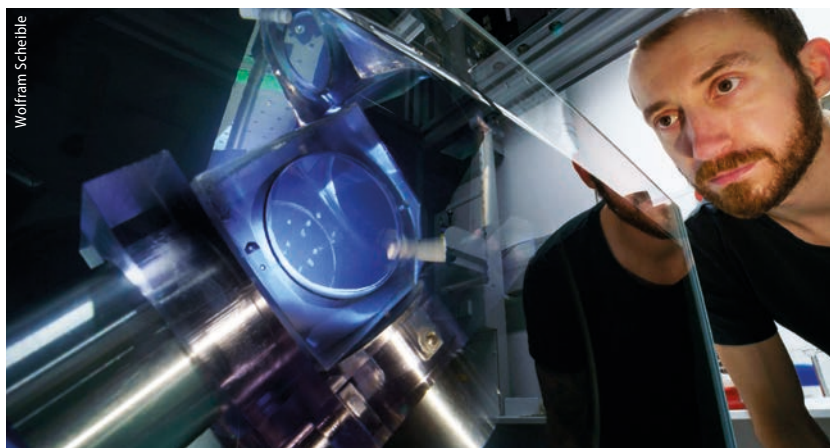




In der blau erleuchteten Kammer erzeugt Ultraschall dreidimensionale Strukturen.

3D-Druck in einem Rutsch

Komplexe Ultraschallfelder formen räumliche Objekte aus Mikroteilchen.

Wenn sich Partikel oder biologische Zellen gezielt dreidimensional anordnen lassen, eröffnet das neue Möglichkeiten in Medizin und Biologie, beispielsweise bei der gezielten Abgabe von Wirkstoffen oder der Herstellung von Gewebe. Ein Team mehrerer Forschungseinrichtungen hat kürzlich ein Verfahren demonstriert, das in einem Schritt ohne chemische oder mechanische Belastungen dreidimensionale Figuren erzeugt.¹⁾ Beteiligt waren Forschende des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung in Heidelberg, der Universität Heidelberg, des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme in Tübingen sowie des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik in St. Ingbert.

Das Verfahren beruht auf Ultraschall. Das Team ordnet die Schall-erzeuger (Transducer) orthogonal zueinander an, sodass deren Achsen sich in der Mitte eines würfelförmigen Volumens mit 60 Millimetern Kantenlänge schneiden. Das Volumen befindet sich zusammen mit den Transducern unter Wasser; es fanden aber auch Experimente mit konventionellen Küvetten oder Probenröhrchen statt. Die Apertur der Transducer beträgt 50 mm, ihre Zentralfrequenz 2,25 MHz. Damit lassen

sich Strukturen herstellen, die kleiner als ein Millimeter sind. In jedem Transducer erzeugt ein 3D-gedrucktes computergeneriertes Hologramm das gewünschte dreidimensionale Interferenzschallfeld, sodass die Figur auf einen Rutsch entsteht.

Mit dem System gelang es, Glas- und Hydrogelkugeln sowie biologische Zellen anzuordnen, etwa in definierten Abständen oder in Helix-Form. Befinden sich die Partikel in einem langsam aushärtenden Hydrogel, kann dieses die Figuren auch fixieren.

Kompakt stapelbar

Ein neues Fertigungsverfahren macht Mikro-Leuchtdioden stapelbar.

Um Augmented- und Virtual-Reality-Displays im Freien und in der Nähe der Augen zu verwenden, braucht es sehr helle Geräte mit extrem hoher Pixeldichte. Nur dann wirkt der projizierte Anblick wie ein Teil der Realität. Ein vielversprechender Ansatz dafür sind Mikro-Leuchtdioden (μ LEDs), die als Vollfarbpixel vertikal übereinander liegen und nicht wie in klassischen Displays als Rot-, Grün- und Blau-Subpixel nebeneinander.

