

■ Klein und empfindlich

Mit Hilfe von Nanopartikeln lassen sich schwache Magnetfelder ohne Abschirmung bei Raumtemperatur erfassen.

Die Messung von Magnetfeldern ist häufig mit hohem Aufwand verbunden. Entweder mangelt es an zeitlicher oder räumlicher Auflösung, oder es sind abgeschirmte

des Interferometers lassen sich Störungen in der Umgebung fast vollständig eliminieren. Die Empfindlichkeit des Sensors beträgt $20 \text{ fT} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$. Durch eine weitere Miniaturisierung des Sensors scheinen räumliche Auflösungen von etwa $10 \text{ }\mu\text{m}$ und zeitliche in der Größenordnung von 1 ms möglich.

Ein Array aus solchen Sensoren würde es erlauben, ein mobiles MRT-Gerät aufzubauen, um Kopfverletzungen auszuschließen – etwa nach Sportunfällen oder bei Militäreinsätzen. Prinzipiell wäre der Sensor aber auch für Messungen in der Exploration oder Vulkanologie interessant. Zunächst aber wollen die Wissenschaftler seine Langzeitstabilität untersuchen.

ner CMOS-Technologien ist und daher separate Verstärker erforderlich macht. Das schränkt die Chip-Integration der Komponenten ein.

Wissenschaftlern der Harvard University in Cambridge, Massachusetts, und der Nokia Bell Labs in Holmdel, New Jersey, ist es nun gelungen, monolithisch integrierte LN-Modulatoren herzustellen, die dieses Problem nicht mehr haben²⁾. Die Forscher haben ein Verfahren entwickelt, um mit gängigen Plasmaätzmethoden Mikroresonatoren in dünnen LN-Schichten zu erzeugen. Davon ausgehend ist es möglich, chip-integrierte Modulatoren zu fertigen, für die CMOS-kompatible Spannungen von $1,4 \text{ V}$ ausreichen und die trotzdem Datenraten von $210 \text{ Gigabit pro Sekunde}$ aufweisen. Rein physisch schrumpft das Volumen der so gefertigten Labormuster um das Hundertfache gegenüber kommerziellen LN-Modulatoren.

Die Projektpartner bereiten nun eine Ausgründung vor, um ihre Entwicklung in Produkte zu überführen.

■ Klein und vollständig

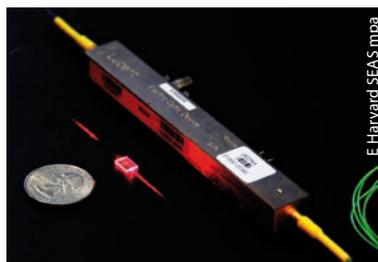
Ein erweitertes Lasertriangulationsverfahren macht Positionsmessung und Steuerung eines Roboterarms voneinander unabhängig.

Damit ein Roboterarm weiß, wo er sich in Relation zum Werkstück befindet, benötigt er eine Sensorik. In der Automobilindustrie und vielen anderen Branchen beruhen diese Sensoren oft auf der Lasertriangulation: Dabei fällt ein linienförmiger Laserstrahl auf das Werkstück und seine Reflexion auf eine Kamera. Aus der Stelle, wo die Reflexion auf den Kamerasensor trifft, leiten sich Position und Abstand des Werkstücks ab. Das Verfahren erreicht eine hohe Auflösung, allerdings lässt sich die Trajektorie des Roboterarms nicht unabhängig von den Ergebnissen der Triangulation programmieren, weil der Strahlengang nicht immer unverschattet bleibt. Das Problem

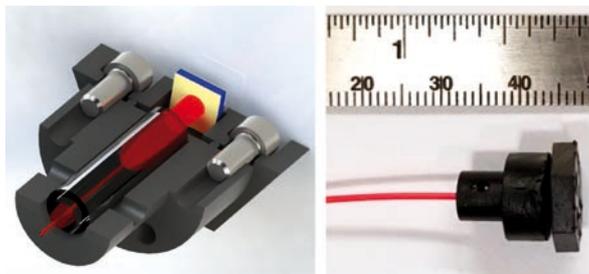
■ Klein und schnell

Die Chip-Integration von Lithium-Niobat-Schichten ermöglicht effizientere Telekommunikationsnetze.

Elektro-optische Modulatoren wandeln mit hoher Rate elektronische Signale in optische um. Sie sind entscheidende Komponenten in heutigen Telekommunikationsnetzen. Diese Modulatoren beruhen hauptsächlich auf Lithium-Niobat (LN), einem Material, dessen Eigenschaften ideal sind, um extrem schnelle Modulationen bei niedriger Betriebsspannung und geringen optischen Verlusten zu erreichen. Doch LN-Modulatoren sind bislang schwer zu mikrostrukturieren, sodass ihre fast idealen Eigenschaften bei kommerziell erhältlichen Bauteilen verloren gehen. Zum Beispiel benötigen sie Betriebsspannungen zwischen 3 V und 5 V , was höher als die moder-



Der chip-integrierte Lithium-Niobat-Modulator (Mitte) ist kleiner und leistungsfähiger als heutige Modulatoren.



Die Größe des optischen Sensors zur Magnetfeldmessung lässt sich auf den Durchmesser der roten Faser reduzieren.

