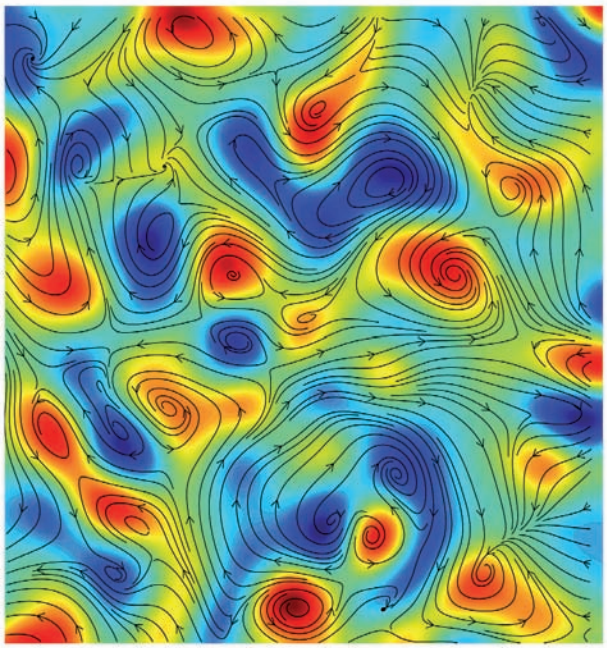
Simulation der Dynamik von Bakteriensuspensionen

Besonders interessant für
- Grundlagenforschung
- Materialwissenschaften

Eine aktive Flüssigkeit besteht aus einer großen Menge mikroskopischer Schwimmer (etwa Bakterien), die sich im Wasser fortbewegen. Eine solche Flüssigkeit zeigt ein sehr spezielles Fließverhalten. Die PTB hat zusammen mit der Universität Cambridge, UK, ein theoretisches Modell entwickelt, mit dem sich solche Bewegungen berechnen lassen.

Eine aktive Flüssigkeit verhält sich erstaunlich anders als eine gewöhnliche Flüssigkeit: Dort, wo diese laminar, also störungsfrei fließt, zeigen sich in der Bakterienflüssigkeit chaotische Strömungen und Wirbel – also eine ganz andere Fließdynamik. Denn während eine normale Flüssigkeit durch Einflüsse von außen bewegt wird, stammt bei der Bakterienflüssigkeit der Antrieb aus ihrem Inneren, nämlich von den Geißeln oder Flagellen der Bakterien.

Zur Modellierung einer derartigen Flüssigkeit wurde die Navier-Stokes-Gleichung um eine Instabilität erweitert, die aus der Musterbildung bekannt ist. Dann beschreibt die Gleichung Strömungsmuster bei nicht vorhandenem äußeren Antrieb. Direkte numerische Simulationen wurden in einer detaillierten Turbulenzanalyse mit Strömungsstrukturen aus in Cambridge durchgeführten Experimenten mit Bacillus-subtilis-Bakterien verglichen. Obwohl die vorgeschlagene Gleichung eine relativ einfache Struktur aufweist, stimmen die Ergebnisse quantitativ sehr gut überein. Von denen in gewöhnlicher Turbulenz unterscheiden sich die gefundenen chaotischen Strukturen allerdings qualitativ dadurch, dass Wirbel mit einer charakteristischen Größe auftreten. Für die Simulationen wurde an der PTB ein Pseudospektral-Algorithmus mit Anti-Aliasing entwickelt, der die partiellen Differenzialgleichungen in ein System gewöhnlicher nichtlinearer Differenzialgleichungen überführt. Dieses wurde mithilfe einer Operatorsplitting-Methode gelöst, die den linearen Anteil exakt behandelt. Das Strömungsfeld der Bakterien wurde für jede Messung eine Minute lang aufgezeichnet, während die dazugehörige Simulation auf dem PTB-Computercluster einige Tage benötigte.



Geschwindigkeitsfeld der aktiven Flüssigkeit, dargestellt als zweidimensionaler Schnitt aus einem dreidimensionalen Volumen. Die Farbkodierung zeigt die Stärke und Richtung der Wirbel.

