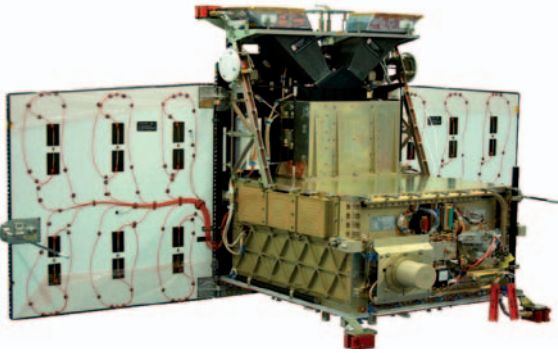


■ Schlanker Kreisel

Ein faseroptisches Gyroskop mit geringer Masse und Abmessungen erreicht die gleiche Genauigkeit wie größere, schwerere Systeme.

In der Raumfahrt zählt jedes Kilogramm. Dies gilt besonders bei Mikrosatelliten, die oft kleiner sind als ein Kühlschrank bei einer Masse unter 100 Kilogramm. Für die Navigation und Lageregelung nutzen sie sog. Sternenkameras, mit denen sie

Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH



Mikrosatelliten wie der 2012 gestartete TET-1 würden von verschlankten faseroptischen Gyroskopen profitieren.

sich an der Position der Gestirne orientieren. Als Backup-System dienen faseroptische Gyroskope, die Rotationen des Satelliten um seine drei Raumachsen relativ zur jeweils letzten zuverlässigen Positionsbestimmung mit den Sternenkameras erfassen können. Typische faseroptische Gyroskope haben acht Kilogramm Masse und sind so groß wie ein Schuhkarton. In einem Projekt des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin sowie der Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH ist nun der Demonstrator eines faseroptischen Gyroskops entstanden, der bei gleicher Genauigkeit weniger als ein Kilogramm auf die Waage bringt und nur noch so groß wie eine Brieftasche ist.

Faseroptische Gyroskope nutzen den Sagnac-Effekt, mit dem sich Rotationen interferometrisch absolut messen lassen. Das Herz eines solchen Gyroskops ist eine Faserspule, durch die zwei Teilstrahlen einer kurzkohärenten Lichtquelle gegenläufig propagieren. Das resultierende Interferenzmuster verändert sich, wenn die Faserspule

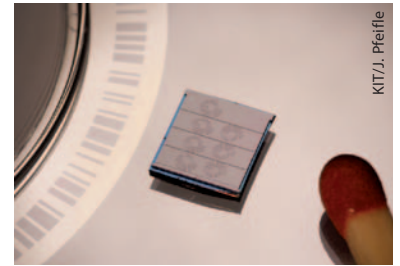
sich dreht – und dient so als Sensor für die Lagebestimmung im Raum. Um eine für Satelliten ausreichende Empfindlichkeit von 1 bis 0,1 Grad pro Stunde zu erreichen, ist auf einer solchen Spule eine 1 bis 2 Kilometer lange Faser aufgewickelt. Im Berliner Projekt genügen dagegen 400 Meter.

Die Beteiligten entschieden sich für eine Quadrupolwicklung, bei der die beiden gegenläufigen Lichtsignale in der Faser immer nah beieinander sind. So erfahren beide Signale ähnlich große thermo-mechanische Spannungen, die die Messung verfälschen. Ein zweiter kritischer Punkt waren die Fügstellen zwischen den Fasern und den optischen Komponenten. Durch eine Integration der Elektronik und einen kompakteren Aufbau des optischen Systems wollen das IZM und sein Industriepartner nun die Dimensionen des Demonstrators nochmals halbieren.

■ Frequenzkamm als Datenturbo

Erstmals ist es gelungen, mit miniaturisierten optischen Frequenzkämmen Daten kohärent im Terabit-Bereich zu übertragen.

Für große Rechenzentren und weltumspannende Kommunikationsnetze steigt der Bedarf an Bandbreite für die Datenübertragung weiter rasant an. Optische Übertragungsverfahren ermöglichen die höchsten Datenraten. Beim Wellenlängen-Multiplexing (Wavelength-Division Multiplexing, WDM), das die Daten auf viele Kanäle unterschiedlicher Wellenlänge aufcodiert, werden in Verbindung mit spektral effizienten, kohärenten Modulationsverfahren Übertragungsraten von einigen Terabit pro Sekunde möglich. Allerdings sind solche Systeme bislang nur begrenzt skalierbar, weil jeder Übertragungskanal einen eigenen Laser erfordert. Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Schweizer École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) haben nun gemeinsam erstmals gezeigt, dass sich miniaturisierte optische Frequenzkamm-



Mit solchen optischen Mikroresonatoren (Mitte) erzeugen die Forscher aus Laserlicht die Spektrallinien des Frequenzkamms.

quellen zur kohärenten Datenübertragung im Terabit-Bereich eignen.¹⁾ Bislang waren die existierenden Frequenzkämmen zu groß und zu teuer für den praktischen Einsatz in der Datenübertragung.