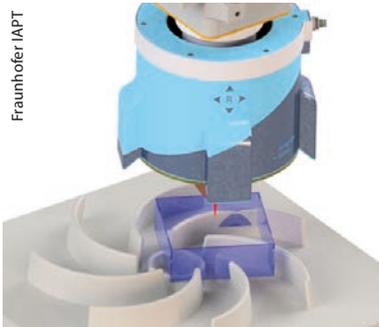
Labore bzw. tiefe Temperaturen erforderlich. Also gibt es einen erkennbaren Verbesserungsbedarf. Wissenschaftler der University of Arizona in Tucson, der belgischen Universität Leuven und zweier arizonischer Firmen haben nun einen rein optischen Magnetfeldsensor entwickelt, der viele dieser Nachteile nicht hat.¹⁾

Dieser nutzt den Faraday-Effekt aus: Wenn ein äußeres Magnetfeld auf ein geeignetes Material wirkt, ändert sich die Polarisations Ebene eines durchgehenden Lichtstrahls – in diesem Fall in einem Interferometer – und damit das gemessene Signal. Als geeignetes Material haben die Wissenschaftler Nanopartikel identifiziert, die sie in eine Polymermatrix einlagerten. Die Nanopartikel bestehen aus Dysprosium-dotiertem Magnetit und Kobalt-Ferrit und wurden hinsichtlich Gleichmäßigkeit und Größe optimiert.

Um die Leistungsfähigkeit des Sensors zu demonstrieren, haben die Projektbeteiligten schwache Magnetfelder bei Raumtemperatur gemessen: das Magnetfeld, das durch die neuronale Aktivität im Gehirn entsteht und Feldstärken zwischen 50 fT und 500 fT erreicht, sowie das Magnetfeld, welches das schlagende Herz erzeugt. Dank

1) B. Amirsolaimani et al., Opt. Lett. 43, 4615 (2018)

2) C. Wang et al., Nature (2018), DOI: 10.1038/s41586-018-0551-y



Der Lichtvorhang (blau) des neuen Sensors ermöglicht den Rundumblick.

ist auf verschiedene Weisen lösbar, allerdings bringen die diversen Ansätze andere Nachteile mit sich, etwa hohe Kosten, zusätzlichen messtechnischen Aufwand, notwendige Zusatzbeleuchtungen oder einen größeren Bauraum.

Forscher der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT in Hamburg sind folgenden Weg gegangen: Sie arbeiten mit mehreren Kameras und mehreren Lasern, um einen 360°-Lichtvorhang zu erzeugen. Die Laserlinien decken alle Raumrichtungen ab. Mindestens zwei Kameras empfangen das Licht jeder reflektierten Linie, sodass diese sich immer eindeutig zuordnen lässt. Zur konkreten technischen Ausführung des Sensors äußern sich die Wissenschaftler noch nicht, weil sie ein Patent beantragt haben. Ihr Sensor benötigt nur ungefähr halb so viel Bauraum wie eine kreuzförmige Anordnung aus vier klassischen Triangulationssensoren.

Derzeit fertigen die Forscher einen Prototyp an. Wie eine kommerzielle Verwertung erfolgen könnte, ist Bestandteil der Diskussion. Von einer Ausgründung bis zu einer Lizenzierung ist alles denkbar.

■ Klein und energiereich

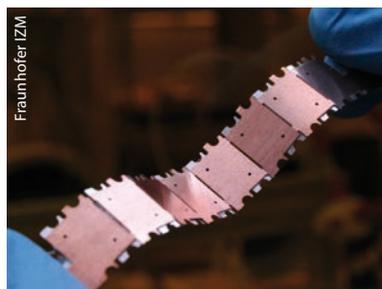
Dank Segmentierung werden Mikrobatterien biegsam, ohne an Energiedichte einzubüßen.

Nach dem Smartphone gilt körpernah getragene Elektronik als der nächste Schritt in Sachen Mobile Computing and Sensing. Ein wichtiger Aspekt ist dabei immer die Energieversorgung. Die bil-

ligste Lösung ist die Knopfzelle, allerdings schränkt sie aufgrund ihrer Größe die Designfreiheit der mobilen Elektronik ein. Deshalb werden spezifische Formfaktoren bei aufladbaren und Primärzellen wichtiger. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin entwickeln solche anwendungsspezifischen Zellformate. Dazu bedienen sie sich Strukturierungsmethoden, wie sie bei Siliziumwafern und feinen Leiterplatten etabliert sind.

Ein Beispiel ist eine Lösung, die sich als Armband einer Smart Watch oder anderer Sensoren am Handgelenk tragen ließe. Das Problem dabei: Die Energiedichte stark biegsamer Batterien ist schlecht, weil ein Zellstapel aus Elektroden und Folien dabei an manchen Stellen gedehnt, an anderen gestaucht wird – das schadet der Langlebigkeit der Batterie. Zudem ist die Energiedichte von stark biegsamen kleinen Batterien niedrig. Die IZM-Forscher haben sich bei einem Demonstrator daher für ein segmentiertes Konzept entschieden, ähnlich den Gliedern eines Uhrarmbands. Die einzelnen Batterieglieder sind über einen flexiblen Verbinder miteinander kontaktiert und zum Schutz vor Umwelteinflüssen insgesamt von einem Polymer umgeben. Mit der segmentierten Lithium-Ionen-Batterie im Armband lassen sich Kapazitäten von 300 mAh erreichen. Das ist eine Größenordnung mehr als das, was direkt im Uhrgehäuse verwendete Energiespeicher von kommerziellen Smart Watches bieten.

Michael Vogel



Mechanisch flexible Batteriestreifen aus segmentierten Mikrobatterien erreichen hohe Kapazitäten.