So konnte erstmals ein Modell für die Turbulenz in einer Bakterienflüssigkeit direkt mit experimentellen Daten verglichen und Modellparameter bestimmt werden. Mithilfe des neuen Modells lassen sich auch schwer messbare Größen wie z. B. die Elastizität oder anisotrope Viskosität dieser aktiven Flüssigkeit ermitteln. ■

Ansprechpartner
Sebastian Heidenreich
Fachbereich 8.4 Mathematische Modellierung und Datenanalyse
Telefon: (030) 3481-7726
E-Mail: sebastian.heidenreich@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung
J. Dunkel, S. Heidenreich, K. Drescher, H. H. Wensink, M. Bär, R. E. Goldstein: Fluid dynamics of bacterial turbulence. Phys. Rev. Lett. 110, 228102 (2013)

Neue Methode für die Messung von Strukturbreiten mit atomarer Auflösung

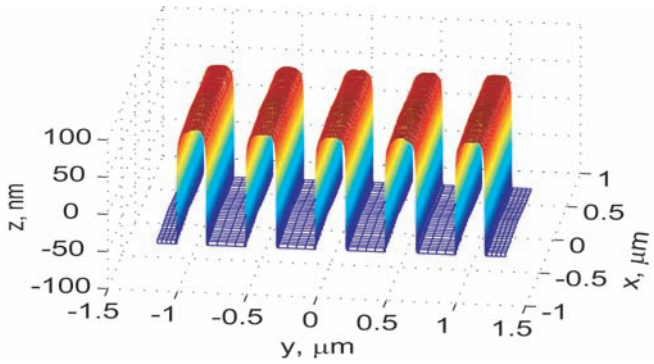
Genaue und rückführbare Kalibrierung mit einer Kombination aus Transmissions-Elektronenmikroskop und Rasterkraftmikroskop

Besonders interessant für
- Halbleiterindustrie
- Mikro- und Nano-Messtechnik

Mit einer in der PTB entwickelten Referenzmessmethode können die Abmessungen von Nanostrukturen, etwa auf Halbleiterchips, mit hoher Präzision gemessen werden. Die Methode kombiniert Messungen eines hochpräzisen Rasterkraftmikroskopes mit denen eines Transmissions-Elektronenmikroskopes, das mit atomarer Auflösung misst.

Der Begriff „Critical Dimension“ (CD) wird häufig als Synonym für „Strukturbreite“ verwendet. In der Fertigungskontrolle der Halbleiterindustrie spielt die Critical-Dimension-Messtechnik eine bedeutende Rolle bei der Sicherstellung einer zuverlässigen Fertigung von Mikro- und Nanostrukturen auf Silizium-Wafern und Fotomasken. Wegen der fortschreitenden Miniaturisierung im Herstellungsprozess, heute bis hinab zu Strukturbreiten von 22 nm, werden immer höhere Anforderungen an die Messunsicherheiten der CD-Messtechnik bis hin in den Sub-Nanometerbereich gestellt. Die Industrie benötigt dringend genaue und rückführbare CD-Referenzmessverfahren, um die verschiedenen in den Fertigungslinien der Halbleiterindustrie eingesetzten CD-Messgeräte, wie z. B. optische Scatterometer, zu charakterisieren und zu überprüfen.

Die neue Referenzmethode kombiniert zwei Techniken: Transmissions-Elektronenmikroskopie (TEM) und Rasterkraftmikroskopie (AFM). Ein hochauflösendes TEM mit Aberrationskorrektur kann Nanostrukturen an dünnen einkristallinen Schichten mit atomarer Auflösung messen. Bei der Strukturbreiten-Kalibrierung an Querschliffen von Linienstrukturen bietet es höchste Genauigkeiten, wobei der Abstand zwischen den Atomen in der Struktur als interner Maßstab verwendet wird. Auf diese Weise lässt sich die Strukturbreite direkt an den atomaren Abstand im Kristallgitter anschließen, der mit einem kombinierten optischen Licht- und Röntgen-Interferometer rückführbar kalibriert werden kann. Beispielsweise wurde der Gitterabstand d_{111}, d. h. der Abstand zwischen den (111) Kristallebenen des Materials Silizium ^{28}Si, zu (0,31356011 ± 0,00000017) nm bestimmt.