Dazu müssen die Subpixel separat gefertigt und anschließend gestapelt werden. Allerdings funktioniert das Abheben einzelner Schichten mit etablierten Epitaxie-Verfahren nur bei einer Dicke von einigen Mikrometern zuverlässig, sonst leidet ihre Funktionalität. Gleichzeitig dürfen vertikale μ LED-Stapel nicht höher als zehn

Mikrometer sein, um Fehler bei der Lithografie zu vermeiden. Beides hat nun ein Team aus den USA, Frankreich und Südkorea kombiniert.²⁾

Beteiligt waren zehn Forschungseinrichtungen unter der Führung des Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, des CNRS in Metz und der Universität Sejong in Seoul. Das Team entwickelte ein Verfahren, mit dem sich perfekte zweidimensionale einkristalline Materialien auf verschiedenen Wafern wachsen und anschließend abheben lassen. Zwischen diese Subpixelmembranen waren spezifische Polymerschichten eingefügt, welche die Pixel sowohl verbinden als auch filtern. Jedes Pixel im vertikalen Stack ist nur 9 μ m hoch und hat einen Querschnitt von $4 \times 4 \mu\text{m}^2$.

Die Farbe der Labormuster lässt sich über die angelegten Spannungen steuern. Die μ LEDs deckten fast den gesamten kommerziell gebräuchlichen Farbraum ab. Mit dem Verfahren entstanden auch die höchsten Pixeldichten, die bislang veröffentlicht wurden: 5100 Pixel pro Inch (ppi); Flachbildschirme kommen mit 100 bis 500 ppi aus. Ein Vollfarb-Pixel-Array gibt es aber noch nicht. Bislang existiert ein monochromes Display aus 30×30 blauen μ LEDs mit etwa 1800 ppi Auflösung. Ein Dünnschicht-transistor-Array, hergestellt aus einer 300 nm dünnen Siliziummembran, steuert das Display an.

Sensor für Quecksilber

Ein Tellur-Nanodraht-Array nutzt den triboelektrischen Effekt.

Gefährliche Chemikalien unmittelbar im Feld rasch nachzuweisen, ist wichtig für die Umweltüberwachung und die innere Sicherheit. Der relativ hohe Energiebedarf, unzureichende Selektivität und Sensitivität begrenzen heutige Technologien für den praktischen Feldeinsatz. Der neu entwickelte triboelektrische Nanosensor eines Teams zweier asiatischer Universitäten überwindet diese Limitierungen.³⁾ Beteiligt waren die taiwanische National Tsing Hua University in Hsinchu und die südkoreanische Chung-Ang University in Seoul.

1) K. Melde et al., Sci. Adv. **9**, eadf6182 (2023)

2) J. Shin et al., Nature **614**, 81 (2023)

3) S. Barman et al., ACS Nano **17**, 2689 (2023)

4) M. de Zoysa et al., Optica **10**, 264 (2023)



Der triboelektrische Nanosensor befindet sich an der Fingerspitze der Roboterhand.

Es handelt sich um einen chemischen Sensor, der elektrische Energie nutzt. Bei der Triboelektrizität bilden sich durch den Reibungskontakt zweier Materialien Oberflächenladungen. Das elektrische Ausgangssignal hängt stark davon ab, welche Menge des Analyten an der Kontaktfläche adsorbiert. Der Demonstrator weist Quecksilber-Ionen (Hg^{2+}) nach.

Als Detektor kommt eine Anordnung aus Tellur-Nanodrähten zum Einsatz. Die hohe Bindungsaffinität von Hg^{2+} zu Tellur verwandelt die Drähte in Kern-Schale-HgTe-Nanodrähte mit veränderten triboelektrischen Polaritäten. Der Analyt Hg^{2+} lag für den Nachweis unmittelbar in wässriger Lösung vor. Ein solcher Fest-Flüssig-Kontakt ist sehr viel langlebiger als ein häufig bei triboelektrischen Nanosensoren verwendeter Fest-Fest-Kontakt.

Das Team hat seinen Sensor umfassend charakterisiert und an mehreren Lösungsmitteln und Lebensmittelproben getestet. Selektivität und Sensitivität ergaben sich aus verschiedenen

Metallionen und Konzentrationen. Die Messergebnisse liegen innerhalb einer Minute vor. Der lineare Bereich des Sensors erstreckt sich von zehn Nanomol bis zehn Mikromol Schadstoffkonzentration. Weil das Material der Nanodrähte den Analyten bestimmt, ist die Methode auf weitere problematische Stoffe anwendbar.

