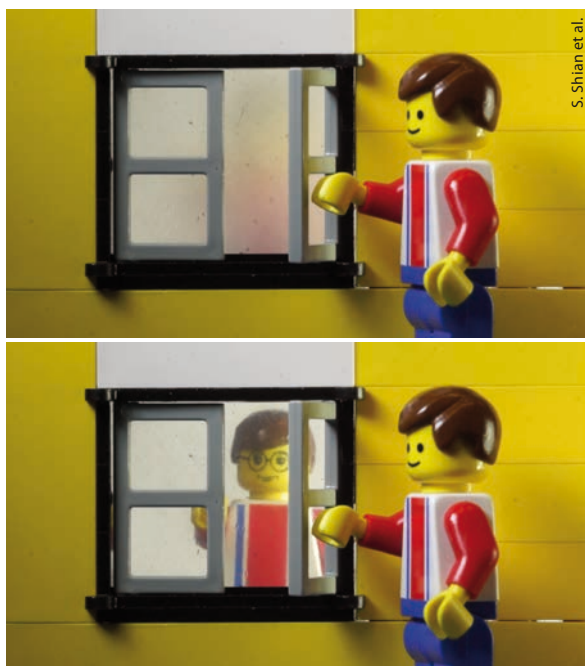


■ Schaltbares Fenster

Mit Hilfe von Silbernanodrähten und einem Elastomer lässt sich die Durchlässigkeit einer Scheibe reversibel verändern.

Fenster, die ihre Transparenz der einfallenden Lichtmenge anpassen, waren vor einigen Jahren populär. Obwohl die Technologien im Prinzip funktionierten, setzten sie sich bislang nicht am Markt durch.



Die schaltbare Scheibe im opaken und transparenten Zustand.

Schuld sind unter anderem die hohen Fertigungskosten. So sind beispielsweise für die Herstellung von Scheiben, die mit einer elektrochromen Beschichtung funktionieren, teure Hochvakuumanlagen erforderlich. Bei solchen Scheiben lässt sich der Oxidationszustand einer dünnen Materialschicht mit Hilfe einer Spannung so verändern, dass die Transmission variiert.

Forscher der Harvard University sind nun anders vorgegangen.¹⁾ Sie versahen eine dünne Mylarfolie beidseitig mit einer dünnen Elastomerschicht. Auf beiden Seiten brachten sie als Elektroden jeweils eine Schicht auf, die aus zufällig verteilten Silbernanodrähten besteht. Diese sind so dünn, dass sie einfallendes Licht nur wenig streuen. Die Transmission des Elastomer-Mylar-Sandwichs liegt bei 90 Prozent, in Verbindung mit den beiden Elektroden sinkt sie auf 62 Prozent. Liegt eine Spannung

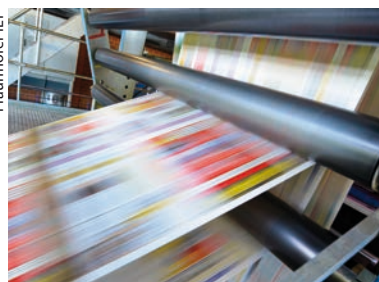
an der Struktur an, ziehen sich die beiden Elektroden an und drücken dadurch die Elastomerschichten zusammen. Da die Silbernanodrähte zufällig verteilt sind, bilden sich an der Grenzfläche zwischen Elastomer und Elektrode „Beulen“ aus, die so groß werden, dass sie einfallendes Licht stark streuen. Der Grad der Streuung korreliert mit der Höhe der angelegten Spannung. So lässt sich die transparente Struktur in weniger als einer Sekunde in eine opake verwandeln – und umgekehrt.

Die Herstellung der Schichten erfordert kein Hochvakuum und ist leicht skalierbar. Zunächst müssen die Forscher aber noch die Struktur ihres Labormusters optimieren, um die notwendige elektrische Spannung zu senken – sie liegt derzeit in der Größenordnung von 2000 Volt.

■ Optische Qualitätskontrolle

Ein interferometrisches Verfahren ermöglicht es, Papierbahnen rasch und präzise zu vermessen.

In der papierverarbeitenden Industrie sind Messungen zu Dicken und Prägetiefen wichtig für die Qualitätssicherung. Aktuell beruhen diese Verfahren auf kapazitiven oder induktiven Messungen. Sie haben jedoch den Nachteil, dass zusätzlich die Feuchtigkeit des Papiers ermittelt werden muss, weil die Dielektrizitätskonstante feuchtigkeitsabhängig ist. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, Aachen, umgehen das durch ein optisches Messverfahren. Dabei beleuchten sie die Papierbahn mit einer breitbandigen Nahinfrarot-



Die Papierverarbeitung von der Rolle erfolgt mit großer Geschwindigkeit. Deshalb arbeitet das ILT-Verfahren mit einer hohen Messfrequenz.

Superlumineszenzdiode. Das Licht wird an der Papieroberfläche zu einem geringen Teil reflektiert, zum größten Teil dringt es ins Papier ein und wird dort mehrfach gestreut oder absorbiert.

Ähnlich wie bei der Weißlichtinterferometrie analysieren die ILT-Wissenschaftler den zurückgestrahlten, interferierenden Strahlungsanteil. Sie konzentrieren sich dabei auf den Interferenzlichtanteil, der auf die direkte Reflexion der Strahlung an der Papieroberfläche zurückgeht. Dieser macht nur ein Tausendstel bis ein Millionstel der ursprünglich zugeführten Lichtleistung aus. So ist es den Forschern aber möglich, mit jeweils einem Sensor ober- und unterhalb der Papierbahn deren Abstand zu messen und daraus auf die Dicke der Papierstruktur zu schließen. Das Verfahren erreicht eine Genauigkeit von 200 nm, bei einer Messfrequenz von maximal 70 kHz.