3D-Ansicht eines CD-AFM-Bildes, gemessen an einer Gruppe von 5 Linienmerkmalen

Vor der TEM-Messung werden auf dem Wafer zwei Strukturen mit dem AFM genau gemessen. Eine der Stellen wird anschließend für die TEM-Messungen mittels fokussiertem Ionenstrahl (FIB) sorgfältig herausgetrennt und anschließend auf wenige 100 nm Dicke abgedünnt. Nachteil ist, dass dieser Probenbereich für weitere CD-Messungen nicht mehr zur Verfügung steht. Über die TEM-Messung lassen sich jedoch inhärente systematische Fehler der AFM-Methode erfassen und korrigieren. Im Ergebnis kann man schließlich Referenz-CD-Werte an der unzerstörten Struktur mit einer abgeschätzten kombinierten Standardmessunsicherheit von 0,81 nm bestimmen. Dies wurde in fünf voneinander unabhängigen, an unterschiedlichen TEM durchgeführten Untersuchungen der CD einer Referenzstruktur bestätigt. Die neue Referenzmethode wurde zudem erfolgreich in Messungen von verschiedenen Strukturmerkmalen einer EUV-Fotomaske eingesetzt (EUV: extremes ultraviolettes Licht). Mit den Ergebnissen konnten Messungen mit Synchrotronstrahlung am EUV-Scatterometer der PTB bestätigt werden. Die Einbindung der Kombination von FIB und TEM zur genaueren Rückführung soll darüber hinaus auch ein Thema am Nano-Labor LENA sein, das derzeit an der Technischen Universität Braunschweig in Kooperation mit der PTB entsteht. ■

Ansprechpartner
Gaoliang Dai
Fachbereich 5.2 Dimensionelle Nanometrologie
Telefon: (0531) 592-5127
E-Mail: gaoliang.dai@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung
G. Dai, M. Heidelmann, Chr. Kübel, R. Prang, J. Flügge, H. Bosse: Reference nano-dimensional metrology by scanning transmission electron microscopy. Meas. Sci. Technol. 24, 085001 (2013)

Wie hoch liegt ein Ort? Die Verbindung zweier Uhren sagt's mir

Frequenzen hochgenau über fast 2000 km transportiert

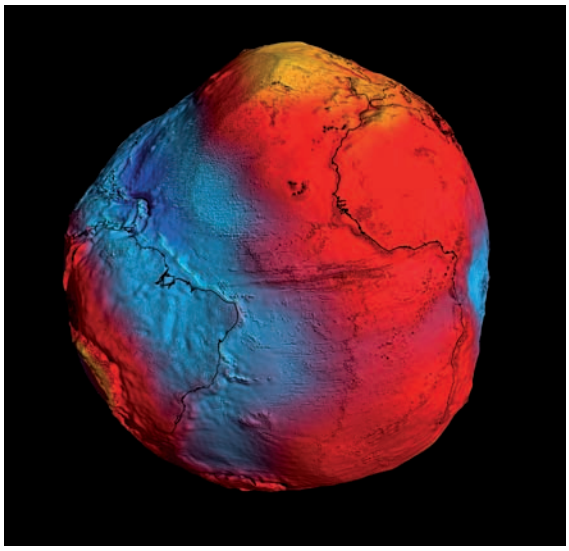
Besonders interessant für
- Geodäsie
- Grundlagenforschung

Wie hoch liegt ein Ort über Normalnull? Und wo genau liegt überhaupt Normalnull? Ein Ziel der Geodäten ist es, das auf einen Zentimeter genau zu ermitteln, wobei herkömmliche Vermessungsverfahren oder GPS-Technik über Satelliten an ihre Grenzen stoßen. Hier bieten optische Atomuhren einen neuen Ansatz, denn der Gang einer Uhr wird durch das Gravitationsfeld des jeweiligen Ortes beeinflusst. Dieser bekannte, aber winzige Effekt wurde vor einigen Jahren mit optischen Uhren gemessen, die aber zunächst in demselben Institut standen. Jetzt dürfen auch rund 2000 km zwischen ihnen liegen. Das bewiesen Forscher der PTB und des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching in einer Kooperation.

