

■ Feuerwache von oben

Ein Radiometer detektiert Brandherde unter dem Blätterdach und im Erdreich.

Waldbrände stellen selbst nach dem Löschen noch eine Gefahr dar, weil Schwelbrände im Erdboden oder der erdbodennahen Flora, die die Feuerwehr beim Löschen nicht entdeckt hat, neu aufflammen können. Um solche versteckten Brandherde rechtzeitig zu erkennen, müssen die Feuerwehrleute den Boden mit Haken per Hand durchwühlen – ein langwieriges Unterfangen. Ein Konsortium, dem neben Industriepartnern das Fraunhofer-Institut

lung absorbieren. Grundsätzlich gilt, dass bei sinkender Frequenz die Antenne größer und damit schwerer ausfallen muss, die räumliche Auflösung sinkt, aber die Pflanzen dann weniger absorbieren. Für ihren Demonstrator wählten die Wissenschaftler eine Frequenz von 22 GHz.

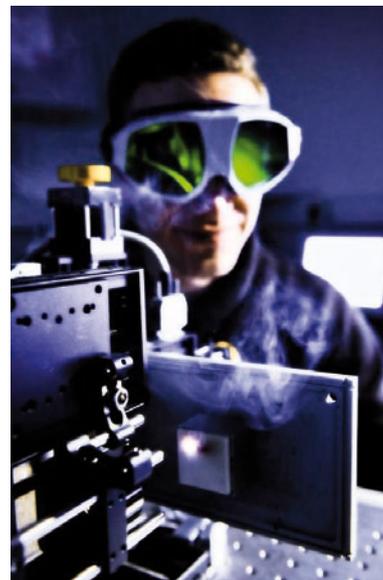
Bei der quadratischen Radiometerantenne mit 20 cm Kantenlänge handelt es sich um ein sog. Patch Array, bei dem die Einzellelemente der Antenne in Abständen von jeweils einer halben Wellenlänge zueinander angebracht sind. Zum System gehört neben der Sensorik des Empfängers die Software, mit der sich die Daten aufzeichnen, übertragen und visualisieren lassen. Bei einer Flughöhe des Zeppelins von hundert Meter erreicht der Demonstrator eine räumliche Auflösung von 17 mal 17 Meter, bei 30 Meter Flughöhe sind es 2,6 mal 2,6 Meter. Neben der Nachüberwachung von gelöschten Feuern eignet sich das Radiometer auch für die Überwachung von Industrieanlagen, etwa um Schwelbrände in Müllverbrennungsanlagen frühzeitig zu entdecken.

■ Laser statt Bohrer

Mit einem Pikosekundenlaser lassen sich Zähne präzise und fast schmerzfrei bearbeiten.

Der Bohrer gehört zum Zahnarzt wie der Pinsel zum Maler. Mittelfristig könnten jedoch Laser die Aufgabe der heutigen Bohrer übernehmen, da sie genauer arbeiten und bei entsprechend gewählten Kenndaten nahezu keine Schmerzen verursachen. Die Arbeitsgruppe „Laser in der Zahnmedizin“ am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Bonn hat nun zusammen mit den Industriepartnern Lumera Laser und Sirona Dental Systems einen entsprechenden Demonstrator entwickelt.

Die Beteiligten an dem Projekt MiLaDi (Minimalinvasive Laserablation und Diagnose von oralem Hartgewebe) nutzen hierfür einen



Volker Lannert / Uni Bonn

In der Zukunft soll ein Pikosekundenlaser den Bohrer beim Zahnarzt ablösen.

kommerziellen Pikosekundenlaser mit Pulsdauern von 10 ps und einer Repetitionsrate von derzeit 500 kHz. Der modengekoppelte Nd:YVO₄-Laser (Neodym-Yttrium-Vanadium-Oxid) mit neun Watt Leistung erreicht Bestrahlungsdichten von einigen hundert Gigawatt pro Quadratzentimeter – hoch genug, dass nichtlineare Effekte wie Mehr-Photonen-Absorption auftreten. Aufgrund der kurzen Pulsdauern liegt die übertragene Energiemenge in der Größenordnung von nur einigen Mikrojoule, der bei der Ablation entstehende Wärmeeintrag fällt also überaus gering aus.

