

■ Blinkende Satelliten

Künftig sollen Satelliten per Laser miteinander Verbindung aufnehmen.

Satelliten kommunizieren miteinander oder mit einer Bodenstation heutzutage per Mikrowellen. Die Technologie ist bewährt und robust – Eigenschaften, die unter Weltraumbedingungen besonders wichtig sind. Deshalb arbeiten die Sende- und Empfangseinheiten oft noch mit Röhrenverstärkern. Lang-

Die prinzipielle Machbarkeit einer laserbasierten Satellitenkommunikation bei einer Wellenlänge von 1064 nm hat das Unternehmen Tesat-Spacecom in Zusammenarbeit mit dem Ferdinand-Braun-Institut (FBH) in Berlin bereits unter Weltraumbedingungen demonstriert, allerdings diente bei diesem Experiment ein Festkörperlaser als Sender. FBH-Wissenschaftler haben nun ein Halbleiterbauelement entwickelt, das deutlich kleiner ausfällt als ein Festkörperlaser. Das Lasermodul erreicht eine Linienbreite von 0,4 fm bei etwa einem Watt Ausgangsleistung. Je geringer die Linienbreite, desto präziser ist das Differenzsignal im Empfänger berechenbar.

■ Spürhund gegen Attentate

Ein spektroskopischer Detektor kann Sprengsätze schnell und mit hoher Empfindlichkeit erkennen.

Spätestens seit der Kriege in Afghanistan und im Irak haben Militär und Sicherheitsdienste ein großes Interesse, am Straßenrand platzierte Sprengsätze frühzeitig erkennen zu können – ohne dass die Detektionsmethode eine Explosion auslöst. Verfahren wie Fluoreszenz- oder Laser-Emissions-Spektroskopie liefern zwar ausreichend starke Signale, aber sie sind kaum spezifisch und versagen bei einem komplexen Hintergrund. Nichtlineare Raman-Spektroskopie-Methoden zeigen diese Schwächen nicht und erreichen – im Gegensatz zur klassischen Raman-Spektroskopie – ausreichend große Streuquerschnitte, also kurze Messzeiten. Daher haben Chemiker der Michigan State University in East Lansing sich der Kohärenten Anti-Stokes-Raman-Spektroskopie (CARS) bedient, um Sprengsätze zu detektieren.¹⁾

Bei der CARS erzeugen zwei einfallende Laserstrahlen unterschiedlicher Frequenz in einer Probe charakteristische Strahlung. Durch die Wechselwirkung der Photonen mit dem Medium entsteht eine laserähnliche Strahlung, die resonant verstärkt wird, wenn die Überla-

gerung der Frequenzen der beiden einfallenden Laserstrahlen einer Raman-Resonanz entspricht. Die entstehende Raman-Strahlung ist um einen geringen Betrag zu niedrigeren bzw. höheren Frequenzen (Stokes- bzw. Anti-Stokes) verschoben. Die Wissenschaftler nutzen für ihren Demonstrator einen Femtosekundenlaser, um mit ultrakurzen Pulsen CARS-Signale zu erzeugen.

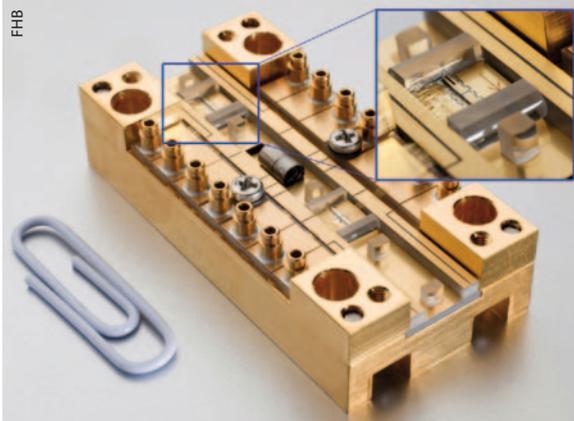
Moleküle von Sprengstoffen lassen sich so relativ zuverlässig erkennen. Im Labor haben die Forscher bei Messzeiten von einer Sekunde aus einer Entfernung von einem Meter gemessen und erreichen eine Empfindlichkeit von $2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, was umgerechnet einem Wert von etwa 2×10^{-10} g im Brennpunkt des Lasers entspricht. Ein Kubikmillimeter des gängigen Sprengstoffs 2,4-Dinitrotoluol (DNT) hat eine zehn Millionen Mal größere Masse.

■ Kaltes Auge

Stärker integrierte supraleitende Elektronik ermöglicht verbesserte Bildsensoren.

Mithilfe der Supraleitung können sich künftig elektronische Schaltungen realisieren lassen, die deutlich weniger Verlustleistung bei höheren Taktfrequenzen aufweisen als heutige Halbleitertechnologien. Inzwischen lassen sich die physikalischen Wirkprinzipien ingenieurtechnisch aufbereiten. Forscher der TU Ilmenau, des Karlsruher Instituts für Technologie und des Instituts für Photonische Technologien in Jena haben gemeinsam eine Schaltung realisiert, mit der sich noch einzelne Photonen mit hoher Taktfrequenz direkt auslesen lassen.²⁾ Die Verlustleistung fällt dabei extrem gering aus.

Die Schaltung besteht aus einem sog. Superconducting Nanowire Single-Photon Detector (SNSPD) und einer integrierten Einzelflussquantenschaltung (SFQ), die als Zwei-Chip-System direkt miteinander kontaktiert und auf 4,2 K gekühlt sind. Ein SNSPD besteht aus einem dünnen supraleitenden Nanodraht, der mäanderförmig



Licht statt Mikrowelle: Halbleiterlasermodule (vergrößerter Ausschnitt) bieten für die Satellitenkommunikation einige Vorteile.

