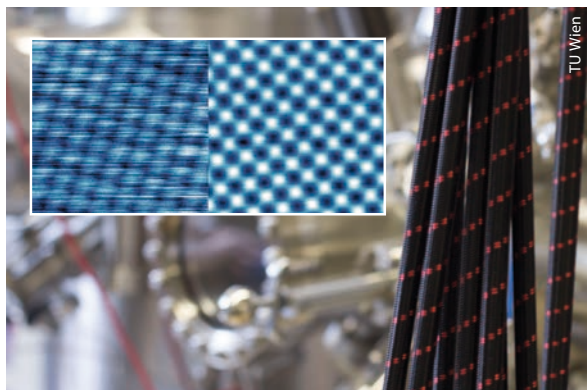


## ■ Schlichte Dämpfer

**Eine Aufhängung aus Bungee-Seilen steigert die mikroskopische Auflösung deutlich.**

Für Präzisionsmessungen mit hochauflösenden Mikroskopen sind Systeme zur Schwingungsdämpfung unverzichtbar. Im Idealfall beginnen solche Maßnahmen baulich am Gebäude und enden



Dank Bungee-Seilen kann sich das Bildrauschen eines Mikroskops um mehr als eine Größenordnung verringern.

bei der Lagerung des Mikroskops. Wissenschaftlern der TU Wien ist es nun gelungen, die Störungen bei einem Kombigerät, das Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskopie miteinander verbindet, durch eine selbst entwickelte Aufhängung deutlich zu reduzieren. Das Labor, in dem das Mikroskop steht, liegt im fünften Stock eines Gebäudes mitten in Wien. Straßen- und U-Bahn sowie mehrere Straßen verlaufen in der Nähe. Das Gebäude ist baulich überhaupt nicht auf Präzisionsmessungen ausgelegt.

Kommerziell erhältliche Dämpfungssysteme, auch aktive, wirken bei niedrigen Frequenzen um zwei Hertz und darunter nur wenig – damit ist keine mikroskopische Auflösung im Pikometerbereich möglich. Das Wiener Gebäude besitzt Eigenfrequenzen in dieser Größenordnung, die durch Wind angeregt werden. Die Forscher haben das rund eine Tonne schwere Mikroskop daher an vier Bündeln aus Bungee-Seilen waagrecht aufgehängt. Die Seile sind für die Luftfahrt spezifiziert. Jedes Bündel besteht aus neun Seilen, deren Länge durch einen einfachen Regelmechanismus elektrisch veränderbar ist. Abstandssensoren zwischen Boden und Mikroskop-Plattform

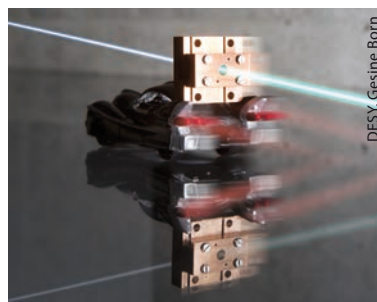
detektieren den Korrekturbedarf. Zudem lässt sich so eine veränderte Massenverteilung auf der frei hängenden Plattform ausgleichen – etwa wenn der Vorrat an flüssigem Stickstoff am Mikroskop sinkt.

Die Forscher erreichen mit dem patentierten Verfahren bei ihrem Mikroskop eine Resonanzfrequenz von 0,4 Hz in der Horizontalen und 0,8 Hz in der Vertikalen. Das genügt, um die störenden niederfrequenten Schwingungen zu dämpfen, und erlaubt eine Auflösung von rund einem Pikometer.

## ■ Technik auf kleinstem Raum

**Ein Terahertz-System kann Elektronenpakete beschleunigen, komprimieren oder fokussieren.**

Mikrowellen haben sich als Energiequelle für den Betrieb von Teilchenbeschleunigern etabliert, da sich mit ihnen extrem schnelle Elektronenpakete von sehr hoher Maximalintensität und Qualität erzeugen lassen. Doch aufgrund der relativ langen Wellenlängen erfordern solche Beschleuniger eine großräumige Infrastruktur und Energieversorgung. Das ist so teuer, dass diese Technologie großen Labors vorbehalten bleibt. Wissenschaftler des DESY und der Uni-



Dieses Elektronenstrahl-Multifunktionsgerät ist kleiner als ein Spielzeugauto.

versität Hamburg haben nun einen Elektronenbeschleuniger auf Basis der Terahertzstrahlung entwickelt, dessen Technologie auch für kleinere Einrichtungen interessant ist.<sup>1)</sup>

Dazu teilen sie einen infraroten Laserpuls in zwei auf und leiten beide durch nichtlineare Kristalle. Der eine Laserpuls wird ins Ultraviolette verschoben und auf eine

Photokathode gelenkt, um die Elektronenpakete herauszulösen. Der andere Laserpuls wird in den THz-Bereich verschoben. Das Timing zwischen den beiden Teilpulsen hängt nur von der Länge des Weges ab, den sie nehmen, und lässt sich recht exakt einstellen. So können die Forscher genau kontrollieren, bei welchem Zustand des wechselnden THz-Feldes ein Elektronenpaket im Gerät eintrifft, um dann die gewünschte Funktion auszuführen: beschleunigen, komprimieren, fokussieren oder analysieren. Die aktive Struktur ist millimeterklein.

