



Mit dem neuen Verfahren lassen sich komplexe Objekte in veränderbaren Strukturfarben dreidimensional drucken.



Farben mit Struktur

Mit Kern-Schale-Partikeln gelingt der 3D-Druck von komplexen Objekten in schillernden Farben.

Oft beruht die Farbwirkung einer Fläche auf der Absorption oder spezifischen Reflexion eines Wellenlängenbereichs des sichtbaren Lichts. Strukturfarben jedoch entstehen durch Bragg-Reflexion respektive -streuung, etwa bei Schmetterlingsflügeln. Sie lassen sich aber auch technisch erzeugen, etwa durch die Herstellung geeigneter dünner Schichten. Allerdings gab es bislang noch keine 3D-gedruckten Strukturfarben an komplexen zentimetergroßen Objekten. Dies ist nun einem Team der Universität des Saarlandes gelungen.¹⁾

Hierzu nutzte es Kern-Schale-Partikel auf Polymerbasis. Solche Partikel bestehen aus einem harten Kern, der mit einer weichen Schale vernetzt ist. Die Durchmesser lassen sich zwischen 100 und 500 nm einstellen. Das Team erzeugte die Partikel mit einem etablierten Polymerisationsverfahren. Durch Zugabe von wenigen Gewichtsprozent Rußpartikeln verbessert sich die Absorption von diffusum Licht in der Strukturfarbe. Mit einem Extruder ließ sich das Gemisch homogenisieren und verdichten. Extruder pressen einen zähplastischen Werkstoff durch eine Düse und erzeugen so einen Strang definierten Quer-

schnitts, der als Ausgangsmaterial für den 3D-Druck dient. Aufgrund der hohen Scherkräfte kommt es hierbei zur Selbstorganisation der Partikel, also zu einem kolloidalen Kristall. Durch den periodisch wechselnden Brechungsindex zwischen Kern und Schale tritt Bragg-Streuung auf. Entscheidend hierfür war es, die Fließeigenschaften und Glasübergangstemperatur des Gemisches an die Bedingungen des 3D-Drucks anzupassen. Durch mechanische Verformung des gedruckten Objekts verschiebt sich sein Farbmaximum um bis zu 100 nm im Spektrum.

Prinzipiell können Kern-Schale-Polymerpartikel neben mechanischen Kräften auch auf andere externe Auslöser reagieren, etwa auf Temperaturdifferenzen, elektrische Felder oder den pH-Wert. Mögliche Anwendungen liegen etwa in den Bereichen Fälschungssicherheit, smarte Sensorik und smarte optische Beschichtungen.

Dämpfend und durchlässig

Ein Silbernetz schirmt elektromagnetische Strahlung ab, lässt aber optische Signale passieren.

Elektromagnetische Abschirmungen von optoelektronischen Geräten erfordern an den optischen Fenstern im Infrarot eine hohe Transparenz. Ein Beispiel ist die Freistrahlkommunikation, bei der Informationen mit Gigabit/s übertragen werden müssen, bei gleichzeitiger Abschirmung im Mikrowellenbereich. Ein Team

der chinesischen Zhejiang University an den Standorten Hangzhou und Ningbo hat nun dafür ein elastisch verformbares Silbernetz entwickelt, das hohe optische Transparenz mit starker elektromagnetischer Abschirmung verbindet.²⁾

Die Silberstrukturen befinden sich auf einem 50 µm dicken Polyethylen-substrat. Sie haben eine Periode von 150 µm; die Linien sind 6 µm breit und 220 nm hoch. Zum Schutz befindet sich über dem Netz eine 60 µm dicke Schicht des Polymers PDMS. Das Team hat dieses Sandwich umfassend charakterisiert. Die Gesamtstruktur erreicht eine Transparenz von etwa 85 % bei 550 nm Wellenlänge und bei 1500 nm, eine der „Telekommunikationswellenlängen“. Insgesamt ist die Schicht im gesamten Spektralbereich zwischen 0,4 und 20 µm transparent. Gleichzeitig schwächt das Sandwich die Strahlung im X-Band (8 GHz bis 12 GHz) um bis zu 26 dB. Bislang wurden solche Werte kaum erreicht.

Die Funktion des Sandwichs blieb nach zweistündigen Bädern in wässrigen Säuren und Laugen erhalten. Auch 1000 Biegezyklen mit Radien von 1,5 mm oder händisches Verdrehen schadeten nicht. Beide Polymerschichten weisen große Kontaktwinkel auf, was auf eine selbstreinigende Wirkung hindeutet.

Anwendungen finden sich in der Fernerkundung und -detektion, primär aber im militärischen Bereich. Womöglich wäre die Abschirmwirkung auch für manche Mobilfunkbänder interessant.

Energieautarker Gassensor

Ein chipintegrierbares Nanodraht-Array weist Stickstoff empfindlich nach.

