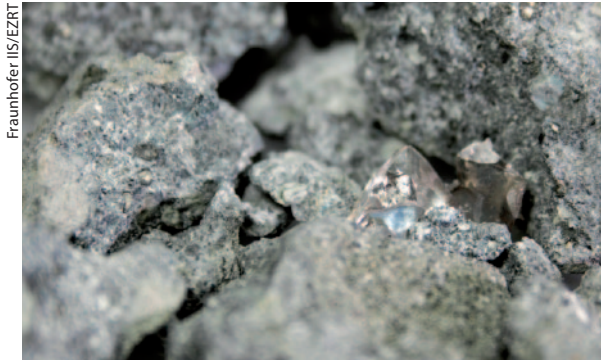


■ Geschickt durchleuchtet

Durch Röntgen werden auch Diamanten sichtbar, die tief im Gestein stecken.

Mithilfe von Röntgenstrahlen lassen sich eingeschlossene Diamanten nach dem Abbau entdecken. Dazu wird das Gestein grob gemahlen und dann entweder seine Röntgenabsorption gemessen oder



So unscheinbar sieht Kimberlitgestein aus, in dem Diamanten eingeschlossen sind.

das Gestein zur Lumineszenz angeregt. Beide Verfahren funktionieren bislang allerdings nur zuverlässig, wenn die Diamanten relativ nahe der Oberfläche des Gesteinsbrockens eingeschlossen sind oder offen neben dem Gestein liegen. Daher muss das vermeintlich diamantfreie Gestein immer weiter zerkleinert werden, um es jeweils erneut analysieren zu können. Das ist aufwändig und birgt die Gefahr, größere Diamanten zu zerstören. Zudem versagt das Lumineszenzverfahren gerade bei besonders hochwertigen Diamanten, weil sie kaum noch Defektstellen haben, die als Anregungszentren wirken.

Forscher des Fürther Fraunhofer-Entwicklungszentrums Röntgentechnik, das zum Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen gehört, haben nun einen Demonstrator entwickelt, der wenige Millimeter kleine Diamanten in Gestein mit Korngrößen bis zu 50 mm nachweisen kann. Sie bedienen sich dabei der Röntgen-Dual-Energy-Technik, die spektral aufgelöste Aufnahmen bei zwei verschiedenen Röntgenenergien liefert. Durch Verrechnung der beiden Aufnahmen mithilfe eines Algorithmus werden die Diamanten erkennbar, weil sich die Ordnungszahl des Kohlenstoffs von der des typischen

Wirtsgesteins Kimberlit unterscheidet. Kimberlit enthält vor allem Aluminate und Silikate mit den Ordnungszahlen 13 und 14.

Nachdem die Machbarkeit des Verfahrens gezeigt ist, entwickeln die Forscher nun gemeinsam mit einem Hersteller von Sortieranlagen und dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung in Karlsruhe einen industrietauglichen Prototyp, der mehrere Tonnen Gestein pro Stunde analysieren soll. An ihm wollen sie Selektivität und Spezifität des Verfahrens untersuchen.

■ Getunter Laser

Ein vereinfachter Halbleiter-Scheibenlaser erreicht Kennwerte, die bislang nur mit sättigbarem Absorber möglich waren.

Halbleiter-Scheibenlaser, auch VECSELs (Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers) genannt, sind vielseitig verwendbar und lassen sich sehr gut an den erforderlichen Wellenlängenbereich einer Anwendung anpassen. Im Dauerbetrieb können diese optisch gepumpten Laser Wellenlängen zwischen 620 nm und 5 μm abdecken. Mithilfe nichtlinearer Frequenzverdopplung sind sogar bis zu 338 nm erreichbar. Für den Pulsbetrieb durch Modenkopplung, bei der die Eigenschwingungen des Lasers in Phase sind, werden VECSELs meist mit einem sättigbaren Absorber ausgestattet – gewöhnlich ein passives Element mit einem intensitätsabhängigen Absorptionskoeffizienten.

Sättigbare Absorberstrukturen sind jedoch relativ teuer und um-

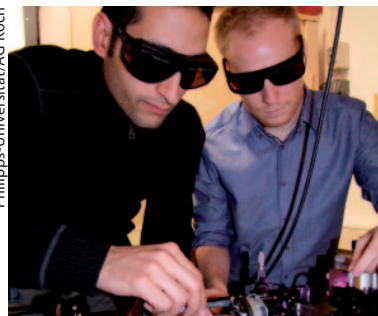
ständig, weil sie immer spezifisch für den gewünschten Wellenlängenbereich gefertigt werden müssen. Zudem ist ein Betrieb bei sehr hohen Leistungen schwierig, weil der Absorber dabei leicht Schaden nimmt. Wissenschaftlern der Philipps-Universität Marburg und der NAsP III/V GmbH ist es gemeinsam gelungen, einen VECSEL ohne sättigbaren Absorber modengekoppelt zu betreiben, sowohl mit fundamentaler Pulsrate (ein Puls pro Resonatorumlauf) als auch mit doppelter und dreifacher Rate.¹⁾ Bislang konnten absorberlose VECSELs nur einen Puls pro Umlauf erzeugen. Die Forscher haben für die Modenkopplung einen Spalt in die Laserkavität eingefügt, der sich verschieben und verengen lässt. Vergleichbar ist seine Wirkung mit Lasern, die den Kerr-Effekt zur Modenkopplung ausnutzen.

