

■ Sparsames Licht

Leuchtdioden können in der chipbasierten optischen Kommunikation Laserdioden ersetzen.

Der rein optischen Informationsübertragung gehört die Zukunft, weil nur sie Datenraten im Bereich von Giga- und Terabit pro Sekunde bei äußerst geringem Energieverbrauch ermöglicht. Für die optische Kommunikation sind viele Komponenten nötig, die integriert

Das Prinzip der Leuchtdiode können die Forscher auf andere III-V-Halbleiter und passende Verstärkermaterialien übertragen und damit sehr unterschiedliche Systemcharakteristiken verwirklichen.

■ Wenn alles abgleitet

Dank einer Nanostruktur wirkt eine fluoridierte Beschichtung aus Silikat extrem wasser- und ölabweisend.

Brillen, Fensterscheiben oder auch Glasflächen von medizintechnischen bzw. Laborgeräten haben eins gemeinsam: Sie verschmutzen. Inzwischen gibt es Beschichtungen, an denen Wassertropfen kaum noch hängen bleiben. Bei solchen super-hydrophoben Schichten ist der Kontaktwinkel (zwischen Schicht und Tropfentangente) größer als 150 Grad und der Abrollwinkel (die Neigung der Schicht, ab der es kein Halten mehr gibt) kleiner als zehn Grad. Allerdings gilt das nicht für organische Flüssigkeiten. Ganz selten sind Beschichtungen super-amphiphob, also gleichzeitig extrem wasser- und ölabweisend. Genau so eine Technik haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung in Mainz und der TU Darmstadt entwickelt.²⁾ Sie machten sich dabei die Nanostruktur einer Rußschicht zunutze.

Dazu hielten die Forscher ein Deckglas über eine Kerzenflamme und beschichteten die vom Ruß geschwärzte Fläche mit Siliziumoxid. Der Ruß auf dem Deckglas setzt sich aus 30 bis 40 nm großen Partikeln zusammen, die sich in einem lockeren, fraktalartigen Netz anordnen, ähnlich einem Schwamm. Wenn die Forscher die Gesamtstruktur auf 600 °C erhitzen, verbrennt der Ruß, und zurück bleibt die Beschichtung. Sie wird dabei zwar dünner, behält jedoch ihre Struktur und Rauigkeit bei. Die Schicht ist durchsichtig, weil ihre Dicke weit unterhalb der Wellenlänge des sichtbaren Lichts liegt. Bei 500 nm Wellenlänge sinkt die Lichtdurchlässigkeit des Glases durch die Beschichtung um weniger als zehn Prozent.

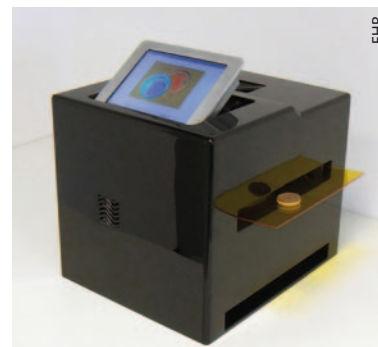
Schließlich wird das Siliziumoxid durch eine Gasphasenabscheidung mit einem Fluorsilan hydrophobisiert. Selbst Flüssigkeiten wie das dünnflüssige Öl Hexadekan, das selbst Teflon benetzt, bleiben auf dieser Beschichtung als Tropfen liegen. Für eine technische Nutzung müssen die Forscher noch die mechanische Abriebfestigkeit dieser super-amphiphoben Schicht verbessern. Bislang ist ihnen das nur über dickere Beschichtungen gelungen – auf Kosten der Transparenz.

■ Sanfte Kontrolle

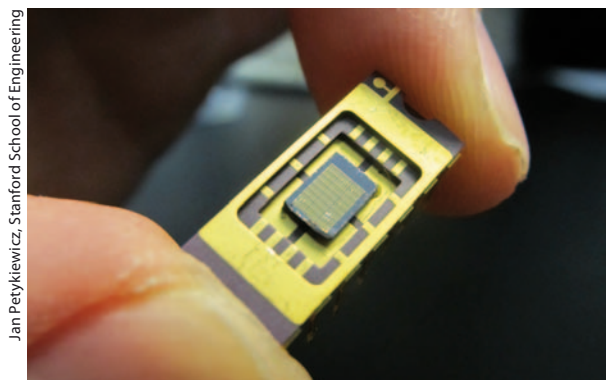
Mit einem Millimeterwellensensor lassen sich undurchsichtige Stoffe detailliert analysieren.

Produkt- und Qualitätskontrollen in der Industrie müssen zuverlässig und automatisiert ablaufen. Entsprechende technische Lösungen beruhen auf optischen, spektroskopischen oder Röntgenverfahren. Jede Methode hat ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Eine bislang eher randständige Rolle spielt die Analyse mit Millimeterwellen, obwohl diese Strahlung nicht ionisierend ist und beispielsweise sogar unterschiedliche Füllungen von Pralinen an deren Absorptionsverhalten erkennt.

Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik (FHR) in Wachtberg haben einen Millimeterwellenscanner aufgebaut, der eine Fläche von 30 × 30 cm² innerhalb einer halben Minute erfasst. Der Demonstrator besteht primär aus kommerziell erhältlichen, kostengünstigen Bauteilen und wiegt nur



Der Millimeterwellensensor hat die Dimensionen eines Laserdruckers.