Normalnull in Deutschland bezieht sich auf die Nordsee und unterscheidet sich um 27 cm vom Normalnull in der Schweiz, das sich aufs Mittelmeer bezieht. Die unterschiedlichen Bezugssysteme haben bereits zu Fehlern bei großen Brückenbauprojekten geführt. Daher würden die Geodäten gerne ein einheitliches Normalnull neu berechnen, und zwar auf der Grundlage der Schwerkraft der Erde. Sie wollen das sogenannte Geoid, ein rechnerisches Modell der Erde, das überall dasselbe Gravitationspotenzial zeigt, so genau ermitteln, das es einer Abweichung von nur wenigen Zentimetern entspricht. Dabei kann ihnen die jüngste Generation von optischen Atomuhren helfen. Diese können Frequenzen so genau realisieren, dass selbst kleinste Frequenzabweichungen, verursacht von einigen Zentimetern Höhenunterschied, auffallen. Dahinter steckt Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie, konkret die sogenannte Gravitations-Rotverschiebung: Wenn eine Uhr weiter von der Erde entfernt ist, sich also in einem schwächeren Schwerefeld befindet, läuft für sie die Zeit etwas schneller ab. Für einen Höhenunterschied von einem Meter ändert sich der Gang (also die Frequenz) einer Uhr um relativ $1 \cdot 10^{-16}$.

Vor drei Jahren konnte nachgewiesen werden, dass sich bereits ein Höhenunterschied von 33 cm zwischen zwei nahezu benachbarten Uhren auf deren Frequenz messbar auswirkt. Mit dem Ziel, auch den Höhenunterschied von weit entfernten Uhren messen zu können, wurden in der aktuellen Kooperation optische Präzisionsfrequenzen auf eine 1840 km lange Reise geschickt. Dabei wurden kommerzielle Glasfasernetze und eine ausgeklügelte Verstärkertechnik eingesetzt. Obwohl die Strecke doppelt so lang war wie beim letzten Experiment dieser Art, konnte die Stabilität sogar noch vergrößert werden. Die Gesamtmessunsicherheit lag bei $4 \cdot 10^{-19}$. Das entspräche 4 mm Höhenunterschied. Und diese Auflösung wurde bereits nach 100 Sekunden erreicht.

Prinzipiell können jetzt optische Uhren in weit entfernten Forschungsinstituten quasi „zusammengeschaltet" und für alle Zwecke genutzt werden, für die man so stabile und gut definierte Frequenzen braucht. Eine erste Anwendung für die Grundlagenforschung waren spektroskopische Untersuchungen an Wasserstoff für die Untersuchung quantenmechanischer Modelle. In einem jetzt beantragten Sonderforschungsbereich von PTB, den Universitäten Hannover und Bremen sollen geodätische Fragestellungen weiter bearbeitet werden. ■



Das bisher genaueste Geoid der Erde beruht auf Daten des Satelliten Goce. Die Farben zeigen Unterschiede im Gravitationspotenzial und entsprechen Abweichungen von ± 100 m von einem idealen Geoid. Genauere Werte können nun optische Atomuhren liefern. (Quelle: ESA/HPF/DLR)

Ansprechpartnerin
Gesine Grosche
Fachbereich 4.3 Quantenoptik und Längeneinheit
Telefon: (0531) 592-4340
E-Mail: gesine.grosche@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung
S. Droste, F. Ozimek, Th. Udem, K. Predehl, T. W. Hänsch, H. Schnatz, G. Grosche, R. Holzwarth: Optical frequency transfer over a single-span 1840 km fiber link. Phys. Rev. Lett. 111, 110801 (2013)

Dopingnachweis für Wachstumshormon mit Massenspektrometrie

Besonders interessant für
- Dopingtestlabore
- Hersteller von Massenspektrometern

Mithilfe einer neuen massenspektrometrischen Analysemethode der PTB soll Doping mit Wachstumshormon (hGH – human growth hormone) zukünftig deutlich genauer und sicherer nachweisbar werden. Bisherige, auf Antikörpern basierende Nachweismethoden für Doping mit „künstlichem“ hGH haben den Nachteil, dass möglicherweise ähnliche im Serum vorhandene Moleküle fälschlicherweise

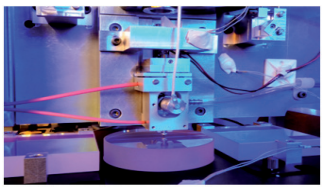
(Foto: Joachim Lechner, Fotolia)

ebenfalls als hGH erkannt werden könnten. Dies führt zu einem Restrisiko für falsch-positive Testergebnisse. Der Trick des PTB-Verfahrens besteht darin, das hGH (bzw. seine einzelnen natürlich vorkommenden Formen) unverwechselbar anhand der Molekülmassen charakteristischer enzymatischer Bruchstücke dieser Formen zu identifizieren. Dies geschieht mithilfe moderner Massenspektrometer, die in der Lage sind, auch sehr kleine Massenunterschiede noch sicher aufzulösen. ■