Die Wissenschaftler erklären sich daher den stabilen Pulsbetrieb mit einem im Laserchip wirksamen Kerr-Effekt, der im Zusammenspiel mit dem Spalt zu einer intensitätsabhängigen Modulation der Verluste führt. Vollständig verstanden ist der absorberlose VECSEL jedoch noch nicht. Der Laser erreichte eine Spitzenleistung von 1 kW und Pulsdauern unter 1 ps – was in einer ähnlichen Größenordnung liegt, die modengekoppelte VECSELs bislang nur mit sättigbaren Absorbern schafften.

■ Sensorische Selbstkontrolle

Temperaturmodulation und Impedanzspektroskopie machen Gassensoren zu einem sich selbst überwachenden System.

Der Nachweis unerwünschter oder gefährlicher Gase ist für viele Bereiche wichtig, zum Beispiel bei Schwefelwasserstoff in der Kanalisation oder bei flüchtigen Stoffen in der industriellen Verarbeitung. Mithilfe von Gassensoren lassen sich solche kritischen Zustände früh erkennen, allerdings besteht bei chemischen Sensoren das Problem, dass sie vergiftet und damit unzuverlässig werden können. Wissenschaftler der Universität des



Die Marburger Forscher arbeiten im Labor am Aufbau des VECSEL.

1) M. Gaafar et al., Electronics Lett. 50 (2014), 542

Saarlandes haben eine zweigleisige Selbstüberwachung für Gassensoren entwickelt, um Fehlfunktionen zu erkennen. Abgestimmt ist die Selbstüberwachung beim Demonstrator auf keramische Halbleitersensoren, deren Widerstand sich ändert, wenn Gasmoleküle auf der Oberfläche des Sensors adsorbieren oder reagieren. Als Methoden für die Selbstüberwachung dienen die Temperaturmodulation und die elektrische Impedanzspektroskopie.

Keramische Halbleitersensoren weisen eine große Bandlücke auf und benötigen daher eine Betriebstemperatur von mehreren hundert Grad Celsius. Abhängig von der Temperatur sind sie für verschiedene Gase empfindlich. Dies nutzen die Forscher aus: Das System moduliert die Temperatur und prüft regelmäßig über eine Widerstandsmessung, ob sich seine Empfindlichkeit noch wie erwartet verhält.

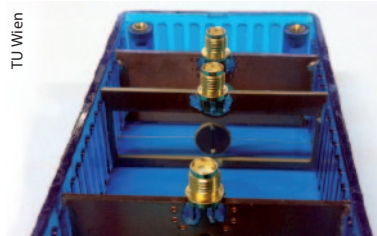
Die elektrische Impedanzspektroskopie gab es bereits in Form von Geräten im Labormaßstab. Die nun entwickelte Lösung passt dagegen auf eine Platine und ist weiter miniaturisierbar. Die Impedanzspektroskopie nutzt aus, dass die Gasadsorbate auf der Oberfläche des Sensors eine Raumladungsschicht erzeugen. Durch einen hochfrequenten Wechselstrom lässt sich dies über die Messung des komplexen Widerstands erfassen.

Temperaturmodulation und Impedanzspektroskopie arbeiten unabhängig voneinander und auf unterschiedlichen Zeitskalen. So ist zuverlässig zu unterscheiden, ob Veränderungen am Sensorsignal intrinsisch oder durch eine höhere Gaskonzentration in der Umgebung hervorgerufen werden.

■ Fürs Zähe

Ein Ultraschallsensor misst die Viskosität von Flüssigkeiten.

Wissenschaftler der Johannes-Kepler-Universität Linz, der TU Wien und der Donau-Universität Krems nutzen die viskose Dämpfung von akustischen Wellen in Flüssigkeiten, um einen miniaturisierbaren Viskositätssensor zu



Mit dieser einfachen Anordnung lässt sich die Druckviskosität messen.

verwirklichen. Im einfachsten Fall der Sensorausführung wird eine Piezoscheibe in die zu messende Flüssigkeit getaucht, um dort über Dickenschwingungen Ultraschallwellen anzuregen. Es bilden sich stehende Wellen durch Reflexion an den Wänden der Messkammer. Die Viskosität der Flüssigkeit dämpft die Amplituden der Wellen. Aus der Messung der Amplitude ist also Rückschluss auf die Viskosität der Flüssigkeit möglich.

Die Forscher haben verschiedene Bauformen solcher Flüssigkeitsresonatoren entwickelt, bei denen Piezoscheiben beispielsweise als getrennte Sender und Empfänger oder als Sender-Empfänger-Einheit dienen. Bei manchen Bauformen sind die Beugungsverluste hoch, daher kommen inzwischen Piezorohre mit etwa einem Zentimeter Durchmesser als Resonator zum Einsatz. Bei ihnen vollführt die gesamte Wandfläche Dickenschwingungen. Gemessen wird bei allen Anordnungen die longitudinale Viskosität – vereinfacht auch Druckviskosität genannt. Während die Scherviskosität bei einer Bewegung quer zur Wellenausbreitung wirkt, beschreibt die Druckviskosität die viskosen Verluste bei der Bewegung in Ausbreitungsrichtung.

Die erzeugten Messwellen dringen tief in die Flüssigkeit ein und nicht nur wenige hundert Nanometer weit, wie dies bei vielen mikroakustischen Scherviskositätsmessern der Fall ist. Das geschilderte Prinzip wollen die Wissenschaftler miniaturisieren und auf die Untersuchung von Flüssigkeitsmengen im Nanoliterbereich übertragen. Qualitätskontrollen in der Industrie oder medizinische Untersuchungen könnten davon profitieren.

Michael Vogel