



Testmessungen mit dem Sensor auf dem Prüfstand

Höhere Zugtaktung

Ein Magnetsensor verbessert die Positionsbestimmung im Bahnverkehr.

Je kürzer die Zeitspanne ist, innerhalb der Züge auf demselben Gleis fahren können, desto enger lassen sich takten. Häufig bestimmt die installierte Sensorik die aktuelle Position der Züge nur auf einige Kilometer genau, auf gewissen Strecken immerhin auf einige Meter. Ein Team des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und des Rülzheimer Entwicklungsdienstleisters ITK Engineering hat nun ein Verfahren mit einer Genauigkeit von einem Meter entwickelt, das bei Geschwindigkeiten zwischen 1 und 100 m/s funktioniert.

Das Team nutzt aus, dass die ferromagnetischen Schienen an jeder Stelle einen charakteristischen Strom-Spannungs-Verlauf erzeugen, wenn sich eine stromdurchflossene Spule über sie hinwegbewegt. Die Spule steht senkrecht zu den Gleisen und ist an den Drehgestellen der Triebfahrzeuge in etwa zehn Zentimeter Höhe über den Schienen befestigt. Jeder Sensor verfügt für jede Schiene über eine Spule: Die doppelte Messung erhöht die Zuverlässigkeit. Rollt ein so ausgerüsteter Zug über die Gleise, lässt sich von ihnen ein elektromagnetischer Fingerabdruck erstellen. Diese Ortssignatur liegt nach Testfahrten vor und dient – referenziert mit den geografischen Koordinaten – als Vergleichswert in einer Datenbank.

Der Sensor arbeitet unabhängig von Wetter, Lichtverhältnissen und

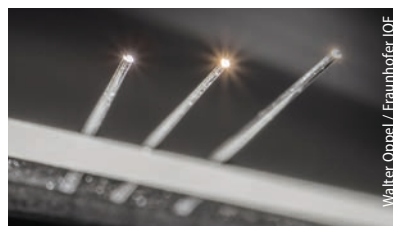
Navigationssatelliten. Als weiteren Vorteil erfordert er keine Investitionen in die Gleisinfrastruktur und deren anschließende Wartung. Störungen durch elektromagnetische Fremdfelder, durch die Räder oder durch Abrieb lassen sich recht einfach aus dem Messsignal eliminieren. Warum jede Schiene einen elektromagnetischen Fingerabdruck aufweist, ist bisher unklar, beruht aber mutmaßlich auf dem Herstellungsprozess.

Testfahrten mit dem Sensor haben bereits stattgefunden; in den kommenden Jahren soll der Prototyp zum Produkt werden.

Lichtkonverter en miniature

Zweidimensionale Materialien verleihen optischen Fasern frequenzverdoppelnde Eigenschaften.

Optische Fasern gehören in der nicht-linearen Optik zu den verbreitetsten Technologien: Geringe Verluste, große Wechselwirkungslängen und einstellbare dispersive Eigenschaften machen sie attraktiv. Allerdings verdoppeln optische Fasern in der



So sehen die frequenzverdoppelnden optischen Fasern aus.

Regel die Frequenz nicht, weil sie aus amorphen Materialien bestehen. Eine solche frequenzverdoppelnde Wirkung wäre aber für optische parametrische Oszillatoren, harmonische Faseroszillatoren oder die faserbasierte Quantenkommunikation interessant. Ein gemeinsames Team von fünf Forschungseinrichtungen hat nun eine solche frequenzverdoppelnde Faser vorgestellt.¹⁾ Beteiligt waren neben drei Jenaer Einrichtungen – der Friedrich-Schiller-Universität, dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF und dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT) – die University of Adelaide und die University of Sydney in Australien.

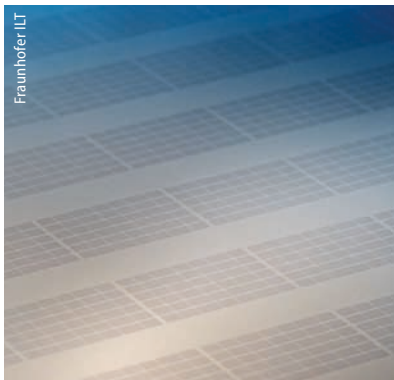
Das Team nutzte das zweidimensionale Material Molybdän-Disulfat, das eine stark frequenzverdoppelnde Wirkung besitzt, indem es eine Monolage chemisch aus der Gasphase auf dem Kern C-förmiger Fasern abschied. Aufgrund ihrer Form führen diese Fasern das Licht eher an der Oberfläche.

Die Forschenden haben die Fasern charakterisiert und ihr Verhalten theoretisch beschrieben. Die für die Frequenzverdopplung relevante Suszeptibilität zweiter Ordnung erreicht 44 pm/V und fällt viel größer aus als bei germanium-dotierten Gläsern (1 pm/V). Der experimentelle, nicht optimierte Wirkungsgrad ist mit $0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^{-2} \text{ W}^{-1}$ recht gering. Eine zusätzliche Beschichtung mit Hafniumdioxid könnte ihn um das 600-Fache erhöhen. Auch die Größe der MoS₂-Kristalle lässt sich weiter optimieren.

