

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen verdeutlichen den Aufbau des neuen Vliesstoffes.

Viel Strom, wenig Wärme

Ein Vlies vereint widersprüchliche Materialeigenschaften in sich.

Für gewöhnlich besitzen Materialien mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit auch eine hohe thermische Leitfähigkeit. Für die Energieumwandlung, miniaturisierte Elektronik oder Hochtemperaturbrennstoffzellen wäre aber eine geringe thermische Leitfähigkeit wünschenswert. Das lässt sich mit verschiedenen Ansätzen erreichen. Ein Team der Universität Bayreuth hat nun ein Vlies entwickelt, das nanometergroße Inseln einer siliziumbasierten Keramik in den Fasern einer Kohlenstoffmatrix enthält.¹⁾

Die Beteiligten stellen die Vliese im Elektrospinnverfahren her. Dabei entstehen endlose Nanofasern aus einer Polymerlösung mithilfe eines äußeren elektrischen Feldes. Die keramische Phase ist homogen in der Kohlenstoffphase verteilt. Vermutlich entstehen die widersprüchlichen Eigenschaften aufgrund der erhöhten Dichte der Grenzflächen zwischen den beiden ungleichen Materialien, der geringen Porengröße und der zufällig verteilten Netzwerkstruktur aus festen Fasern. In Faserrichtung beträgt die thermische Leitfähigkeit $20 \text{ mW} / (\text{m K})$, die elektrische $4,2 \text{ S} / \text{cm}$.

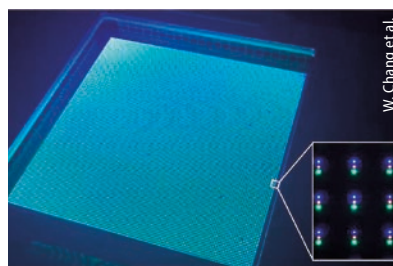
Umfassende Tests haben gezeigt, dass das Vlies seine elektrische Leitfähigkeit auch nach 5000 Zyklen aus mechanischem Falten und Entfalten behält und sich als mechanisch recht beständig erweist. Zudem ist es aufgrund der Keramisierung nicht ent-

flammbar und thermisch sehr stabil. Einer kostengünstigen Herstellung im industriellen Maßstab steht nichts im Weg, weil die Ausgangsmaterialien im Handel erhältlich und ohne Modifikationen nutzbar sind.

Selbstanordnung ausgenutzt

Ein neues Transferverfahren bringt die nächste Leuchtdioden-Generation wirtschaftlich auf große Displayflächen.

Mikro-LEDs gelten als eine mögliche Technologie für künftige Displays mit extrem hoher Pixeldichte, weil sie besonders kleine Abmessungen haben. Um mit ihnen große Bildschirme wirtschaftlich herzustellen, muss ein Transferverfahren die Mikro-LEDs auf große Glasflächen aufbringen, für TV-Displays zum Beispiel auf mehrere Quadratmeter. Bisher gelang dies nur mit unbefriedigender Fehlerrate. Ein Team des südkoreanischen Display-Herstellers LG Electronics hat nun ein Verfahren entwickelt, das bei einem Demonstrator 99,98 Prozent Ausbeu-



Der Demonstrator verfügt über funktionierende Subpixel mit Emissionsmaxima bei 451 nm , 532 nm und 630 nm .

te erreichte: Von den $43\,200$ RGB-Mikro-LEDs eines $100 \times 100 \text{ mm}^2$ großen Displays waren nur zehn defekt.²⁾

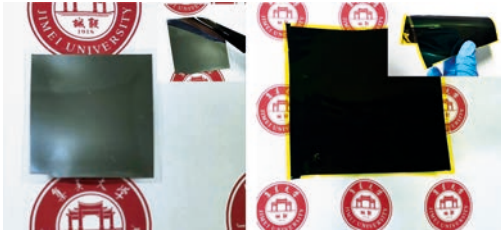
Die Beteiligten nutzten eine flüssigkeitsbasierte Selbstanordnungstechnologie. Die Mikro-LEDs verhalten sich wie kleine elektrische Dipole. Weil an ihrer Unterseite eine Metallschicht sitzt, die anderen Seiten aber passiviert sind, richten sie sich in einem äußeren elektrischen Feld aus. Außerdem enthalten die Mikro-LEDs Nickel. Das ferromagnetische Material spricht auf Magnete an, die unter der Substratfläche passend angeordnet werden. Die Kombination aus langreichweitig wirkendem Magnetfeld und der kurzreichweitigen dielektrophoretischen Kraft des elektrischen Feldes sorgt dafür, dass sich die Mikro-LEDs nur an den vorgesehenen Vertiefungen im Glas ansiedeln.

Das Team hofft, die Methode mit der etablierten Aktivmatrix-Technologie für die elektrische Ansteuerung der Displays kombinieren zu können. Auch der Pixelabstand muss noch sinken. Beim Demonstrator betrug das recht grobe Raster $834 \mu\text{m}$.

