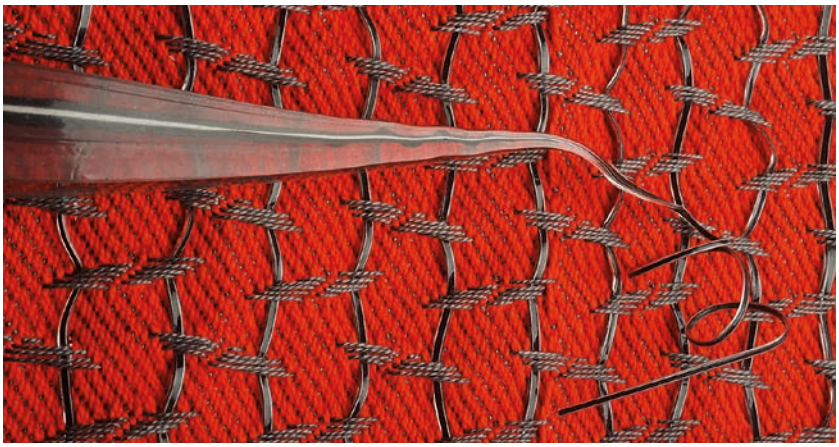


Fink Lab MIT / Elizabeth Meiklejohn RISD / Greg Hren

Die Vorform des Sensorfadens liegt auf einem Stoff, in den der fertige Faden eingewebt ist.

Akustischer Stoff

Mit piezoelektrischen Fäden lassen sich Mikrofone und Lautsprecher in Textilien integrieren.

In Zukunft sollen Sensoren und Elektronik integrierter Bestandteil unserer Kleidung werden. Eine entscheidende Rolle kommt dabei piezoelektrischen Fäden zu, die sich in Stoffe einweben lassen. Mechanische Verformungen, Feuchtigkeit oder Maschinenwaschgänge dürfen ihnen nichts anhaben. Verschiedene Veröffentlichungen demonstrieren bereits ihr Potenzial. Besonders hybride Ansätze, die anorganische und organische piezoelektrische Materialien gemeinsam nutzen, sind vielversprechend. Die piezoelektrischen Eigenschaften organischer Materialien sind zwar bis zu 200-mal geringer als die anorganischer, dafür sind sie elastisch. Ein Team mehrerer US-Forschungseinrichtungen hat nun solche Fäden und mögliche Anwendungen demonstriert.[1)] Beteiligt waren das Massachusetts Institute of Technology, die Rhode Island School of Design, die Case Western Reserve University, die University of Wisconsin-Madison und das US Army Research Institute of Environmental Medicine.

Die Fäden werden in einem selbst entwickelten Prozess hergestellt, bei dem das mehrschichtige Rohmaterial erwärmt und dann zu einem Faden mit konstantem Durchmesser gezogen und schrittweise polarisiert wird. Der resultierende fadenförmige Sensor besteht aus piezoelektrischen Bariumtitanat-Nanopartikeln, die in einer Lage aus exakt ausgerichteten piezoelektrischen Polymeren verteilt sind. Er liegt zwischen Elektroden und ist von einem Elastomer eingehüllt. Der piezoelektrische Koeffizient dieses Fadens ist doppelt so hoch wie der des Polymermaterials. Vierzig Meter Faden standen für Tests zur Verfügung. Der Faden erwies sich als mechanisch belastbar und bei niedriger Temperatur maschinenwaschbar.

Der Sensor wurde in Stoffe aus gewöhnlichen Materialien eingewoben. Damit der Stoff seine piezoelektrische Wirkung entfaltet, muss der Sensorfaden nur 0,1 Prozent des Volumens ausmachen. Die Beteiligten haben den Sensor umfassend charakterisiert und gezeigt, dass ihr Stoff Schall empfangen und ausstrahlen, die Richtung einer Schallquelle bestimmen und den Herzschlag überwachen kann. Anwendungen liegen etwa in Medizin, Sport, Sicherheit und Robotik.

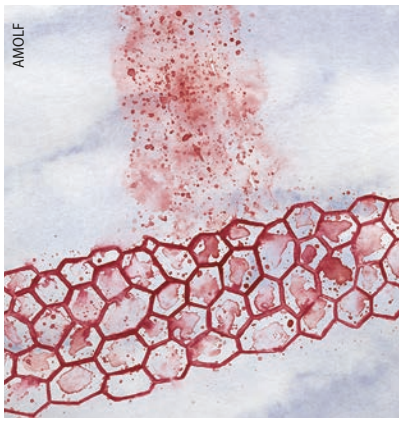
Booster für Solarzellen

Die breitbandige Absorption dünner Siliziummembranen wird durch eine gezielte Oberflächenstrukturierung mehr als doppelt so hoch.