Laser statt Ofen

Laserpulse kristallisieren Silizium für monolithisch integrierte Sensoren.

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) spielen in der Sensorik eine kaum zu überschätzende Rolle. So stecken Beschleunigungssensoren unter anderem in Smartphones, Fahrzeugen und medizintechnischen Geräten. Zu jedem MEMS gehört ein anwendungsspezifischer Schaltkreis (ASIC), der die Sensordaten verarbeitet. In einem hochintegrierten System sollten sich



Solche Siliziumfelder lassen sich selektiv laserkristallisieren, um Sensor und Schaltung monolithisch zu integrieren.

MEMS und ASIC einen Wafer teilen, was mit Silizium, dem Standardmaterial der Mikroelektronik, bisher nicht machbar war: ASICs dürfen nicht heißer als 450 °C werden, während MEMS-Sensoren erst oberhalb von 600 °C herstellbar sind. Um zu vermeiden, separate Wafer mit einem Kontakt zu verbinden, hat ein Team dreier Fraunhofer-Institute nun einen Laserprozess entwickelt, der monolithisch integrierte MEMS-Sensoren ermöglicht. Beteiligt waren das Institut für Lasertechnik ILT, das Institut für Siliziumtechnologie ISIT und das Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST.

Schichten aus amorphem Silizium lassen sich im Gegensatz zur kristallinen Form schon bei Temperaturen um 400 °C auf einem ASIC-Wafer abscheiden. Danach erzeugt ein Laserscanner auf dem gesamten Wafer, aber immer lokal begrenzt, für einige Millisekunden so hohe Temperaturen, dass das Silizium kristallisiert und die enthaltenen Dotierstoffe aktiviert werden. Bei dem geringen Wärmeinput nehmen die unten liegenden ASICs keinen Schaden.

Um den Prozess zu demonstrieren, nutzte das Team kommerziell verfügbare Laser und erzeugte eine 10 µm dicke kristalline Siliziumschicht, aus der sich die MEMS fertigen ließen. Das Team testet das Verfahren mit Industriepartnern anwendungsspezifisch und will die erreichbaren Schichtdicken weiter steigern.

Mehr als ein Scheinwerfer

LED-Licht, Radar und Lidar lassen sich koaxial in einem Scheinwerfergehäuse vereinen.

Hochautomatisiertes Fahren beruht auf zahlreichen Sensoren. So stecken schon heute für die Adaptive Cruise Control („Tempomat“) Radarsensoren im Kühlergrill von Fahrzeugen; künftig könnten Lidarsensoren hinzukommen. Lidar-Systeme erfassen mit einem Laufzeitverfahren ihre Umgebung dreidimensional und ergänzen damit das Radar. Allerdings ist noch unklar, wo sie am besten in den Fahrzeugen Platz finden. Fünf Fraunhofer-Institute haben gemeinsam einen Ansatz entwickelt, der Radar- und Lidarsensorik in Scheinwerfer integriert. Beteiligt waren die Institute für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, für Lasertechnik ILT sowie für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS.

Das Scheinwerferdesign bestimmt die Apertur des Ansatzes. Der Lidarsensor sitzt oben im Scheinwerfer, der etablierte Automobil-Radarsensor unten. Beide sind koaxial in einen Mikrolinsen-LED-Scheinwerfer integriert. Zwei Combiner führen zum einen das LED- und das infrarote Lidarlicht zusammen und vereinen zum anderen die Radarstrahlung mit einer Wellenlänge von 4 mm mit dem Lidar-/LED-Licht. Dies erfolgt jeweils über geneigte planparallele dichroitische Polycarbonatplatten, die mehrfachbeschichtet sind. Das Lidarlicht braucht eine hohe Transmission, um beim Empfang der reflektierten Strahlen noch ein ausreichendes Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu erreichen. Die Beschichtung des zweiten Combiners, der Licht und Radarstrahlung vereint, ist zudem laserstrukturiert, um das Abstrahldiagramm des Radarsensors möglichst wenig zu verändern.

Ein Patent für das Gesamtsystem ist angemeldet. Nun bauen die Projektbeteiligten einen Prototyp, um ihn zu charakterisieren. Zudem wollen sie einen Algorithmus für die Datenfusion der beiden Sensoren entwickeln.

Michael Vogel

1) G. Q. Ngo et al., Nat. Photon. (2022), DOI: 10.1038/s41566-022-01067-y



RELIABLE UNDER ALL CONDITIONS.

Heading into the unknown to open new horizons demands reliable tools. Help turn your research goals into reality. Vacuum valve solutions and bellows from VAT provide unfailing reliability and enhanced process safety – under all conditions.