Sehr wichtig ist die Halterung der beiden Sensorköpfe, weil sie Temperaturschwankungen der Umgebung kompensieren muss. Das Verfahren befindet sich derzeit in ersten Pilottests bei der Dickenmessung von Metallbändern, wo der direkt reflektierte Lichtanteil sehr viel höher ist. Die Anwendung in der Papierindustrie soll folgen.

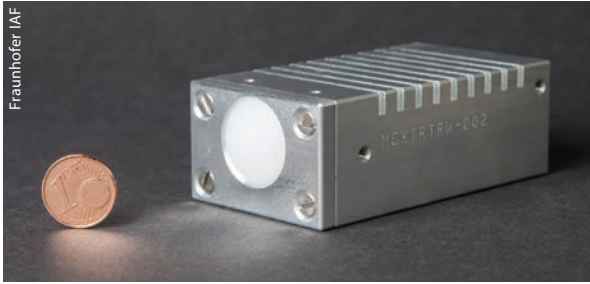
■ Mit Rundumblick

Ein kompaktes Nahbereichsradar erkennt Hindernisse auch bei schlechten Sichtbedingungen.

Umgebungsscanner können zur Positionsbestimmung oder Bewegungserkennung im industriellen Umfeld dienen. Eine denkbare Anwendung sind Roboter, die mit Menschen einen gemeinsamen Arbeitsbereich haben: Dank der Scanner lassen sich Kollisionen vermeiden. Allerdings kommt ein Laserscanner in Arealen, in denen Staub, Nebel oder Dampf die Sicht verschlechtert, an seine Grenzen. Ein Beispiel sind Lackierstraßen, wo Aerosole in der Luft sind. Für derartige Umgebungen haben Forscher des Fraunhofer-Instituts

1) S. Shian et al., Opt. Lett. **41**, 1289 (2016)

2) J. H. Gao et al., Preprint zur IEEE International Conference on Robotics and Automation, Mai 2016; <http://bit.ly/1qSySVk>



Das Radarmodul ist nicht größer als eine Zigaretten-schachtel.

für Angewandte Festkörperphysik IAF, Freiburg, einen kompakten Millimeterwellen-Radarscanner entwickelt. Herzstück des Systems ist ein Chip-integriertes Front-End, wo Frequenzvervielfacher, Sende- und Empfangsverstärker sowie der Mischer für die Signalverarbeitung Platz finden. Ausgeführt sind diese Schaltkreise in Indium-Gallium-Arsenid-Technologie, die besonders rauscharme Verstärker ermöglicht. So waren keine in der Millimeterwellentechnik üblichen Hohlleiter nötig, die den Scanner mindestens um einen Faktor 10 in Volumen und Gewicht vergrößert hätten.

Im Sockel des IAF-Scanners befindet sich das Hochfrequenzmodul, das obere Ende des Scanners schließt mit dem unter 45° angebrachten Drehspiegel ab. Der komplette Demonstrator hat nur 20 Zentimeter Durchmesser und ist 70 Zentimeter hoch. Seine Arbeitsfrequenz beträgt 94 GHz, die Bandbreite 15 GHz. Der Öffnungswinkel des Scanners lässt sich an die Anwendung anpassen, sodass sich im Nahbereich sowohl zentimetergroße Elemente als auch entferntere Objekte erfassen lassen. Im Labor erreicht die Messgenauigkeit des Radars 250 Nanometer pro Meter Distanz. Ein Patent ist angemeldet.

■ Abstandsmessung light

Für eine Handvoll Dollar wird ein Smartphone zu einem Laserdistanzsensor.

Die Laserdistanzmessung ist ein wichtiges Hilfsmittel, damit sich Maschinen autonom bewegen können. Dass so etwas auch mit sehr einfacher Technik funktioniert, haben Wissenschaftler des Massachusetts Institute of Technology in

Cambridge demonstriert. Sie haben dazu ein kommerziell erhältliches Smartphone für weniger als 50 Dollar in einen Lasersensor zur Entfernungsmessung verwandelt.²⁾ Das System enthält keine beweglichen Teile und funktioniert selbst bei direktem Sonnenlicht im Freien.

Die Laserdiode hat 100 mW Leistung und befindet sich an dem Ende des Smartphone-Gehäuses, das der Kamera gegenüberliegt. Der Bildsensor des Android-Geräts dient als Empfänger; sämtliche Berechnungen des Entfernungsmessers laufen auf dem Smartphone-Prozessor. Die Distanzbestimmung beruht auf der Triangulation. Dazu wird der Laserstrahl mittels einer Linse zu einer waagerechten Linie auseinandergezogen. Trifft das gepulste Laserlicht auf ein Objekt, reflektiert dieses Hindernis das linienförmige Laserlicht. Da die Kamera sich vertikal versetzt zur Laserdiode befindet, nimmt ihr Bildsensor die Reflexionen an unterschiedlichen vertikalen Positionen seiner Fläche auf. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen der Position des detektierten Lichts und der Entfernung des beleuchteten Objekts. Jede Pixelspalte des Bildsensors lässt sich damit einer Messung zuordnen. Die Forscher nutzten für ihr Experiment 480 Spalten simultan.

Die Wiederholrate und die Eigenschaften des Bildsensors sowie die Prozessorleistung und die Gehäusedimensionen des Smartphones limitieren den Laserabstandssensor. Trotzdem betrug die Genauigkeit sechs Zentimeter bei einer Entfernung von fünf Metern. Die Scanrate lag bei dreißig Aufnahmen pro Sekunde, die Auflösung für das Sichtfeld bei $0,1^\circ$.

Michael Vogel