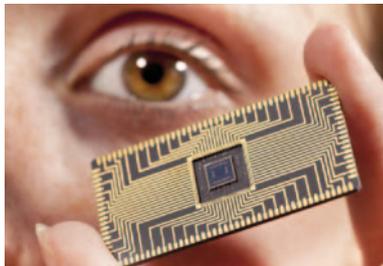
fristig wird sich das ändern. Statt Mikrowellen könnten z. B. Laserstrahlen als Informationsträger dienen. Denn im Vergleich haben Mikrowellen zwei Nachteile: Wegen der vergleichsweise großen Wellenlänge lassen sich Mikrowellenmodule nicht so stark miniaturisieren und erreichen früher die Grenzen der maximal möglichen Übertragungsrate. Außerdem lassen sich die Strahlen eines Lasers so eng bündeln, dass die Empfänger sehr klein ausfallen können, was das Problem mit Reflexionen oder Störungen verringert.

Bei dieser Form der optischen Kommunikation erzeugt ein Sender einen Laserstrahl von genau definierter Wellenlänge und schickt ihn zum Empfänger auf einem anderen Satelliten. Der Empfänger, der nach dem Heterodynprinzip funktioniert, mischt diesen Strahl mit einem zweiten Strahl, dem lokalen Oszillator. Gezielte Veränderungen am gesendeten Strahl lassen sich von der Referenz im Empfänger unterscheiden. Die Analyse des Differenzsignals liefert die auf den Laserstrahl kodierten Signale.

1) M. Bremer et al., Appl. Phys. Lett. **99**, 101109 (2011)

2) T. Ortlev et al., Optics Express **19**, 18593 (2011)

3) B. Jang et al., Nano Lett. **11**, 3785 (2011)



Die supraleitenden mikroelektronischen Schaltkreise werden in Niob-Dünnschichttechnologie gefertigt.

angeordnet ist, um ein hochempfindliches Pixel zu bilden. Trifft ein Photon auf den Nanodraht, brechen die Cooper-Paare auf, und der lokale kritische Strom sinkt unter den Wert des Bias-Stroms. Dadurch entsteht ein örtlich begrenzter nichtsupraleitender Bereich mit endlichem elektrischem Widerstand, sodass sich ein Spannungssignal an den Kontakten abgreifen lässt. Eine SFQ wiederum nutzt als digitale Zustände die An- und Abwesenheit einzelner magnetischer Flussquanten in einer kleinen supraleitenden Schleife. Diese Schleife ist durch Josephson-Kontakte unterbrochen, die als Schaltelemente für einen kontrollierten Transfer der einzelnen Flussquanten zwischen den verschiedenen Schleifen einer Schaltung dienen.

Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass sich das System relativ problemlos auf einen Chip integrieren lässt. Der Aufbau des Detektors ist vergleichsweise wenig komplex und lässt sich auf bildgebende Multipixelssysteme übertragen, also skalieren. Auch im Bereich der Spektroskopie, der Quantenkryptografie oder des Quantencomputers sind Anwendungen denkbar.

■ Leistungs- und Energiepaket

Mit Graphen als Elektrodenmaterial lassen sich die Vorteile von Akku und Doppelschichtkondensator in einer Zelle vereinen.

Energiespeichern kommt in den Zukunftsszenarien der Mobilität und Stromversorgung eine zentrale Bedeutung zu. Die Beschränkungen heutiger Lithium-Ionen-Akkus sind bekannt, daher wundert es nicht,

dass weltweit intensiv an Nachfolgetechnologien geforscht wird. Die beiden US-Unternehmen Nanotek Instruments und Angstrom Materials haben nun eine neue Elektrotechnologie vorgestellt, mit der hohe Energie- und Leistungsdichten möglich sind³⁾ – Eigenschaften, für die bislang zwei unterschiedliche Ansätze nötig waren.

Lithium-Ionen-Akkus speichern die Energie elektrochemisch. Die Ionen müssen dabei ins Innere des Elektrodenmaterials diffundieren, und weil das dauert, ist die Leistungsdichte eines Akkus begrenzt. Dagegen kann er sehr hohe Energiedichten erreichen, weil die Ionen das innere Volumen des Elektrodenmaterials komplett ausnutzen. Genau umgekehrt ist die Situation bei Doppelschichtkondensatoren. Sie erreichen hohe Leistungsdichten, weil die Ladungstrennung elektrostatisch erfolgt, aber nur geringe Energiedichten, weil die Ionen sich nur an der Oberfläche des Elektrodenmaterials anlagern. Doppelschichtkondensatoren verhalten sich wie zwei Kondensatoren, die über den Elektrolyt zueinander in Reihe geschaltet sind: An ihren Elektroden sammeln sich Ionen entgegengesetzter Polarität und bilden eine dünne Zone aus unbeweglichen Ladungsträgern aus.

Die beiden Unternehmen haben für ihre Zellen Elektroden aus porösem Graphen gewählt. Deren große Oberflächen stehen in direktem Kontakt zum flüssigen Elektrolyt und können schnell und reversibel Lithium-Ionen durch Oberflächenadsorption und Redox-Reaktionen an der Oberfläche aufnehmen. Daher ist es nicht erforderlich, die Ionen erst zwischen die Kristallgitterebenen einzulagern. Dies erklärt die erreichbaren Leistungsdichten von 100 kW/kg Zellgewicht – zehnmal mehr als Doppelschichtkondensatoren und 100 Mal höher als Lithium-Ionen-Akkus. Die Energiedichten der neuen Zellen liegen bei 160 Wh/kg Zellgewicht – das 30-fache von konventionellen Doppelschichtkondensatoren und vergleichbar mit Lithium-Ionen-Akkus.

Michael Vogel