Die Anwendungen für Stickoxidsensoren reichen von Umweltüberwachung über Arbeitsplatzsicherheit bis zur Gesundheitsvorsorge. Für das Internet der Dinge müssen diese Sensoren winzig sein, Messungen in Echtzeit durchführen und im Idealfall energieautark funktionieren. Ein australisches Team hat nun das Labormuster für einen chip-integrierbaren NO₂-Sensor vorgelegt, der empfind-

1) L. Siegwadt und M. Gallei, Adv. Funct. Mater. 2023, 2213099

2) Q. Lei et al., Opt. Mater. Express 13, 469 (2023)

3) S. Wei et al., Adv. Mater. 2022, 2207199



Der Sensor wurde für die Messung am Auspuffrohr in eine Mikrocontrollerplatine integriert, die ein USB-Interface hat.

lich, selektiv, skalierbar und energieautark arbeitet.³⁾ Beteiligt waren die Australian National University in Canberra, die University of Sydney und die Forschungsorganisation CSIRO.

Das Sensorprinzip beruht auf einer pin-Photodiode, die in einem Indiumphosphid-Nanodraht-Array umgesetzt ist. Dieses besteht aus hexagonalen Säulen mit 100 nm Durchmesser und knapp 4 µm Höhe. Die Basis der Nanodrähte ist mit Zink dotiert und bildet den p-Bereich; die Spitze der Drähte ist mit Silizium dotiert und bildet den n-Bereich. Fällt Licht auf den Heteroübergang, fließt ein Strom. Gelangt Stickstoffdioxid an den intrinsischen Bereich, sinkt der Strom, weil das Molekül stark oxidierend wirkt, also wandernde Elektronen anzieht.

Der Sensor weist eine 84-prozentige Ansprechempfindlichkeit bei einer NO₂-Konzentration von 1 ppm auf, seine Nachweisgrenze reicht bis zu weniger als 1 ppb. Bei einer geringen Lichtintensität von 50 W/m² gelang der Nachweis noch bei einer Konzentration von 100 ppb Stickstoffdioxid. Zunächst erfolgten Tests im Labor, später bestimmte der Sensor die NO₂-Konzentration am Auspuffrohr eines Pkw.

Schaltbare Aktivierung

Photokatalytisch ertüchtigte Oberflächen ermöglichen ressourcenschonende Anwendungen.

Photokatalytische Substanzen verändern den energetischen Zustand von Oberflächen. Das lässt sich ausnutzen, um etwa selbstreinigende, antibakte-

rielle oder katalytisch wirkende Flächen herzustellen. Um solche Funktionalitäten industriell zu nutzen, bedarf es entsprechender skalierbarer Produktionsverfahren. Ein gemeinsames Team des Fraunhofer-Instituts für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP und der Von Ardenne GmbH, beide in Dresden, ist es gelungen, Dünnglas photokatalytisch zu beschichten. Der Demonstrator liegt in Form einer 30 cm breiten, 20 m langen Rolle vor.

Das Team trug Titandioxid auf das 100 µm dicke Glas in Schichtstärken zwischen 50 und 200 nm in einem Rolle-zu-Rolle-Prozess per Magnetron-Sputtern als kristalline Struktur auf. Durch die gewählte Temperatur und die Prozessparameter lassen sich die gewünschten Mikrostrukturen des TiO₂ gezielt erzeugen. In geeignet kristallinem Titandioxid entstehen bei Bestrahlung mit UV-Licht Elektron-Loch-Paare, die an die Oberfläche der dünnen Schicht wandern. Eine solche Oberfläche ist mittels UV-Licht zwischen zwei Zuständen schaltbar: Zunächst sind die Schichten hydrophob, doch nach etwa einer Stunde unter Sonneneinstrahlung werden sie superhydrophil, Wasser benetzt



Eine hydrophobe TiO₂-Beschichtung (oben) wird unter UV-Licht superhydrophil.

sie also vollständig. Der Vorgang ist reversibel. Interessant wäre das etwa für selbstreinigende Flächen, die mit dem Dünnglas ertüchtigt sind.

Nun wollen die Forschenden das TiO₂ mit Stickstoff und Silber dotieren, damit die Elektron-Loch-Paare bereits beim Einfall von sichtbarem Licht entstehen. Ziel ist es, Oberflächen so zu aktivieren, dass sie einfallendes Licht noch effektiver für eine Stoffumwandlung nutzen können. Interessant wäre dies zum Beispiel für die chemische Grundstoffindustrie.

Michael Vogel

OPTIK IST UNSERE ZUKUNFT



Alles für Ihren Optik-Bedarf aus einer Hand!

Ihr Lieferant für Optik, Photonik und Bildverarbeitung:

- Riesiges Inventar mit über 34.000 versandbereiten Produkten
- Kontinuierliche Erweiterung unserer Produkte und Angebote
- Technischer Support unterstützt bei Auswahl des passenden Produkts
- Globales Unternehmen mit über 80 Jahren Erfahrung im Bereich der Optik

Erfahren Sie mehr unter:

www.
edmundoptics
.de



Kontaktieren Sie uns:

+49 (0) 6131 5700 0
sales@edmundoptics.de

eo Edmund
optics | worldwide