Strom für lau

Ein passiver dünner thermoelektrischer Generator liefert durchgängig Energie.

Das Internet der Dinge braucht häufig eine wartungsfreie, ununterbrochene Energieversorgung, zum Beispiel für Sensoren im Freien. Als naheliegende Lösung kommen passive thermoelektrische Generatoren (TEG) infrage, die eine Temperaturdifferenz in eine Spannung umwandeln. Weil dies bei möglichst großen Unterschieden am besten funktioniert, kombinieren verschiedene Demonstratoren einen breitbandigen Absorber mit einem Element, das Strahlungswärme im atmosphärischen Fenster zwischen 8 und $13 \mu\text{m}$ ins All abgibt. Bislang ließen sich wirkungsvolle Dünnschichtabsorber jedoch nicht einfach herstellen. Einer gemeinsamen Forschungsgruppe der Jimei University, Xiamen, der University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, und der Zhejiang University, Zhoushan, ist dies nun gelungen.³⁾



Strahlungskühler (links) und Absorber des thermoelektrischen Generators lassen sich auch auf flexiblen Substraten fertigen.

Der Absorber besteht aus insgesamt acht Schichten aus Eisen, Siliziumdioxid, Titan und Magnesiumfluorid unterschiedlicher Stärken. Die Materialien und Schichtdicken stellen möglichst viele Resonanzen bei verschiedenen Wellenlängen des Sonnenlichts zur Absorption bereit: Im Spektralbereich von 300 bis 1200 nm absorbiert das 0,4 μm dünne Bauteil durchschnittlich fast 96 Prozent. Als Strahlungskühler dient eine 200 μm dicke Schicht aus PMMA (Polymethylmethacrylat), deren Emissivität im atmosphärischen Fenster bei mehr als 98 Prozent liegt.

Bei Tests im Freien erreicht ein so ausgerüsteter TEG Temperaturdifferenzen von 12,7 °C an einem Sonnentag, 1,1 °C in einer klaren Nacht und 5,1 °C an einem bewölkten Tag. Die nutzbare Leistung betrug entsprechend 879 mW/m^2 , 3,9 mW/m^2 und 287 mW/m^2 . Für den TEG auf einem elastischen Substrat hat die Gruppe bisher keine Kennwerte veröffentlicht.

Gedruckte Filter

Tintenstrahlgedruckte Interferenzfilter ergänzen klassisch hergestellte.

In vielen Anwendungen spielen optische Interferenzfilter eine wichtige Rolle. Normalerweise erfolgt deren Beschichtung in Vakuumanlagen durch Aufdampfen oder Kathodenzerstäubung. Ein Gruppe vom Karlsruher Institut für Technologie hat nun optische Filter hoher Güte mittels Tintenstrahlgedruckte hergestellt.

Entscheidend sind dabei die Viskosität und Löslichkeit der Tinten, die es entsprechend einzustellen

gilt. Die Substratoberfläche muss die richtigen Benetzungseigenschaften aufweisen. Für die wechselnde Abfolge der interferierenden Schichten dienten beim Machbarkeitsnachweis als niedrigbrechendes Material PMMA (Polymethylmethacrylat) und als hochbrechendes Titandioxidnanopartikel, die in einer Polymermatrix eingebettet waren. Damit ließen sich vergleichbar viele Schichten wie bei konventionell hergestellten Filtern und Spiegeln realisieren und der gesamte optische Spektralbereich abdecken. Eine ausreichende Homogenität



Beim Tintenstrahlgedruckte sind die Eigenschaften optischer Filter gezielt einstellbar.

der Schichten zu erreichen, stellt kein Problem dar. Herausfordernder ist es, die Zahl der Defekte gering zu halten. Mit den verfügbaren Druckern stellen die Beteiligten hochwertige Filter bis zur Größe DIN A4 her.

Die Technologie stellt keinen Ersatz für etablierte Fertigungsverfahren dar, sondern eine Ergänzung für kleine Losgrößen, große Flächen oder Freiformflächen. Das energieeffiziente, materialsparende additive Verfahren könnte Filter für spektroskopische Anwendungen, etwa in der industriellen Analytik oder in Hyperspektralkameras, liefern. Auch Designelemente wie Logos oder Schriftzüge ließen sich durch den Tintenstrahlgedruckte auf funktionalen Flächen aufbringen, zum Beispiel auf Solarmodulen. Eine Ausgründung ist in Vorbereitung.

Michael Vogel

Ultrakurzpuls Diagnostik



- Neuer Autokorrelator
- Mikroskopie-Autokorrelator
- Spektrometer
- SPIDER
- FROG

Besuchen Sie uns!
Messe München
 27. bis 30. Juni
 Stand B2.410


 www.ape-berlin.de

1) X. Liao et al., *Sci. Adv.* **9**, eade6066 (2023)

2) W. Chang et al., *Nature* (2023),
 DOI: 10.1038/s41586-023-05889-w

3) J. Liu et al., *Opt. Express* **31** (2023), 14495