Umfeld verlässlich erfassen

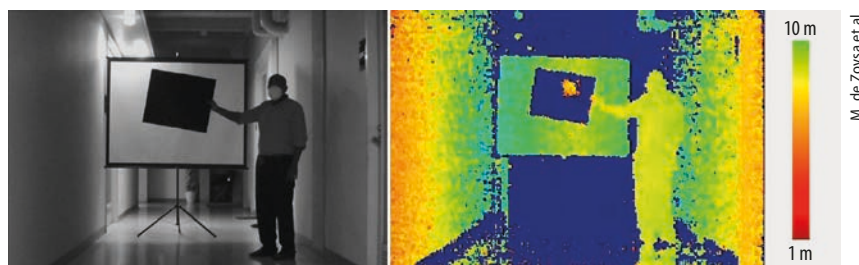
Ein Lidar mit zwei Betriebsmodi arbeitet unabhängig vom Reflexionsgrad.

Lidar-Systeme für autonome Roboter, Fahrzeuge oder Drohnen sind ein rasant wachsendes Forschungsfeld: Sie erfassen Distanzen von Objekten in der Umgebung dreidimensional. Halbleiterbasierte Lidar-Systeme nutzen oft Arrays aus Oberflächenemittern als Laserquelle, die das Umfeld mit extrem kurzen Lichtpulsen bei Wiederholraten im niedrigen Megahertz-Bereich ausleuchten. Aus der Lichtlaufzeit des reflektierten Signals ergibt sich die Entfernung zu einem Objekt. Allerdings beeinflusst bei

einem solchen Flash die Reflektivität des beleuchteten Objekts maßgeblich die Detektion. Zum Beispiel ist ein schwarzes Fahrzeug schwieriger zu erkennen als ein weißes; dieses sättigt aber den Detektor schneller. Um das zu umgehen, hat ein gemeinsames Team der Universität Kyoto und zweier japanischer Firmen nun eine Lösung präsentiert.⁴⁾

Die Beteiligten kombinierten ein Flash-Lidar mit einem Abtaststrahl. Dazu nutzen sie doppelt modulierte photonische Kristalllaser, die sie auf einem Chip anordnen. Das Laser-Array dient dem Abtasten; für die Flash-Beleuchtung verbreitern sie den Strahl durch eine geeignete Modulation. Erkennt der Detektor ein schwach reflektierendes Objekt im Gesichtsfeld, wird es vom Abtaststrahl automatisch beleuchtet. Mit der erforderlichen Elektronik und einer Time-of-Flight-Kamera als Detektor passt das System in die Handfläche. Tests des 3D-Lidars verliefen an stark und schwach reflektierenden Objekten in Abständen von 1,5 und 10 Metern mit Erfolg.

Michael Vogel



Messsituation (links) und farbcodiertes Abstandsbild des Lidar: Den gelblichen Fleck auf der dunklen Fläche hat der Abtaststrahl erhellt.

M. de Zoysa et al.

Die Eduard-Rhein-Stiftung lädt ein zur Preisverleihung

Die Erfinder von Dünnschichttransistoren für Displays und der Kryptographie auf Basis elliptischer Kurven werden mit Technologiepreisen ausgezeichnet.

Für die Verbindung von Forschung und Lehre mit Popularisierung der Wissenschaft und sein gesellschaftliches Engagement wird

Prof. Harald Lesch

mit dem Kulturpreis ausgezeichnet.

Zudem verleiht die Stiftung den Eduard-Rhein-Jugendpreis und den Konrad-Zuse-Jugendpreis.

Die feierliche Preisverleihung mit Festvortrag von Harald Lesch findet am **10. Juni 2023** in München statt. Das ausführliche Programm finden Sie unter <https://www.eduard-rhein-stiftung.de/>.

Wenn Sie teilnehmen möchten, senden Sie bitte eine Mail an info@eduard-rhein-stiftung.de.

