

Die neuen Strukturfarben sind polarisations- und betrachtungswinkelunabhängig.

Materialsparende Farbe

Plasmonische Kavitäten ermöglichen industriell herstellbare Strukturfarben.

Kommerziell erhältliche Farben beruhen auf Pigmenten, die das einfallende weiße Licht selektiv absorbieren. Doch die Farben leiden im Lauf der Zeit und enthalten womöglich Schadstoffe. Strukturfarben, bei denen der Farbeindruck durch Beugung an mikro- oder nanometergroßen Strukturen entsteht, gelten daher als Alternative. Ein amerikanisch-mexikanisch-kanadisches Team unter Führung der University of Central Florida in Orlando hat nun eine Technologie entwickelt, um betrachtungswinkel- und polarisationsunabhängige Strukturfarben industriell herzustellen.¹⁾

Basis dafür ist eine nanometerkleine plasmonische Kavität. Sie besteht aus einem spiegelnden Aluminiumsubstrat, das von einer Oxidschicht überzogen ist. Hierauf platziert das Team per Elektronenstrahlverdampfung unter Ausnutzung von Selbstorganisation Nanocluster aus Aluminium. Fällt Licht auf die Kavität, kommt es zu einer komplexen Wechselwirkung, die spezifische Resonanzfrequenzen erzeugt. So entsteht der Farbeindruck. Er ist durch die Größe und räumliche Verteilung der Nanocluster, durch den Brechungsindex ihrer Umgebung und durch die Dicke der Oxidschicht steuerbar.

So lassen sich sehr viele Farben eines standardisierten Farbraums abdecken, nur Grüntöne nicht. Dafür hat das Team zwei unterschiedliche Größen von Aluminium-Nanoclustern, also quasi zwei Grundfarben, in der Kavität miteinander kombiniert.

Zwar entsteht die plasmonische Strukturfarbe auf sehr unterschiedlichen Substraten, auch auf weichen, aber immer müssen sie vakuumgeeignet sein. Zudem lassen sich damit keine großen Flächen rasch bedecken. Die Forschenden haben daher spiegelbildliche Doppel-Kavitäten auf einer Opferschicht erzeugt. Befreit von der Opferschicht bleiben Flocken übrig, die gemischt mit einem Bindemittel wie klassische Farbpigmente aufzutragen sind. Bereits Schichtdicken von 100 nm statt zig Mikrometer reichen aus. Auf eine Boeing 747 umgerechnet wären das 1,3 kg statt 500 kg.

Brillanz hoch, Effizienz stabil

Eine starke Licht-Materie-Kopplung verbessert organische Displays ohne Nachteile.

Die meisten Smartphones besitzen heute Displays, die organische Leuchtdioden (OLEDs) nutzen. Für künftige Anwendungen sollten OLEDs aber eine noch höhere Farbsättigung und Helligkeit erreichen, ohne die Energieeffizienz zu verschlechtern. Einem Team der Universität zu Köln und der University of St. Andrews in Schottland ist es gelungen, durch starke Kopplung von Licht und Materie den OLEDs diese wünschenswerten Eigenschaften einzuhauchen, ohne dass Energieeffizienz und Betrachtungswinkel leiden.²⁾

Ein optischer Resonator kann die relativ breiten Emissionen von OLEDs deutlich verringern, allerdings zu dem Preis einer starken Blickwinkelabhängigkeit, durch die sich die Farbe der

OLEDs verändert. Durch die starke Kopplung eines dispersionslosen Exziton-Zustands lässt sich diese Blickwinkelabhängigkeit unterdrücken. Doch damit die so erzeugten Exziton-Polaritonen Licht abgeben, ist elektrisches Pumpen erforderlich, was bislang nur mit geringer Quantenausbeute möglich war. Hier hat das Team angesetzt: Es fügte in den OLED-Stapel eine Schicht ein, welche die Emission der Photonen von der Entstehung der Polaritonen entkoppelt.

Die Labormuster von grünen und roten OLEDs besaßen eine externe Quantenausbeute von maximal zehn Prozent und Leuchtdichten von mehr als 20 000 Candela/m² bei 5 V. Die Quantenausbeute liegt damit um mindestens eine Größenordnung über bislang veröffentlichten Werten, die Leuchtdichte sogar um mindestens zwei Größenordnungen.

Aus Krabben gebeugt

Krabbenpanzer bilden die Ausgangsbasis für bioabbaubare Beugungsgitter.

Auf den Philippinen fallen jährlich riesige Mengen an Abfällen durch den Verkauf von Fischen und Meeresfrüchten an – bei Krabben sind es etwa 70 Prozent des Gesamtgewichts. Deren Panzer haben teils einen sehr hohen Chitin-Anteil. Chitin ist ein Polysaccharid, aus dem durch Deacetylierung Chitosan entsteht. Dieses Polymer ist biologisch abbaubar und ungiftig. Da es in der Forschung bereits teils synthetische Polymere ersetzt, hat ein Team der Ateneo de Manila University ein Verfahren er-



Aus Krabbenpanzern lassen sich bioabbaubare Beugungsgitter herstellen.

probt, um aus Chitosan bioabbaubare Beugungsgitter herzustellen.³⁾

Nach der gründlichen Reinigung der Krabbenpanzer gewann das Team das Chitosan durch Demineralisierung, Entproteinisierung, Depigmentierung und Deacetylierung. Dieses Verfahren erfordert Chemikalien und zu viel Wasser. Es gebe laut den Beteiligten aber einen nachhaltigeren Weg durch Fermentation mit Mikroben.