Das System erreichte in Tests mit zweimal 6  $\mu\text{J}$  Energie Beschleunigungen von über 30 keV, zeitliche Kompressionen auf 100 fs, Fokusstärken von mehr als 2 kT/m und zeitliche Auflösungen beim Streaking – der seitlichen Auffächerung des Elektronenpakets zur Analyse – besser als 10 fs. Der Wechsel zwischen den Betriebsmodi ist in Echtzeit möglich.

## ■ Dickenmessung in Echtzeit

**Eine verbesserte Erzeugung von Terahertzstrahlung führt zu günstigeren und schnelleren Systemen für die Werkstoffprüfung.**

In der Schichtdickenmessung von Bauteilen sind Röntgenstrahlung und Ultraschall etabliert. Die erforderlichen Geräte gelten als kostengünstig. Doch Geräte, die auf THz-Strahlung beruhen, benötigen teure Einzelkomponenten. Zudem arbeiten sie nicht in Echtzeit, was die Prüfung innerhalb einer Fertigungslinie verhindert. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, in Berlin haben gemeinsam mit Finisar, einem Hersteller von Komponenten für die optische Kommunikation, eine Machbarkeitsstudie für ein THz-System vorgestellt, das diese Nachteile beseitigt.

Die Projektbeteiligten erzeugen die THz-Strahlung mit einem optoelektronischen Verfahren. Dabei wandelt ein Halbleiterbauelement die Schwebung zweier Dauerstrichlaser in THz-Strahlung um, die der

1) D. Zhang et al., Nat. Photonics (2018), doi:10.1038/s41566-018-0138-z



Der neue THz-Demonstrator zur Schichtdickenmessung ist echtzeitfähig und günstiger als bisherige Systeme.

Differenzfrequenz der beiden Laser entspricht. Bislang klappte das nur bei 800 nm Wellenlänge, was teure Materialien und teure Laser erforderte. Die Projektbeteiligten entwickelten ein Halbleitermaterial, das sich mit 1,5  $\mu\text{m}$  Wellenlänge anregen lässt – also bei der Telekommunikationswellenlänge, wo es günstige, hochwertige Laser gibt.

Die Forscher nutzen hierfür Dauerstrichlaser und nicht, wie sonst bei THz-Systemen üblich, gepulste Laser. Die Nachteile gepulster Systeme sind der hohe Preis des Lasers sowie die nötigen optomechanischen Bauteile, die präzise justiert sein müssen. Dauerstrich-THz-Systeme haben nicht diese Nachteile, waren bisher aber zu langsam, um Schichtdicken während der Produktion zu messen. Abhilfe schafft hier ein extrem schnell durchstimmbarer Laser mit angepasster Elektronik. Im Vergleich zu bisherigen THz-Systemen stieg die Messgeschwindigkeit um einen Faktor 300, was bis zu 15 Messungen pro Sekunde erlaubt.

Aus der Machbarkeitsstudie soll nun ein Produkt werden.

## ■ Guter Riecher

**Ein Sensor kann charakteristische Gasgemische erfassen, um Gerüche zu erkennen.**

Elektronische Nasen, also Sensoren, die Gase oder Gasgemische erfassen, sind seit Jahrzehnten Gegenstand der Forschung. Die Idee: Gerüche, die zum Beispiel auf Gefahren hinweisen, schneller zu erkennen als der Mensch oder als bisherige Sensoren. Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Techno-

logie haben nun den Demonstrator einer solchen Nase entwickelt, der sich recht preiswert herstellen lässt. Dazu verwenden sie 17 kammartig ineinandergreifende Elektroden, zwischen denen sich statistisch verteilt Zinndioxid-Nanofasern befinden. Eine ungleichmäßige Verteilung der Fasern stellt sicher, dass verschiedene Signalmuster für unterschiedliche Gerüche entstehen. Einen Geruch erfasst der Sensor über eine Messung von Widerstandsänderungen, wenn die Gase an der Oberfläche der Nanofasern adsorbieren.

Eine handelsübliche UV-Leuchtdiode aktiviert die Nanofasern. Die Wissenschaftler ersparen sich aufwändige Depositionsverfahren, indem sie die Nanofasern aus der Lösung auftropfen. Der Demonstrator erfasst keine Gaskonzentrationen, sondern Signalmuster, die für Gasgemische bei bestimmten Anwendungen charakteristisch sind. Die genaue Zusammensetzung des Gemisches ist unwichtig für die Identifizierung des Geruchs; das Anlernen des Signalmusters genügt für eine Wiedererkennung. Zum Beispiel verändert sich der Geruch von Fisch nach dem Fang in relativ kurzer Zeit. Bei Schwelbränden wiederum entstehen oberhalb von 100 °C Gasgemische,



Die eigentliche elektronische Nase des Sensors befindet sich auf dem Chip am linken Rand in der Mitte.

die charakteristisch sind, aber von Rauchmeldern nicht erfasst werden. Auf solche anwendungsspezifischen Signalmuster trainieren die Forscher ihre elektronische Nase.

Für Fertigung und Vertrieb der elektronischen Nase soll nun eine Ausgründung sorgen.

**Michael Vogel**