

Die Metalinse der Kamera erreicht eine erstaunliche Abbildungsqualität (links) verglichen mit einer konventionellen Optik.



Megagute Metalinse

Eine breitbandige Kamera mit einer Metaoptik weist ein großes Gesichtsfeld und eine gute Abbildungsqualität auf.

Metalinsen könnten bei Kameras für einen starken Miniaturisierungsschub sorgen. Denn oft sind die Optiken der limitierende Faktor bei der Verkleinerung eines Systems. Bisherige Ansätze zeigen starke Abbildungsfehler, wenn sie einen breiten Spektralbereich und ein großes Gesichtsfeld abdecken sollen. Ein Team der Princeton University und der University of Washington hat nun ein System mit einer Metalinse entwickelt, dessen Bildqualität bei natürlichem Licht mit der eines sechslinsigen Objektivs vergleichbar ist, abgesehen von Randbereichen.¹⁾ Das Volumen des neuen Systems ist um den Faktor 500 000 kleiner.

Das System deckt nahezu polarisationsunabhängig einen Spektralbereich von 400 bis 700 nm ab, hat ein Gesichtsfeld von 40° und eine Blende von 2. Als Metalinse dient eine 500 µm große Ansammlung aus 1,6 Millionen Siliziumnitrid-Säulen, die 705 nm hoch und 100 bis 290 nm dick sind. Die Projektbeteiligten haben die Metalinse simuliert. Aufgrund des immensen Rechenaufwands entwickelten sie ein Modell der Linse, um die Zahl der möglichen Säulenkombinationen zu reduzieren, ohne die Bildqualität zu verschlechtern. Für die Entfaltung trainierten sie ein neuronales Netz anhand einer erlernten Mustererkennung, nicht anhand der Intensitäten der Rohdaten.

Profitieren könnten Robotik und Medizintechnik. Eine Vision wäre eine Oberfläche, gespickt mit Kameras, wie die Rückseite eines Smartphones.

Kompakter Drucker

Ein neuer Ansatz erlaubt noch kleinere und günstigere 3D-Nanodrucker.

Der 3D-Nanodruck ist in der Forschung unverzichtbar geworden, um winzige 3D-Strukturen mit hoher Auflösung herzustellen. Das Verfahren beruht auf der Zwei-Photonen-Absorption, bei der das Lichtfeld eines Lasers die Elektronen eines Photoinitiators durch gleichzeitige Absorption zweier Photonen mittels eines kurzlebigen, virtuellen Zwischenzustands in einen angeregten Zustand befördert. Dann setzt eine chemische Reaktion ein, die das flüssige Monomer vernetzt. Bei stark fokussiertem Laserstrahl erfolgt diese Reaktion in einem Volumen, dessen lineare Dimensionen viel kleiner als 1 µm sind. Scannen des Laserstrahls ermöglicht größere Strukturen.

Der erforderliche Femtosekundenlaser macht den 3D-Nanodrucker jedoch relativ sperrig und teuer. Einem Team des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Universität Heidelberg ist es nun gelungen, mittels Laserdioden vergleichbare,

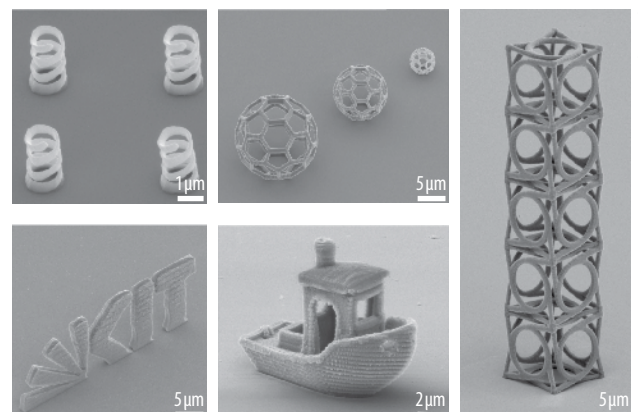
teils sogar bessere Ergebnisse zu erzielen.²⁾ Dies würde Kosten und Größe solcher Geräte drastisch reduzieren.

Entscheidend hierfür war der Wechsel zu einer Zwei-Stufen-Absorption: Dabei tritt kein virtueller Zwischenzustand auf, sondern einer, der ohne das Lichtfeld ausreichend lange existiert. Die Zwei-Stufen-Absorption gibt es etwa im Photoinitiator Benzil, einem kristallinen organischen Feststoff. Die Forschenden haben den neuen Prozess physikalisch und chemisch beschrieben und 3D-Nanostrukturen damit gedruckt. Als Strahlquelle diente eine Laserdiode mit etwa 100 µW Leistung im Fokus bei 405 nm Wellenlänge. Angenehmer Nebeneffekt: Durch den geringeren Leistungseintrag kam es zu keinen Mikro-Explosionen, die beim 3D-Nanodruck mittels Zwei-Photonen-Absorption aufgrund von Verunreinigungen auftreten können.

Sensorik fürs Grobe

Eine Technologieplattform ermöglicht die systematische Entwicklung von widerstandsfähigen Sensorsystemen.