Den Forschern gelang in einer Machbarkeitsstudie, 1,44 Terabit/s über eine Distanz von 300 km zu übertragen. Das entspricht einem Datenaufkommen von mehr als 100 Millionen Telefongesprächen. Im Rahmen des Laborexperiments arbeiteten die Wissenschaftler noch weitgehend mit diskreten photonischen Komponenten, das Konzept lässt sich jedoch problemlos in optische Mikrochips integrieren. Ein miniaturisierter optischer Resonator hoher Güte aus Siliziumnitrid diente dabei als Oszillator, der aus monochromatischem Laserlicht einen Frequenzkamm mit Linienabständen im Gigahertzbereich erzeugt. Solche Kerr-Kämme erreichen optische Bandbreiten, die alle für die Telekommunikation relevanten Frequenzbänder abdecken. Eine systematische Anpassung der Pumpbedingungen und eine elektronische Regelung ermöglichten es, das Rauschen – ein bekanntes Problem der Kerr-Frequenzkämme – in den Griff zu bekommen.

■ Nachbrenner für Laser

Ein Plasmastrahl erleichtert die Mikrostrukturierung von Gläsern mit dem Laser.

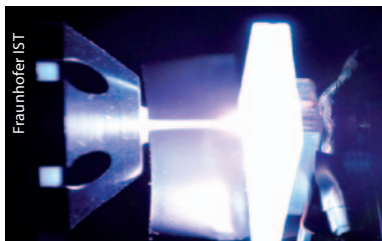
Der Siegeszug des Lasers als Materialbearbeitungswerkzeug hält nun schon mehrere Jahrzehnte an. Mit ihm lassen sich auch Mikrostrukturen sehr präzise und kostengünstig

1) J. Pfeifle et al., Nature Photon., 13. April 2014, DOI: 10.1038/NPHOTON.2014.57

2) X. Han et al., Nano Lett., 8. April 2014, DOI: 10.1021/nl500144k

tig in Werkstücken erzeugen. Dies gilt auch für Gläser, bei denen allerdings wegen ihrer hohen Transparenz die Energiedichte des Lasers bei der Mikrostrukturierung relativ hoch sein muss, damit überhaupt genügend Strahlung absorbiert wird. Mit steigender Leistungsdichte des Lasers nehmen jedoch auch unerwünschte Nebeneffekte zu, ein Beispiel sind Abtragungsreste in der Bearbeitungszone.

Mit UV- oder IR-Lasern lässt sich das Problem der geringen Absorption im sichtbaren Spektralbereich zwar umgehen, UV-Laser haben jedoch hohe Betriebskosten, und IR-Laser erreichen aufgrund ihrer größeren Wellenlänge keine so hohe Auflösung. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Göttingen haben deshalb ein Verfahren entwickelt, bei dem sie einen feinen Plasmastrahl erzeugen, den sie in den Laserstrahl einkoppeln. Treffen die Partikel des kalten Plasmas auf das Glas, reduzieren sie das dortige Siliziumdioxid chemisch und steigern so lokal die Absorption. Die erforderliche Energiedichte des Laserstrahls kann dadurch niedriger ausfallen.



Durch die Kombination von Laser- und Plasmastrahl ist es Forschern gelungen, Mikrostrukturen in Gläsern präziser und wirtschaftlicher zu erzeugen.

Die IST-Forscher haben das Verfahren mit verschiedenen Laserstrahlquellen und Glassorten getestet und inzwischen ein Patent beantragt. Parallel zur Bearbeitung von Gläsern wollen die Wissenschaftler das Laser-Plasma-Verfahren auch auf Metalle, Keramiken, Kunststoffe oder gar Textilien und Papier übertragen. Metalle zum Beispiel absorbieren zwar gut, lassen sich dank des neuen Verfahrens aber womöglich mit billigeren Lasern bearbeiten.

■ Chamäleon unter Druck

Goldnanopartikel ermöglichen Sensoren, die auf Druck mit einer Farbänderung reagieren.

Da sich Nanopartikel in vielerlei Hinsicht anders verhalten als größere Partikel desselben Materials, gelten sie als interessantes Forschungsgebiet. Ein Beispiel dafür sind die optischen Eigenschaften von kolloidalen Edelmetall-Nanopartikeln, die lokalisierte Oberflächenplasmonenresonanz zeigen. Sie führt zur Streuung und Absorption im sichtbaren Teil des Spektrums. Wissenschaftler der University of California in Riverside haben sich dieses Verhalten zunutze gemacht, um eine neue Art von Drucksensor zu entwickeln.²⁾

Dazu betten sie Goldnanopartikel mit einem Selbstassemblierungsverfahren in eine Trägerschicht aus Kunststoff ein. Wirkt auf diese Schicht ein äußerer Druck, so entfernen sich die Goldpartikel voneinander. Dadurch verändern sich aber auch die Resonanzfrequenzen der Oberflächenplasmonen: Statt wie ursprünglich blau, ändern die Partikel mit zunehmendem Druck ihre Farbe ins Rote, weil ihre Kopplung abnimmt. Wirkt kein Druck mehr ein, bleibt der erreichte Farbton unverändert erhalten; der Vorgang ist also irreversibel. Allerdings halten die Forscher es aufgrund ihrer bisherigen Untersuchungen für möglich, reversible Varianten des Prinzips zu entwickeln.

Im Vergleich zu bereits kommerziell erhältlichen Sensoren, die auf einen steigenden äußeren Druck mit einer recht geringen Farbveränderung reagieren, zeigt das Labormuster viel deutlichere Kontraste und Farbverschiebungen sowie eine höhere Auflösung. Anwendungsmöglichkeiten wären zum Beispiel in der Sicherheitsüberwachung von Anlagen, in denen hohe Drücke herrschen, oder auch in Crashtests.

Michael Vogel