Der Chip auf diesem Träger enthält hunderte der integrierten Leuchtdioden, die die Stanford-Wissenschaftler entwickelt haben.

auf Chips zu einer durchgängigen Gesamtlösung beitragen. Wissenschaftler der Stanford School of Engineering und des Lawrence Berkeley National Laboratory haben das Labormuster einer Leuchtdiode vorgestellt, die deutlich weniger Energie verbraucht als ein integrierter Laser.¹⁾

Die on-chip-LED kann zehn Gigabit pro Sekunde übertragen und benötigt dabei 2000-mal weniger Energie als die besten gebräuchlichen on-chip-Diodenlaser. Rechnerisch kommt die LED auf einen Energieverbrauch von 0,25 Femtojoule pro übertragenem Bit, während Energie sparende Laser, die heute in der Datenübertragung Verwendung finden, bei etwa 500 Femtojoule pro Bit liegen. Die LED funktioniert bei Raumtemperatur.

Für die LED haben die Wissenschaftler Quantenpunkte aus Indiumarsenid in einen photonischen Kristall eingefügt. Den Kristall haben sie direkt ins Halbleitermaterial geätzt. Er fungiert als Resonator, koppelt also nur LED-Licht einer bestimmten Wellenlänge aus. Weil die LED sich damit rein elektrisch steuern lässt, sparen sich die Forscher einen separaten Modulator, wie er bei Laserdioden üblich ist.

1) G. Shambat et al., Nat. Commun., 15. November 2011 (doi: 10.1038/ncomms1543)

2) X. Deng et al., Science Express, 1. Dezember 2011 (doi: 10.1126/science.1207115)

3) A. R. Lingley et al., J. Micromech. Microeng., 21, 125014 (2011)

20 kg. Damit ist er auch mobil einsetzbar.

Im Gehäuse liegen sich Send- und Empfangsantennen, die bei einer Frequenz von 78 GHz arbeiten, gegenüber. Sie sind auf rotierenden Scheiben angebracht, um die Messspitzen über die Probe zu bewegen. Eine Analysesoftware rechnet die Kreisbewegung in eine Linearbewegung um. Schließlich stellt ein Display den Inhalt der untersuchten Probe in Echtzeit dar. Sowohl Amplitude als auch Phase der Millimeterwellen sind messbar.

Die FHR-Wissenschaftler planen bereits ein Gerät, das bei 2 THz arbeitet. Damit ließe sich dann bestimmen, aus welchem Kunststoff ein Produkt besteht. Bei 78 GHz existiert keine signifikante Spektrallinie, sodass die Forscher nur Dämpfung bzw. Dielektrizitätskonstante messen können. Außerdem passen die Wissenschaftler das Verfahren an die Verhältnisse einer Produktionsstraße an. Da es dort besonders auf Geschwindigkeit ankommt, verwenden die Forscher dafür eine Sensorenzeile, um die Messzeit zu verkürzen.

■ Sehen wie der Terminator

Eine Kontaktlinse mit integrierter Optoelektronik weist den Weg zu künftigen Displays, die man direkt im Auge tragen kann.

In Zukunftsszenarien taucht immer wieder der Begriff der Augmented Reality auf. Die Idee dahinter sind Displays, mit deren Hilfe sich virtuelle Informationen der realen Welt überlagern lassen. Interessant könnten solche Szenarien für Computerspiele sein, aber z. B. auch für die Orientierung in fremden Umgebungen. Die konsequenteste Umsetzung der hierfür erforderlichen Displaytypen wäre eine Kontaktlinse mit integriertem Pixelfeld. Arnold Schwarzeneggers bionische Augen im Film „Terminator“ zeigen, dass Hollywood dabei schon einen großen Schritt weiter ist als die Forschung. Immerhin ist es nun Wissenschaftlern der University of Washington in Seattle und der Uni-



Im Auge des Kaninchens: Das Pixel des Kontaktlinsendisplay leuchtet dank der drahtlosen Energieversorgung auf.

versität Aalto im finnischen Espoo gelungen, eine Machbarkeitsstudie vorzulegen.³⁾

Sie fertigten eine Kontaktlinse, in die eine Funkantenne, metallische Kontakte, Isolationsschichten und ein transparenter, $750 \times 750 \mu\text{m}^2$ großer Saphirchip mit einer LED integriert sind. Die Leuchtdiode emittiert Licht bei 475 nm. Dieses Ein-Pixel-Display konnten die Forscher drahtlos aus einer Entfernung von 1 m betreiben. Befand sich die Kontaktlinse im Auge eines betäubten Kaninchens, sank die Distanz allerdings auf 2 cm.

Da das menschliche Auge keine Objekte scharf sehen kann, die sich direkt auf einer Kontaktlinse befinden, fertigten die Forscher zudem Fresnel-Linsen, durch die die Bildebene auf der Netzhaut zu liegen kommt. Diese Linsen haben die Wissenschaftler direkt in die Kontaktlinsen graviert.

Das Forscherteam macht keinen Hehl daraus, dass es bis zum Display im Auge noch ein weiter Weg ist. Eine Herausforderung ist die Energieversorgung: Reichweiten von wenigen Zentimetern reichen nicht aus. Ein weiteres Problem ist das bislang für die Kontaktlinse verwendete Substrat: PET lässt zu wenig Sauerstoff durch, was schädlich für das Auge ist. Die Forscher müssen ihre Fertigungsprozesse also an verträglichere Substratmaterialien anpassen. Bislang konnten sie auch nur kleine Arrays mit roten oder blauen LEDs im Labor fertigen, grüne stehen noch aus, ebenso große Pixelflächen – und damit auch die Möglichkeit, eine hochauflösende Vollfarbdarstellung zu verwirklichen.

Michael Vogel