

■ Kleines Adlerauge

Ein Mikrolinsen-Array erzeugt Bilder mit variabler Auflösung.

Autonome Fahrzeuge oder Überwachungssysteme erfassen im Idealfall mit möglichst wenigen optischen Komponenten einen möglichst großen Teil ihres Umfelds. Die Optiken erreichen zu mindest in der Bildfeldmitte eine

tiv liegt und am Rand das Bild des Weitwinkelobjektivs. Limitierend für eine industrielle Fertigung ist bislang der Druck der Linsen mit Hilfe der Zwei-Photonen-Polymerisation: Die Herstellung eines Objektivs erfordert bis zu zwei Stunden. Anwendungen liegen neben der autonomen Robotik und Sicherheitssystemen auch in der Endoskopie oder bei Minidrohnen.

me erstmals in einem Germanium-basierten Transistor zu vereinen; er verbraucht weniger Energie.

Dies bietet einen weiteren Vorteil: Mit der zusätzlichen Gate-Elektrode lässt sich der undotierte Transistor zwischen n- und p-Leitung dynamisch schalten. Im Vergleich zu einem typischen Logikgatter in CMOS-Technologie spart das Transistoren ein.

■ Sparsam und umschaltbar

Ein Germanium-basierter Transistor vereint niedrige Betriebsspannungen und geringe Leckströme.

Trotz der zunehmenden Miniaturisierung von Transistoren sollen Rechenleistung und Schaltgeschwindigkeit im gewohnten Maße weiter steigen. Dafür bieten sich Materialien mit einer höheren Ladungsträgerbeweglichkeit als Silizium an. Germanium ist so ein Kandidat. Allerdings gibt es drei Herausforderungen: die kostengünstige Integration von dünnen Germaniumschichten auf Silizium-Wafer, die Bildung von hochwertigen Gate-Dielektrika aus dünnen Oxidschichten und eine höhere statische Verlustleistung im Auszustand bei Transistoren. Die ersten beiden Hürden sind eher fertigungstechnischer Natur, die dritte ist grundlegender. Ihre Ursache ist die bei Germanium im Vergleich zu Silizium um rund 40 Prozent geringere Bandlücke. Forschern des Nanoelectronic Materials Lab und der TU Dresden ist es nun gemeinsam gelungen, ein Design zu entwickeln, das diese unerwünschten Leckströme unterdrückt.²⁾

Die Wissenschaftler haben dazu einen Demonstrator gefertigt, der auf einem Feldeffekttransistor fußt. Sie haben den Germaniumkanal, der als Nanodraht ausgeführt ist, zwischen Source und Drain mit zwei Gates versehen, die unabhängig voneinander arbeiten. Sie bilden eine zusätzliche Energiebarriere für den Kanal und blockieren die unerwünschten Ladungsträger. Damit ist es gelungen, niedrige Betriebsspannungen und geringe Leckströ-

■ Energieernte am Fenster

Siliziumquantenpunkte machen eine Polymerscheibe zum leuchtenden Solarkonzentrator.

Gerade in Städten mit dichter Bebauung kommt die Stromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen rasch an ihre Grenzen. Schon länger gelten daher Fenster als nahe liegende Flächen, um die Stromerzeugung aus Sonnenlicht zu steigern. Bewerkstelligen lässt sich das zum Beispiel mit leuchtenden Solarkonzentratoren, die auf direktes und indirektes Licht ansprechen. Ein solcher Konzentrador besteht aus einem scheibenförmigen Kunststoffwellenleiter, der mit einem Luminophor versetzt ist – einem Material, das Licht emittiert, nachdem es mit Licht einer kürzeren Wellenlänge angeregt wurde. Das emittierte Licht gelangt durch



Universität Stuttgart/PI4

Diese vier Linsen unterschiedlicher Brennweite liefern ein Gesamtbild, das eine radial variierende Auflösung hat.

hohe Auflösung. Gut gelöst ist diese Anforderung beim Adler: Er hat wie der Mensch im Zentrum des Gelben Flecks den Bereich schärfsten Sehens, aber zusätzlich am Rand der Netzhaut einen Bereich scharfen Sehens. Das Adlerauge ist also Tele- und Weitwinkelobjektiv in einem. Dieses Prinzip haben Wissenschaftler der Universität Stuttgart auf eine chipintegrierte Optik übertragen.¹⁾

Dazu haben sie vier Mikroobjektive auf einen CMOS-Bildsensor gedruckt. Diese Optiken belegen eine Fläche von weniger als $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ und sind niedriger als $200 \mu\text{m}$. Bei den Objektiven handelt es sich jeweils um Zweilinsen mit Luftspalt und Freiformflächen, um Abbildungsfehler gut zu korrigieren. Bezogen auf das Kleinbildformat haben die Objektive Brennweiten von 31 bis 123 mm, ihre Schärfentiefe reicht von 4 mm bis unendlich. Aus den unterschiedlichen Brennweiten ergeben sich Bildfelder zwischen 20° und 70° .

