

Folie aus Nanoröhrchen

Nanoröhrchen aus Kohlenstoff bestechen durch ihre physikalischen Eigenschaften: Sie sind extrem widerstandsfähig gegen aggressive Chemikalien und um ein Vielfaches reißfester als Stahl. Mehrwandige Nanoröhrchen leiten zudem den elektrischen Strom besser als Kupfer und Silber. Dementsprechend vielseitig sind auch mögliche Anwendungen. Die winzigen Zylinder lassen sich mittlerweile wie Wollfasern zu Garnen verarbeiten und nach Belieben verdrillen, verflechten und verknoten. Nun ist es amerikanischen Forschern von der University of Texas gelungen, mehrwandige Nanoröhrchen zu einer fünf Zentimeter breiten und mehrere Meter langen Gewebefolie zu verarbeiten.

Die Wissenschaftler um Ray Baughman hatten bereits im vergangenen Jahr mit einem speziellen Spinnverfahren fünf Mikrometer dicke Fäden mit einer Länge von etwa einem Meter hergestellt. Nun ist es der Forschergruppe gelungen, auch transparente Bänder zu produzieren. Die Forscher haben dafür zunächst zehn Nanometer dicke und 70 bis 300 Mikrometer lange Nanoröhrchen in einer heißen Acetylen-Atmosphäre auf einer Oberfläche wachsen lassen. An eine Seite der dicht bestückten Unterlage hefteten sie einen klebenden Streifen. Indem sie daran zogen, rissen sie eine Reihe mit Millionen von Nanoröhrchen aus der Oberfläche heraus. Diese verhakten sich mit der nächsten Reihe usw. Auf diese Weise formte sich bei einer Zuggeschwindigkeit von über sieben Metern pro Minuten ein rund fünf Zentimeter breites und etwa zwanzig Mikrometer dünnes Band (Abb.).

Dieses konnte Flüssigkeitstropfen tragen, die rund 50 000 Mal so schwer waren wie das Nanomaterial selbst. Um die Stabilität zu erhöhen, legten die Forscher achtzehn der hauchdünnen Schichten übereinander. Dadurch ist ein robustes Band entstanden, dessen Festigkeit mit 175 Megapascal sogar hochfesten Stahl (125 Megapascal) übertrifft, dabei aber nur einen Bruchteil von dessen Gewicht aufweist und noch äußerst flexibel ist.

Wegen dieser Vorteile könnte der Werkstoff eine Alternative zu anderen hochfesten Fasern wie Kevlar sein. Außerdem zeigen die Kohlenstoff-Bänder nur einen geringen

elektrischen Widerstand und beginnen zu leuchten, sobald ein Strom sie durchfließt. Daher könnten sie kleine Leuchtstoffröhren ersetzen, die bisher zur Hintergrundbeleuchtung in Flüssigkristall-Monitoren verwendet werden. Sogar für flexible Solarzellen auf der Basis von organischen Halbleitermolekülen könnte die Nanofolie als leitfähiges Trägermaterial dienen.¹⁾

Supraleiter-Generator für Motoryachten

Motoryachten und Kreuzfahrtschiffe neuerer Bauart werden meist von Elektromotoren angetrieben. Diese laufen deutlich ruhiger als Dieselaggregate und reagieren besser auf häufige Geschwindigkeitsänderungen. Ihren Strom beziehen diese Schiffe von mächtigen Generatoren, die von einem Dieselmotor oder in Zukunft von Gasturbinen in Bewegung gesetzt werden.



Mit solchen Generator-Spulen aus einem keramischen Supraleiter könnten sich leichtere Schiffsmotoren bauen lassen. (Foto: Siemens)

Diese metergroßen Dynamos verwenden bisher Kupferspulen. Entwickler von Siemens testeten nun jedoch den weltweit ersten Generator auf der Basis von Hochtemperatur-Supraleitern (HTSL). Mit einer Leistung von vier Megawatt ist dieser Stromlieferant nur noch halb so groß und schwer wie vergleichbare Kupferaggregate.

