

Unsichtbare Displays

Die Designer von Hifi-Anlagen und Fernsehern haben die Vorteile der Nanowelt für sich entdeckt. So entwickelte der dänische Edelproduzent Bang und Olufsen zusammen mit Physikern der Technischen Universität in Lyngby und des Laser-Laboratoriums e.V. in Göttingen eine Leuchtanzeige, die ausschließ-

Eine Muldenlandschaft im Mikrometermaßstab ermöglicht Leuchtanzeigen (rechts auf einer Fernbedienung), die nur im Betrieb sichtbar sind. (Fotos: Bang & Olufsen)



lich im Betrieb sichtbar wird: Integriert in eine schlanke Fernsteuerung sieht der Nutzer sonst nur eine

durchgehende, nicht durch Leuchtmodule unterbrochene Aluminium-Oberfläche.

Der Schlüssel für dieses „unsichtbare Display“ liegt in der Durchlässigkeit hauchdünner Metallschichten für sichtbares Licht. Bei einer Dicke von rund zehn Nanometern lässt Aluminium etwa sechs Prozent des 550-Nanometer-Lichts einer Leuchtdiode durch. Um exakt diese Dicken zu erreichen, bearbeiteten die Entwickler ein Aluminiumblech mit einem Ultraviolett-Femtosekundenlaser im Laser-Laboratorium Göttingen. Mit höherer Intensität verdampften sie das Leichtmetall in 250-Nanometer-Schritten pro Laserpuls. Für die Feinarbeit reduzierten sie die Strahlungsleistung, sodass pro „Schuss“ jeweils zehn Nanometer Aluminium abgetragen werden. Nach diesem Prozess erhielten sie eine Muldenlandschaft mit Löchern im Mikrometermaßstab. Je nach Anordnung der Vertiefungen kann so das Licht das Metall durchscheinen und das Symbol für „Play“ (>) oder für „Record“ (•) anzeigen. Eine 15 Mikrometer dicke Aluminiumoxid-Schicht, die auf der Innenseite des Metallblechs liegt, sorgt für die nötige Stabilität der Mikrolöcher.

Wann das erste Produkt mit einem unsichtbaren Aluminium-Display auf den Markt kommt, ist noch

nicht klar. Bisher zeigte das Unternehmen vier Prototypen, die neben Batterie und Steuerelektronik mit brillanten Rot- und Weißlicht-Leuchtdioden ausgestattet sind.

Mikroblasen sparen Schiffsdiesel

Je geringer der Strömungswiderstand eines Schiffsrumpfes im Wasser ausfällt, desto sparsamer lässt sich das Schiff antreiben. Neben markanter Bugnase und Bewuchs abweisenden Anstrichen entdecken nun japanische Schiffbauer den Vorteil von kleinen Wasserblasen. In zahlreichen Laborversuchen und Simulationen zur turbulenten Strömungsmechanik – zuletzt von einer Gruppe um Detlef Lohse an der niederländischen Universität Twente¹⁾ – zeigte sich, dass ein von Luftblasen umspülter Körper einen bis zu 50 Prozent verringerten Strömungswiderstand aufwies.

Die Computersimulationen lassen auf zwei mögliche Ursachen für diesen Effekt schließen. Zum einen könnten die Luftblasen (Durchmesser von wenigen Mikrometern bis zu Zentimetern) wegen ihrer geringen Dichte im Vergleich zum umgebenden Wasser auch die Dichte in den turbulenten Grenzschichten verringern. Zusätzliche Auftriebskräfte wären die Folge, die das Durchpflügen der Wogen erleichtern würden. Zum anderen vermuten Physiker in der Verformbarkeit der Blasen die Hauptursache der Widerstandsverringerung. Dadurch sollen turbulente Strömungen, eine wichtige Ursache für den Strömungswiderstand, im Grenzbereich zwischen schwimmendem Objekt und Wasser reduziert werden.

Unabhängig von der Theorie berichteten japanische Ingenieure des Nationalen Maritimen Forschungszentrums auf dem 6. „Symposium on Smart Control of Turbulence“²⁾ Anfang März in Tokyo von einem Praxistest mit dem Zementfrachter „Pacific Seagull“. Das knapp 8000 Bruttoregistertonnen große und 126 Meter lange Schiff wurde dazu mit zwei fünf Meter langen Luftturbinen im Bugbereich ausgestattet. Über ein Leitungsnetz wird die angesaugte Luft (43 Kubikmeter/Minute) verteilt und durch spezielle Ventilöffnungen auf der Rumpfunterseite ausgestoßen. So soll durch das Aufsteigen der Luftblasen eine gleichmäßige Abdeckung des gesamten Rumpfes gewährleistet

werden. Zur Analyse der Blasenverteilung installierten die Forscher zwölf Unterwasserkameras entlang des Schiffes.

Da der Testlauf erst vor kurzem gestartet wurde, liegen noch keine konkreten Ergebnisse vor. Doch nach ersten Abschätzungen erwarten die Ingenieure bei einer Reisegeschwindigkeit von zwölf Knoten eine Verringerung des Strömungswiderstands um 7,38 Prozent. Ein solcher Wert würde sich schon deutlich auf den Verbrauch von Schiffsdiesel auswirken und die Kosten einer Frachter-Umrüstung rasch wieder ausgleichen.

Geschärfter Blick mit Elektronen

Wissenschaftlern der Firma Carl Zeiss SMT in Oberkochen gelang ein neuer Weltrekord für das Auflösungsvermögen von Transmissions-Elektronenmikroskopen (TEM). Mit ihrem neu entwickelten Ultra-High-Resolution-TEM (UHRTEM) konnten sie Strukturen von nur 0,8 Angström (0,08 nm) scharf voneinander getrennt abbilden.