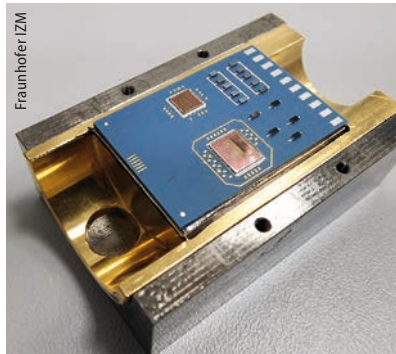
Sensorik für extrem raue Umgebungen, etwa hohe Temperaturen oder hoher Druck, muss sehr robust sein. Häufig hilft es, aus Standardbauteilen solche auszuwählen, die aufgrund der Schwankungsbreite der Fertigung am oberen Rand ihres Toleranzbereichs liegen. Das ist einerseits aufwändig, andererseits sinkt die Lebensdauer dieser Bauteile, weil sie eigentlich nicht für extreme Einsatzbedingungen vorgesehen waren. Acht



Die Zwei-Stufen-Absorption ermöglicht den Druck filigraner Mikrostrukturen.

Fraunhofer-Institute, koordiniert durch das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS in Duisburg, sind dieses Problem systematisch angegangen: Sie haben eine Technologieplattform für die Entwicklung besonders widerstandsfähiger Sensoren erarbeitet.

Dabei konzentrierten sie sich zunächst auf Sensoren für hohe Temperaturen oder Drücke. Anwendung finden solche Systeme vor allem bei Bohrungen, etwa in der Geothermie, beziehungsweise bei Kraftwerks- und Flugzeugturbinen. Der Baukasten umfasst Technologien auf der Ebene von Chips, Verbindungstechniken, Platinen und Gehäusen, um letztlich eine durchgehend optimierte Lösung entwickeln zu können. Zum Beispiel



Keramische Leiterplatte mit hochtemperaturtauglicher Elektronik

geht es bei hohen Umgebungstemperaturen darum, die einzelnen Komponenten eines Sensorsystems so miteinander zu verbinden, dass sie sich auch bei wiederholtem Erhitzen und Abkühlen aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten nicht voneinander ablösen. Hierfür kommen etwa Leiterplatten aus hitzebeständigen Keramiken zum Einsatz, oder den Leiterbahnen wird Wolfram beigemischt.

Die Technologieplattform ist für Sensoren bis 500 °C beziehungsweise 20 bar ausgelegt. Entsprechende Systeme wären in der Lage, die Messungen unmittelbar auszuwerten. Die Projektbeteiligten sind bereits im Gespräch mit potenziellen Interessenten. Erweiterungen der Technologieplattform wären denkbar, etwa auf kryogene Temperaturen oder aggressive Flüssigkeiten und Gase.

Mit Energie versorgt

Mikrobatterien lassen sich mit Logikchips auf Silizium-Substraten fertigen.

Das Internet der Dinge benötigt bei chipbasierten Komponenten eine integrierte Energieversorgung – durch Energieernter oder Mikrobatterien. Bislang beruhen solche Mikrobatterien auf Lithiumionen-Technologie, mit einem lithiumhaltigen Material als Kathode und einer Anode aus Kohlenstoff. Silizium wäre mit seiner hohen Speicherfähigkeit für Lithiumionen ein verlockendes Material für die Anode. Zudem ließe sich eine solche Batterie chipintegriert auf einem Silizium-Wafer fertigen: Seite an Seite mit Logikbausteinen. Ein gemeinsames Team der TH Deggendorf, der TU Graz und Infineon hat nun eine solche Mikrobatterie vorgestellt.³⁾

Lagern sich Lithiumionen in eine Siliziumanode ein, schwillt deren Volumen stark an. Durch Strukturieren der Anode als gleichmäßig angeordnete winzige Siliziumsäulen gelang es, die in der Folge entstehenden Risse im Silizium zu unterbinden. Die Anode besteht aus einkristallinem Silizium und einer rückseitigen Aluminiumschicht als Stromabnehmer. Eine Kammer aus gebondetem Glas, rückseitig mit einer Aluminiumschicht bedeckt, bildet die Kathode. In der Kammer befindet sich das Kathodenmaterial, ein Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminiumoxid. Als Separator dient eine Glasfaser, die mit dem flüssigen Elektrolyten getränkt ist.

Das Labormuster einer 1,5-mAh-Zelle erreicht Energiedichten von 30 mWh cm⁻² und hohe Leistungsdichten bis zu 100 mW cm⁻². Nach hundert Lade-Entlade-Zyklen bei 10 mAh cm⁻² war die Kapazität kaum gesunken. Sämtliche Prozessschritte in der Herstellung sind kompatibel mit einer Massenfertigung. Anwendungen gäbe es zum Beispiel in der Luftfahrt, der Automobilbranche, der Medizin- und der Sicherheitstechnik.

Michael Vogel

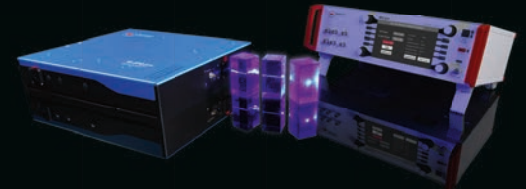
1) E. Tseng et al., Nat. Commun. **12**, 6493 (2021)

2) V. Hahn et al., Nat. Photonics **15**, 932 (2021)

3) M. Starnad et al., Adv. Mater. Technol. (2021), DOI: 10.1002/admt.202100405

harmonic²

World leading efficiency ranging from deep UV to near infrared



Frequency Converted

Tunable Diode Laser

205 .. 780 nm, up to 20 W

TA-SHG pro & TA-FHG pro

- Fully integrated system
- Superior passive stability
- Convenient remote operation
- Guaranteed system specs
- 19" rack integration option

Contact our experts for discussing the integration in your setup



www.toptica.com/harmonic