Die acht Magnetspulen bestehen aus dem keramischen Hochtemperatur-Supraleiter Wismutstrontiumcalciumkupferoxid (Bi-2223-HTSL) mit einer Sprungtemperatur von 108 Kelvin. Wegen der hohen Sprödigkeit wird dieser HTSL in vielen 0,2 Millimeter dünnen Schichten in eine Silbermatrix eingelagert. In wiederum acht Lagen werden diese Module aufeinander gestapelt zu einer ovalen, etwa einen halben Meter langen und 25 Zentimeter breiten Spule, durch die ein Strom von rund 100 Ampere fließt. Trotz der hohen Sprungtemperatur werden sie mit flüssigem Neon auf 25 bis 28 Kelvin gekühlt. Das ist nötig, damit

die Supraleitung bei Spitzenwerten des Magnetfeldes von etwa vier Tesla nicht zusammenbricht.

Energieverluste durch Wärme könnten sich mit diesen HTSL-Generatoren auf ein Minimum reduzieren lassen. Trotz der aufwändigen Rotorkühlung steigt der elektrische Wirkungsgrad dank des geschlossenen Neon-Kühlkreislaufs um mehr als zwei Prozent im Vergleich zu konventionellen Maschinen. Im Betrieb dreht sich der Rotor mit 3600 Umdrehungen pro Minuten bei einer Spannung von 6,6 Kilovolt.

Bisher ist der supraleitende Dynamo noch in kein Schiff eingebaut. Zuerst muss er sich in Langzeit-Lauftest bewähren, um danach vom Schiffs-TÜV, dem Germanischen Lloyd in Hamburg, zugelassen werden zu können. Siemens-Projektleiter Heinz-Werner Neumüller rechnet in etwa fünf Jahren mit der Praxisreife des HTSL-Generators.

Läuft wie geschmiert

Mechanische Armbanduhren sind kleine Wunderwerke der Technik. Mit Anker und Ankerrädern, die Wissenschaftler vom Forschungszentrum Karlsruhe nun mit einer bisher unerreichten Genauigkeit herstellen konnten, lassen sich Präzision und Lebensdauer noch weiter steigern. Diese Bauteile werden im Uhrwerk am meisten beansprucht und sind bei hohen Schwingungsfrequenzen maßgeblich für die Ganggenauigkeit der Uhr. Mit Hilfe des so genannten LIGA-Verfahrens (Lithographie, Galvanoformung und Abformung) erreicht das Team um Markus Arendt eine Oberflächenrauigkeit der Bauteile von nur noch 50 Nanometern. Als erster Uhrenbauer lässt sich das Schweizer Unternehmen H. Moser & Cie mit diesen hochpräzisen Strukturen beliefern. Damit können die mechanischen Wunderwerke ab sofort sogar auf ein Schmiermittel verzichten.

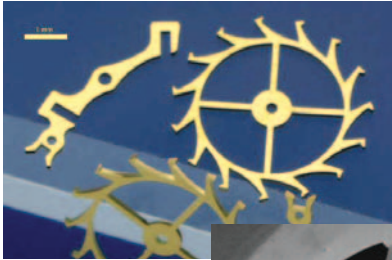
Für die Serienproduktion der auf einen Mikrometer genau strukturierten Bauteile nutzen Arendt und Kollegen polarisierte Röntgenstrahlung der Karlsruher Synchrotronquelle ANKA. Mit Strahlungsenergien zwischen fünf und sechs Kiloelektronenvolt belichten sie 20 Minuten lang eine Mikrometer dünne Schicht aus Plexiglas (Polymethylmethacrylat, PMMA). Dabei werden die feinen Strukturen einer Belichtungsmaske mit hoher Ge-



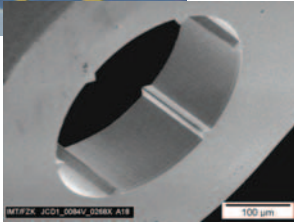
Aus Nanoröhrchen lassen sich nun meterlange Bänder herstellen, die äußerst dünn, transparent und reißfest sind. (Foto: Zhang, et al., Univ. of Wisconsin)

1) M. Zhang et al., Science 309, 1215 (2005)

naugigkeit in das Kunststoffmaterial gebrannt. Gelagert auf einem mehrschichtigen Substrat aus Silizium, Titan und Titanoxid entsteht so eine Art Gussform für die exakten Uhrenbauteile. Über einen galvanischen Prozess setzt sich in diese Hohlräume nach und nach Gold ab.