Vorteile
- signifikant verbesserter Nachweis von hGH im Konzentrationsbereich von 0,1 ng/ml bis 30 ng/ml
- Validierung unsicherer Ergebnisse anderer Untersuchungsmethoden

Positionsstabile Luftlager

Besonders interessant für
- Koordinatenmesstechnik
- Rauheitsmesstechnik



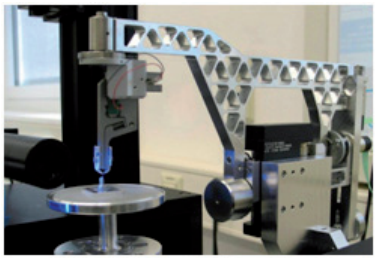
Luftgelagerte Lineartische weisen eine sehr niedrige Lagerreibung auf. Dadurch ist es nicht leicht, einen Stillstand oder eine gleichförmige Bewegung zu erreichen. In der PTB-Entwicklung wird der Lineartisch mittels zweier gegeneinander arbeitender Tauchspulantriebe bewegt. Ein elektromagnetischer Aktor erzeugt dabei eine konstante Vorspannung, gegen welche der zweite Aktor den Tisch bewegt. Das Konzept ermöglicht es, die Luftlager mit sehr rauscharmen Antrieben stabil zu betreiben. Insbesondere das Rauschen senkrecht zur Bewegungsrichtung ist gering (1 nm), was diese Tische für Anwendungen in Rauheits- oder Formmessgeräten prädestiniert. ■

Vorteile
- vereinfachte Bewegungssteuerung
- geringes Rauschen < 1 nm
- geringer Wärmeeintrag

Sechsachsiger Mikromontageroboter

Besonders interessant für
- Medizin-, Mikrosystem- und Feinwerktechnik
- Ausbildungszwecke

Die präzise Montage von Objekten und Maschinen der Mikrowelt stellt immer wieder neue Anforderungen an die Fertigung. Das erteilte Patent für die Regelung eines Mikro-Montageroboters ermöglicht mit einer PC-basierten Steuerung eine sichere, komfortable Bedienung. Die hochpräzise Mechanik führt geradlinige Bewegungen mit einer Auflösung von 0,1 µm Drehbewegungen mit 1´ aus. Kollisionen der beobachtenden Kameras mit der Handhabungsvorrichtung sind durch das Verfahren prinzipiell ausgeschlossen. ■



Vorteile
- Schrittweiten von 0,1 µm und Drehbewegungen von 1´ möglich
- entkoppelte Achsen
- kontinuierliche Betrachtung des Arbeitsraums durch ortsfeste Kameras
- gute Einsehbarkeit des gesamten Arbeitsraumes

Ansprechpartner für diese Technologieangebote:
Andreas Barthel, Telefon: (0531) 592-8307, E-Mail: andreas.barthel@ptb.de,
www.technologietransfer.ptb.de

Auszeichnungen

Die PTB
wurde am 8. Oktober von der Europäischen Physikalischen Gesellschaft (European Physical Society, EPS) als „EPS Historic Site“ ausgezeichnet. Die Festveranstaltung fand im Institut Berlin der PTB statt, wo die Vorgängerinstitution der PTB, die Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR), im Jahr 1887 gegründet wurde. Die PTR war die erste staatliche, außeruniversitäre Großforschungseinrichtung in Deutschland und das erste Metrologieinstitut der Welt.

Vor dem Siemens-Bau des Instituts Berlin der PTB mit der „EPS Historic Site“-Tafel: Prof. Dr. John Dudley (EPS), Prof. Dr. Johanna Stachel (DPG), Prof. Dr. Joachim Ullrich (PTB), Prof. Dr. Wolfgang Ketterle (MIT), Prof. Dr. Hans Koch (PTB)

Große Namen der Physik und große wissenschaftliche Ergebnisse prägten die ersten Jahrzehnte der PTR am Ende des 19. und am Beginn des 20. Jahrhunderts. Die damalige Reichsanstalt schuf mit ihren Präzisionsmessungen der Strahlung des „Schwarzen Körpers“ die experimentellen Grundlagen der Quantenphysik. Viele grundlegende physikalische Gesetze und Effekte sind an der PTR entdeckt und „vermessen“ worden. Diese messtechnische Erfolgsgeschichte ist auch nach 126 Jahren, die seit der Gründung vergangen sind, längst noch nicht abgeschlossen. So zählt die PTB heute zu den renommiertesten metrologischen Instituten der Welt und leistet fundamentale Beiträge, wenn es um höchstpräzise Messungen geht.