Für diesen Durchbruch der Ein-Angström-Mauer nutzten die Forscher um Gerd Benner und Alexander Thesen Elektronen, die bei rund 1800 Kelvin aus einem Schottky-Feld-Emitter austreten. Nach einer Vorbeschleunigung mit 4,5 Kilovolt filtert ein Monochromator die Elektronen so weit, dass deren Energie nach einer weiteren Beschleunigung nur noch um maximal 0,2 Elektronenvolt (eV) um den Mittelwert 200 keV schwankt.



Mit diesem Transmissions-Elektronenmikroskop lassen sich nun auch Strukturen, die kleiner als 1 Angström sind, abbilden (Foto: Zeiss)

1) T. H. van den Berg et al., Phys. Rev. Lett. 94, 044501 (2005)

2) Mehr Informationen zu dem Symposium finden sich unter www.nmri.go.jp/turbulence/sympo_e/FY2004/index.html

Danach gelangt der Strahl durch ein elektromagnetisches Linsensystem auf die Probe und durchdringt diese. Anschließend wird er in einem elektronenoptischen Objektiv fokussiert, bevor ein Korrektur-Modul folgt. Darin lenken zwei magnetische Hexapole die Flugbahn der Elektronen so ab, dass der Abbildungsfehler der sphärischen Aberration komplett verhindert wird. Nach dieser Korrektur gelangen die transmittierten Elektronen für die Bildaufnahme auf einen CCD-Chip mit 248 mal 248 Bildpunkten (Pixelgröße $15 \mu\text{m}$). Erfreulicher Zusatzeffekt der Korrektur: Das UHRTEM vermeidet auch den für Feldemissions-TEMs typischen Delokalisierungsfehler, der bislang zu Artefakten bei der Probenabbildung führen konnten.

Zum Nachweis der erreichten Auflösung bildeten die Forscher die Strukturen eines amorphen Tantal-Dünnsfilms ab. Das Ergebnis ist ein Interferenzmuster aus zwei Bildern, die mit jeweils 800 000-facher Vergrößerung und einer Sekunde Belichtungszeit aufgenommen wurden. Als Kunden für ihr UHRTEM hat Zeiss Nanoforscher im Blick, die damit neue Strukturen und Materialien bis zur atomaren Skala und darunter charakterisieren können; speziell wenn nicht-periodische Strukturen wie Gitterdefekte und Grenzflächen an Bedeutung zunehmen. Doch auch die Chipindustrie könnte vom UHRTEM profitieren, das Strukturfehler der immer schneller schrumpfenden Transistoren zuverlässig abbilden kann.

Europas Rekordsolarzelle

Nicht Silizium, sondern mehrere Schichten aus Verbindungshalbleitern bilden das Herz einer neuen Solarzelle, mit der Forscher vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg einen Wirkungsgrad von 35 Prozent erzielten. Diese so genannte Tripelzelle wird damit nur noch von einem Labormuster der Firma Spectrolab in den USA (37,8 %) übertroffen. Laut Aussage der ISE-Wissenschaftler um Andreas Bett sei ihre Tripelzelle zwar relativ teuer, könne aber durch eine geschickte Anordnung von Fresnel-Sammellinsen mit herkömmlichen Solarzellen wirtschaftlich konkurrieren.

In nur einem einzigen Prozess der Gasphasenepitaxie werden die verschiedenen Schichten zu einem monolithischen Modul aufeinander

gewachsen. Die Basis bildet eine rund 500 Mikrometer dicke Lage aus Germanium (Ge), auf die zwei je zwei Mikrometer dicke Schichten aus Galliumindiumarsenid (GaInAs) bzw. Galliumindiumphosphid (GaInP) gewachsen werden. Der Schlüssel für den hohen Wirkungsgrad liegt in der effizienten Nutzung



Diese Solarzelle, bestehend aus mehreren Schichten aus Verbindungshalbleitern, hat einen Wirkungsgrad von 35 %. (Foto: ISE)

weiter Bereiche des Sonnenspektrums. Die Ge-Schicht nutzt Photonen im infraroten Wellenlängenbereich zwischen 1100 und 1800 Nanometern. Die GaInAs-Lage erzeugt Sonnenstrom am besten zwischen 700 und 1100 nm, gefolgt von der GaInP-Schicht, die auf den sichtbaren Bereich (360 – 700 nm) optimiert ist.

Die aktive Zelle selbst nimmt nur eine Fläche von 0,031 Quadratmeter ein. Doch nutzt sie das Licht von einem 500-fach größeren Bereich (16 cm^2), der von einer Fresnel-Linse abgedeckt wird, die das Sonnenlicht konzentriert. Trotz der im Vergleich zu Zellen aus kristallinem Silizium um einen Faktor 50 höher liegenden Produktionskosten könnten diese Tripelzellen mit ihrem Licht-Konzentrator konkurrenzfähig Sonnenstrom erzeugen.

Während hocheffiziente Solarzellen wegen ihrer Kosten bisher vorwiegend für die Stromversorgung von Satelliten eingesetzt werden, hat Forscher Bett eher terrestrische Anwendungen im Blick. Ideal sei die ISE-Tripelzelle für den Aufbau von ausgedehnten Photovoltaik-Kraftwerken im Megawatt-Bereich in sonnensicheren Gebieten. Erste Kontakte zum Solarstromzentrum im südspanischen Almeria bestehen bereits.

JAN OLIVER LÖFKEN