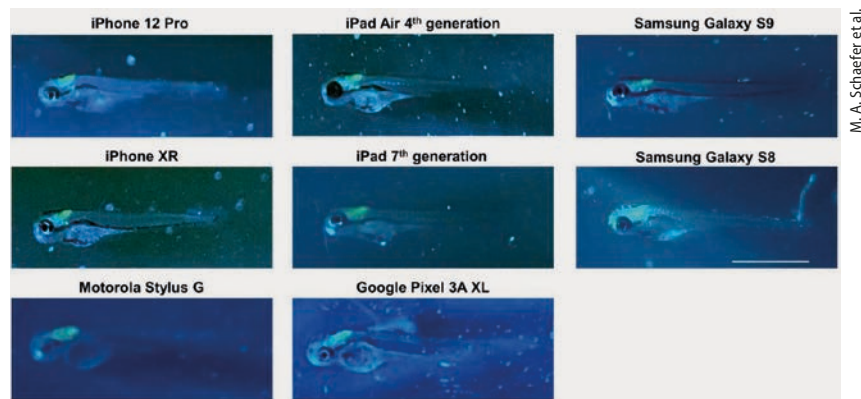
Aus dem letztlich vorliegenden Chitosanpulver erzeugten sie eine Lösung, die sie in eine Polymerform gossen und aushärten ließen. Diese als Soft-Lithografie bekannte Technik ist ein kostengünstiger Standardprozess in der Industrie. Die Formen ermöglichten es, Beugungsgitter mit 600 bzw. 1200 Linien/mm herzustellen. Optische und mechanische Eigenschaften der Chitosanbeugungsgitter ähnelten denen aus etablierten Materialien. Auch die optische Wirkung der Gitter war ebenbürtig. Tests zur Langzeitstabilität fanden nicht statt.

Ein mögliches Einsatzgebiet der bioabbaubaren Beugungsgitter sind Einmal-Spektrometer für den Feldeinsatz.

Mikroskop für 50 Dollar

Mit einem Smartphone und wenigen weiteren Komponenten erreicht ein Mikroskop 10 μm Auflösung.

Die Fluoreszenzmikroskopie ist ein Standardwerkzeug in Forschung und Industrie. Je nach Einsatzzweck kos-



Fluoreszenzaufnahmen mit verschiedenen Smartphones und Tablets verdeutlichen die Möglichkeiten des billigen Aufbaus.

ten diese Geräte zwischen einigen tausend und einigen hunderttausend US-Dollar. Ein Team der Winona State University in Minnesota hat ein Fluoreszenzmikroskop entwickelt, das neben einem Smartphone nur noch Investitionen in Höhe von etwa 50 US-Dollar erfordert – allerdings bei Großhandelspreisen.⁴⁾ Die Auflösung erreicht 10 μm .

Die Beteiligten haben ihren Ansatz mit verschiedenen Tablets und Smartphones getestet. Als Anregungsquelle diente eine LED-Leuchte, wie sie für Fischer oder Jäger angeboten wird. Die Digitalgeräte waren mit einer Aufsteckmakrolinse ausgestattet, die etwa fünffach vergrößert. Als Filter dienten Folienfilter aus der Theatertechnik. Aus etwas Plexiglas und Holz entstand die Halterung für die Komponenten.

Dieser Aufbau ermöglichte Aufnahmen von grün beziehungsweise rot fluoreszierendem Gewebe. Als

Untersuchungsobjekte dienten Zebrafisch-Embryonen, bei denen sich der Herzschlag und -rhythmus sowie Details des zentralen Nervensystems erfassen ließen. Die Embryonen waren maximal 3 mm groß. Unter Verwendung einer frei zugänglichen Software zur Nachbearbeitung war in den Videos die Bewegung der einzelnen Herzkammern zu erkennen.

Das Team hat das System getestet und charakterisiert, um die Grenzen auszuloten. Bevorzugtes Anwendungsfeld ist die Lehre. Denkbar sei der Einsatz des „Gloscope“ auch im Labor, falls viele Fluoreszenzmikroskope gleichzeitig erforderlich seien.

Michael Vogel

1) P. Cencillo-Abad et al., *Sci. Adv.* **9**, eadf7207 (2023)

2) A. Mischok et al., *Nat. Photonics* (2023), DOI: 10.1038/s41566-023-01164-6

3) E. G. Gumayan et al., *Appl. Opt.* **62**, 2487 (2023)

4) M. A. Schaefer et al., *Sci. Rep.* **13**, 2722 (2023)