Neues aus dem EMRP

Projekttreffen im Europäischen Metrologie-Forschungsprogramm (EMRP) mit PTB-Koordination bzw. maßgeblicher PTB-Beteiligung (nur teilweise öffentlich – bitte bei Interesse beim Ansprechpartner nachfragen).

21.–23. Januar 2014
„Novel mathematical and statistical approaches to uncertainty evaluation“ (NEW04 Uncertainty)
Midterm-Meeting einschl. Treffen des Stakeholder Committee. VSL, Delft.
Ansprechpartner: Markus Bär
Telefon: (030) 3481-7687
E-Mail: markus.baer@ptb.de

3. Februar 2014
„Metrology for ocean salinity and acidity“ (ENV05 OCEAN)
Projekttreffen im Rahmen des EURAMET-TC-MC-Treffens. London.
Ansprechpartnerin: Petra Spitzer
Telefon: (0531) 592-3130
E-Mail: petra.spitzer@ptb.de

24.–26. März 2014
MATHMET 2014 – International Workshop on Mathematics and Statistics for Metrology (NEW04 Uncertainty)
PTB, Berlin. Ansprechpartner: Markus Bär
Telefon: (030) 3481-7687
E-Mail: markus.baer@ptb.de

13.–14. Mai 2014
„Emerging requirements for measuring pollutants from automotive exhaust emissions“ (ENV02 PartEmission)
Abschlussworkshop. PTB, Braunschweig.
Ansprechpartner: Martin Thedens
Telefon: (0531) 592-3730
E-Mail: martin.thedens@ptb.de

20.–21. Mai 2014
„Traceable in-process dimensional measurement“ (IND62 TIM)
Projekttreffen, 2nd interim meeting at CMI. Prag. Ansprechpartner: Klaus Wendt
Telefon: (0531) 592-5323
E-Mail: klaus.wendt@ptb.de

26.–30. Mai 2014
European Materials Research Society (EMRS) Spring Meeting
Lille, Frankreich. U. a. mit einem Workshop des EMRP-Projektes „Metrology for the manufacturing of thin films“ (IND07 Thin Films). Nähere Informationen: www.emrs-strasbourg.com > 2014 Spring Meeting

Nähere Informationen zum EMRP:
www.euramet.org > Research EMRP > Calls and Projects

Die PTB auf Messen

6.–9. Mai 2014
Control, Stuttgart
Ansprechpartnerin: Christine Haubold,
Telefon: (0531) 592-3007
E-Mail: christine.haubold@ptb.de

20.–22. Mai 2014
Optatec, Frankfurt
Ansprechpartnerin: Christine Haubold,
Telefon: (0531) 592-3007
E-Mail: christine.haubold@ptb.de

Publikationen

PTB-Mitteilungen Heft 2/2013
Themenschwerpunkt: Ionisierende Strahlung in der Medizin

PTB-Mitteilungen Heft 3/2013
Themenschwerpunkt: 13. BAM-PTB-Kolloquium zur chemischen und physikalischen Sicherheitstechnik

PTB-Mitteilungen Heft 4/2013
Themenschwerpunkt: 100 Jahre Helmholtz-Fonds e.V. und 40 Jahre Helmholtz-Preis

Weitere Informationen und Bezugsquellen:
www.ptb.de > Publikationen > PTB-Mitteilungen

Impressum
PTB-News 3/2013, deutsche Ausgabe, Dezember 2013, ISSN 1611-1621
Die PTB-News erscheinen dreimal jährlich in einer deutschen und einer englischen Ausgabe und können kostenlos abonniert werden.
Abo-Formular: www.ptb.de > Publikationen > PTBnews > PTBnews abonnieren (html- und pdf-Fassung)
Herausgeber: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig und Berlin
Redakteure: Andreas Barthel, Ludger Koenders, Christian Lisdat, Dirk Ratschko, Mathias Richter, Hansjörg Scherer, Erika Schow, Florian Schubert, Jens Simon (verantwortlich)
Layout: Volker Großmann, Alberto Parra del Riego (Konzept)
Redaktionsanschrift: Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig,
Telefon (0531) 592-3005, Telefax (0531) 592-3008, E-Mail ptbnews@ptb.de