Die Forscher lesen in dieser Machbarkeitsstudie die aufgenommenen vier Bilder gleichzeitig aus und setzen sie zu einer Ansicht zusammen, bei der im Zentrum das hochauflösende Bild des Teleobjek-

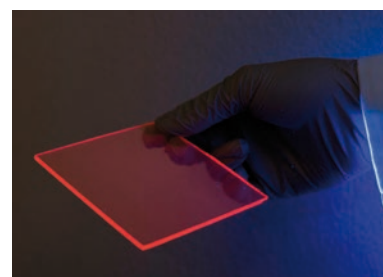
1) S. Thiele et al., Sci. Adv., DOI:10.1126/sciadv.1602655

2) J. Trommer et al., ACS Nano 11, 1704 (2017)

3) F. Meinardi et al., Nat. Photon., DOI:10.1038/nphoton.2017.5

4) Physik Journal, Dezember 2015, S. 18

5) Y. Zhai et al., Science, DOI:10.1126/science.aai7899



Uwe Kortshagen, College of Science and Engineering

Mit UV-Beleuchtung wird die Wirkung des siliziumbasierten leuchtenden Solarkonzentrators besonders augenfällig.

Totalreflexion bis zu den Rändern des Wellenleiters und lässt sich dort mittels Solarzellen umwandeln, die in den Rahmen des Fensters integrierbar wären.

Als Luminophore in Konzentratoren eignen sich kolloidale Quantenpunkte, weil sich bei ihnen Absorptions- und Emissionsbereich

so einstellen lassen, dass sie wenig überlappen. Solche Quantenpunkte enthalten aber häufig Schwermetalle oder Metalle, die selten oder teuer sind. Wissenschaftler der University of Minnesota und der Università degli Studi di Milano-Bicocca haben daher einen leuchtenden Solarkonzentrator entwickelt, der auf Silizium beruht.³⁾ Das Material ist billig, weit verbreitet und nicht toxisch.

Die nanometergroßen Siliziumquantenpunkte stellten die Forscher in einem Plasmareaktor her und betteten sie anschließend als Nanopartikel in die Matrix eines Polymers (Poly-Lauryl-Methacrylat) ein. Die Charakterisierung des Konzentrators ergab eine Effizienz von 2,9 Prozent, Monte-Carlo-Simulationen zeigen ein Potenzial von mehr als fünf Prozent an. Das Forscherteam fertigte auch einen Demonstrator, der sich zum Halbzylinder biegen lässt.

■ Folie zum Kühlen

Ein Polymermaterial mit eingebettetem Siliziumdioxid absorbiert kaum Sonnenstrahlung, aber emittiert im Infrarot.

Gibt ein heißer Gegenstand Schwarzkörperstrahlung durch das atmosphärische Infrarotfenster (8 bis 13 μm) an den Weltraum ab, spricht man von Strahlungskühlung. Sie ist passiv und erfordert keine Energie. Allerdings egalisiert tagsüber die Absorption einfallender Sonnenstrahlung die Wirkung der Strahlungskühlung. Erforderlich für eine erfolgreiche Strahlungskühlung am Tag ist also

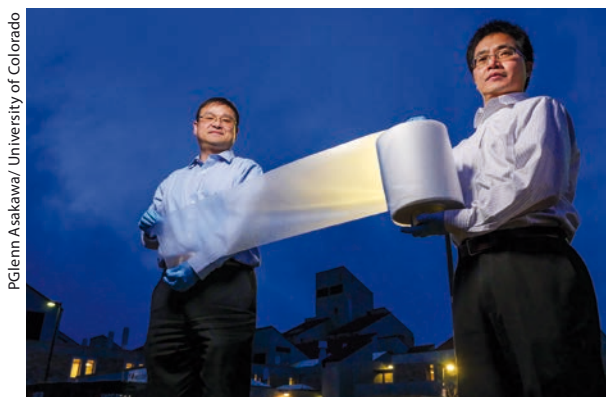
ein Material, das im atmosphärischen Fenster maximal emittiert aber Sonnenlicht nicht absorbiert.

In den vergangenen Jahren gab es hierzu verschiedene Experimente im Labormaßstab. Besonders nanophotonische Ansätze klingen vielversprechend.⁴⁾ Allerdings lassen sich solche Strukturen bislang nicht mit skalierbaren Verfahren herstellen. Forscher der University of Colorado und der University of Wyoming haben diese Hürde gemeinsam elegant umschifft, indem sie ein Polymer mit eingebettetem Siliziumdioxid verwenden: Ein solches Material haben sie als 300 mm breite Endlosfolie in einem Rolle-zu-Rolle-Prozess hergestellt.⁵⁾

Die Wissenschaftler verwenden als Matrixmaterial für ihre Folie Polymethylpenten. In das Polymer lagern sie bei der Herstellung zufällig verteilte Siliziumdioxid-Mikrokugeln ein. Eine 50 μm dünne Folie mit einem Anteil von sechs Volumenprozent Siliziumdioxid-Mikrokugeln hat einen Emissionsgrad von mehr als 93 Prozent und reflektiert 96 Prozent der einfallenden Sonnenstrahlung, wenn die Folienrückseite 200 nm dünn mit Silber beschichtet ist. Der hohe Emissionsgrad im atmosphärischen Fenster geht auf starke Phonon-Polariton-Resonanzen der Mikrokugeln zurück.

Ein dreitägiger Feldversuch ergab, dass die Folie in den Mittagsstunden im direkten Sonnenlicht eine durchschnittliche Strahlungskühlung von 93 W/m^2 erreicht. Mögliche Einsatzfelder sind die Kühlung von Gebäuden, Solarkraftwerken oder Photovoltaikanlagen.

Michael Vogel



Diese strahlungskühlende Folie erreicht eine Leistung von 93 W/m^2 .