Bauteile für mechanische Armbanduhren lassen sich mit dem sog. LIGA-erfahren hochpräzise fertigen. (Quelle: FZK)



Mit geringen Zusätzen des Schwermetalls Cadmium härten die goldenen Bauteile (Reinheit 99,9 %) aus. Daraufhin lassen sich Anker und Ankerräder mit Chemikalien von der Unterlage trennen.

Derzeit kann Arendt etwa 70 Prozent seiner Produktion nutzen. Doch er möchte die Ausschussquote noch weiter senken. Schon heute halten LIGA-Bauteile Einzug in einen Massenmarkt, in dem derzeit jährlich über eine Million Stück abgesetzt werden. Das Forschungszentrum Karlsruhe arbeitet daher im Rahmen des Projekts FELIG an einer weitgehend automatisierten Fertigungsstraße für die Herstellung von LIGA-Bauteilen. Ab 2008 soll FELIG eine 20-mal höhere Produktionskapazität erreicht werden. Die Herstellungskosten könnten sich damit gegenüber heute mindestens halbieren. Der Uhrenbauer H. Moser & Cie hat bereits für diesen Herbst erste Uhren mit LIGA-Bauteilen angekündigt. Laut Arendt hätten auch schon weitere Fabrikanten Interesse an den hochpräzisen Herzstücken mechanischer Uhren gezeigt.

Sehendes Skalpell

Heiserkeit und Schmerzen beim Sprechen können an einer Kehlkopf-Erkrankung liegen. Dabei handelt es sich oft um eine Schleimhautverdickung der Stimmlippen, in denen sich Stimmband und -muskel befinden. Bislang

verlief eine Untersuchung der Stimmlippen unter Narkose. Dies ist mit einem neuen bildgebenden Verfahren auf der Basis der Optischen Kohärenz-Tomografie nicht mehr nötig. Wissenschaftler vom Laserzentrum Hannover entwickelten zusammen mit Ärzten der Medizinischen Hochschule Hannover diese neue Untersuchungsmethode, mit der ein Arzt ohne jeden Schnitt zwei Millimeter tief in das Gewebe hineinschauen und eine Diagnose erstellen kann.

Das Team um Holger Lubatschowski nutzt für dieses Verfahren das infrarote Licht einer kontinuierlich strahlenden Laserquelle mit Wellenlängen von 1050 und 1300 Nanometern. Ein Strahlteiler spaltet das Licht in zwei Strahlen auf. Der Referenzstrahl wird von einem Spiegel

zurückgeworfen, der Messstrahl dagegen dringt in das Gewebe ein und wird abhängig von Zustand der Stimmlippen reflektiert. Über ein Interferometer lassen sich dann die unterschiedlichen Laufzeiten der Lichtstrahlen analysieren und daraus ein Bild berechnen. Rastert man mit dem Laserlicht das Gewebe ab, entsteht so ein dreidimensionales Bild mit einer Auflösung von etwa 10 Mikrometern. Das reicht dem Arzt aus, um krankhafte Veränderungen festzustellen.

Doch bei dieser schonenden, Kehlkopfspiegelung (Laryngoskopie) wollen es Lubatschowski und Kollegen nicht belassen. Mit den kurzen Infrarot-Pulsen eines Femtosekundenlasers sind sie auch in der Lage, exakte Schnitte in das krankhafte Gewebe zu setzen. Über Glasfaser durch das schlauchförmige Gebilde eines Laryngoskops geleitet, soll beispielsweise jeder tausendste Puls mit einer Energie im Mikrojoule-Bereich organisches Gewebe durchtrennen können. Die anderen, deutlich schwächeren Laserpulse dienen indes weiterhin als Taststrahl für die Kohärenz-Tomographie. So kann ein Arzt simultan beobachten, wo genau er schneidet. Dieses „sehende Skalpell“ wird derzeit weiter entwickelt und soll über die Firma Rowiak, eine Ausgründung des Laserzentrums Hannover, zur Marktreife entwickelt und vertrieben werden.

JAN OLIVER LÖFKEN