Mikrometerdicke Solarzellen aus kristallinem Silizium wären das ultimative Versprechen aus Kosteneffizienz, Zuverlässigkeit und Ressourcenschonung. Die indirekte Bandlücke des kristallinen Siliziums erschwert jedoch die Absorption von Sonnenlicht, wenn die Zellen dünner als 100 µm werden. Bei dicken Zellen lässt sich dem Problem durch eine nanostrukturierte Oberfläche beikommen, die das Sonnenlicht streut und die Absorptionslänge erhöht. Allerdings müssen die streuenden Strukturen Dimensionen in der Größenordnung der Lichtwellenlänge haben. Bei Zellen, die nur einen Mikrometer dünn sind, funktioniert das also nicht. Ein gemeinsames Team des AMOLF, einem Institut der Niederländischen Organisation für wissenschaftliche Forschung, sowie der britischen University of Surrey und des Imperial College London hat nun eine Nanostrukturierung entwickelt, mit der sich die Absorption dünner Siliziumzellen drastisch steigern lässt.[2)]

Nanostrukturierungen zum Verbessern der Absorption dünner Zellen sind nicht neu. Allerdings klappte der Trick immer nur für bestimmte Wellenlängen und Streuwinkel. Die Forschenden des niederländisch-britischen Projekts nutzten dagegen eine hyperuniforme Strukturierung: Sie ist weitgehend zufällig, was für eine effiziente Lichtstreuung über viele Winkel und Wellenlängen sorgt, aber weist dennoch eine gewisse Ordnung auf, um Licht gezielt in die Ebene der Siliziumstruktur zu streuen. Dieses Verfahren liefert keine einzelne Lösung, sondern die jeweils optimale Strukturierung für ein Anwendungsproblem.

Die Messungen erfolgten an $4{,}8 \times 4{,}8$ mm² großen Siliziummembranen, deren Oberflächen strukturierte und unstrukturierte Abschnitte aufwiesen. Durch diese Art der Oberflächenstrukturierung steigt die Lichtabsorption zwischen 400 nm und 1050 nm auf mehr als das Dop-



AMOLF

Dünne Siliziummembranen absorbieren 65 Prozent des einfallenden Sonnenlichts.

© 2022 Wiley-VCH GmbH

pelte, konkret von 25,5 Prozent auf 66,5 Prozent – umgerechnet auf eine Photostromdichte entspräche das 26,3 mA/cm².

In einer detaillierten Abschätzung, was das für den Wirkungsgrad einer so dünnen Solarzelle bedeuten würde, kommt das Team auf einen Wert von gut 15 Prozent. In Verbindung mit einer besseren Antireflexionsschicht und einem Rückseitenreflektor in der Zelle – gängige Maßnahmen in der heutigen Photovoltaik – lässt sich der Wirkungsgrad womöglich sogar auf über 21 Prozent steigern. Die Solarzellen würden im Vergleich zu heute mit einem Bruchteil an kristallinem Silizium auskommen. Das Labormuster einer solchen dünnen Siliziumzelle wäre der nächste logische Schritt.

Baukasten für 3D-Displays

Durch das Aneinanderfügen mehrerer optischer Einheiten entsteht ein nahtloses großes holografisches Display mit großem Betrachtungswinkel.

CAPE

Ein mit zwei Holobricks erzeugtes holografisches Bild eines Spielzeugzugs (oben) – im Vergleich zu einer Kameraaufnahme des Originals.

Holografische Displays gelten als die ultimative Bildschirmtechnologie, weil sie beliebige Wellenfronten erzeugen können, um realistische räumliche Szenen darzustellen. Damit ein holografisches Display gleichzeitig groß ist und einen großen Betrachtungswinkel bietet, muss ein SLM (Spatial Light Modulator) ein holografisches Interferenzmuster mit ausreichendem Orts-Bandbreite-Produkt erzeugen. Anders gesagt: Das Produkt aus Betrachtungswinkel und Bildfläche wird nur dann groß. Heutige SLMs sind aufgrund ihrer in Geschwindigkeit und Auflösung begrenzten Modulationsfähigkeit dazu allerdings nicht in der Lage. Ein gemeinsames Team der University of Cambridge und Disney Research hat nun ein Konzept praxistauglich weiterentwickelt, das vor knapp zehn Jahren entstanden war: Das Display entsteht dabei aus mehreren standardisierten holografischen Einheiten, die für sich allein genommen zwar keine ausreichende Auflösung und Fläche, aber eine hohe Bildwiederholrate haben.[3)]

Das Team hat die Einheiten „Holobrick“ getauft. Jeder Holobrick erzeugt geneigte 3D-Hologramme, die seiner Lage im Gesamtbild entsprechen. So entsteht ein großes Gesamtbild mit nahtlosen Übergängen, das dank der schnellen Bildwiederholraten der Holobricks auch einen großen Betrachtungswinkel ermöglicht. Das Pendant bei einem 2D-Bildschirm wäre eine Videowand, bei der ebenfalls Display-Kacheln, die jeweils Teilbilder darstellen, nahtlos aneinandergereiht sind.

Jeder Holobrick besteht aus einem SLM zum Erzeugen der geneigten Hologramme, die über einen Scanner auf eine ausgeklügelte Optik geleitet werden, um letztlich die gewünschten Teilansichten für die verschiedenen Betrachtungswinkel zu erzeugen. Der Laboraufbau zur Demonstration des Ansatzes besteht aus zwei Holobricks. Beide unterstützen Vollfarbe, 1024 × 768 Pixel Auflösung, 40° Betrachtungswinkel und 24 Frames pro Sekunde. Damit gelang es, holografische 2D-Bilder (zur Kalibration), holografische 3D-Stereogramme und 3D-Hologramme computergenerierter Objekte darzustellen.

Michael Vogel

1) *W. Yan* et al., Nature (2022), doi: 10.1038/s41586-022-04476-9

2) *N. Tavakoli* et al., ACS Photonics (2022), doi: 10.1021/acsphotonics.1c0166

3) *J. Li* et al., Light Sci. Appl. (2022), doi: 10.1038/s41377-022-00742-7

© 2022 Wiley-VCH GmbH