Die Laserquelle strahlt bei 1064 nm und erreicht mithilfe einer Linsensystem eine Fokusgröße von einigen zehn Mikrometern. Die Schärfentiefe liegt bei einem Millimeter. Mithilfe eines Galvanometer-Scanners lässt sich der Laserstrahl mit bis zu 2 m/s Geschwindigkeit verfahren, sodass sich die gewünschten Kavitäten im Zahn erzeugen lassen. In Dentin, das im Zahn vom Zahnschmelz umgeben ist, erreicht die Ablation Werte von 14 Kubikmillimeter pro Minute, ein Volumen, das in der gleichen Größenordnung liegt wie bei einem konventionellen Bohrer. Bei Präzision und Flächenhomogenität schneidet der Laser sogar deutlich besser ab. Die Projektpartner wollen den Demonstrator nun weiter charakterisieren und optimieren.



Ein Zeppelin ermöglicht besonders energieeffiziente Überwachungsflüge mit einem Radiometer an seiner Unterseite.

für Hochfrequenzphysik und Radartechnik (FHR) in Wachtberg, die Universität Duisburg-Essen und die Fern-UNI Hagen angehören, hat nun im Rahmen eines größeren Projekts zur Waldbrandbekämpfung ein Radiometer entwickelt, mit dem sich von einem Zeppelin aus Brandherde sowohl im Boden als auch bei starker Sichtbehinderung aufspüren lassen.

Gerade bei starker Rauchentwicklung versagen bewährte Hilfsmittel wie Infrarotkameras, da die Partikel in der Luft die Strahlung streuen. Der radiometrische Sensor arbeitet dagegen im Mikrowellenbereich, wo die Streuung deutlich geringer ausfällt. Welche Frequenz am sinnvollsten ist, hängt von mehreren Parametern ab, etwa von der Flughöhe des Zeppelins, dem maximalen Gesamtgewicht, das er transportieren darf, der erwünschten Auflösung und wie stark die Blätter des Waldes die Mikrowellenstrah-

■ Schutz vor „Blüten“

Organische Elektronik könnte Banknoten fälschungssicher machen.

Moderne Geldscheine besitzen bis zu fünfzig verschiedene Sicherheitsmerkmale wie Wasserzeichen, Hologramme, Reliefdrucke, eingearbeitete Folienstreifen und fluoreszierende Tinten. Prinzipiell ließen sich Sicherheitsmerkmale auch mit integrierten Schaltkreisen verwirklichen, allerdings sind gängige Silizium-Wafer zu starr, und selbst Mikrochips mit stark reduzierter Dicke – machbar sind noch etwa 20 µm – sind noch zu dick, um sie in Geldscheine zu integrieren. Prinzipiell lassen sich auch dünne Siliziummembranen von einem Wafer auf einen Kunststoff übertragen und dann zu elastischen Schaltkreisen verarbeiten, aber durch die extremen Prozessbedingungen bei dieser Fertigung könnten die Geldscheine Schaden nehmen. Daher erscheinen organische Dünnschichttransistoren (TFTs) als viel versprechender Weg. Wissenschaftlern des Stuttgarter Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung, der Universitäten in Higashi-Hiroshima und Tokio sowie der Firma Nippon Kayaku haben nun Labormuster solcher TFTs direkt auf Geldscheinen gefertigt.¹⁾

Für die Herstellung der TFTs brachte das Forscherteam zunächst dünne Gate-Elektroden aus Aluminium und eine sich selbst organisierende Monoschicht (SAM) aus Alkylphosphonsäure auf den Geldscheinen auf. Die Alkylphosphonsäure dient zusammen mit einer dünnen Aluminiumoxidschicht als Gate-Dielektrikum hoher Kapazi-



Banknoten haben eine relativ raue Oberfläche, auf der organische Transistoren nicht ohne weiteres haften.

tät; die p- bzw. n-Kanal-TFTs bestehen jeweils aus einem organischen Halbleiter. Bis auf die Aufbringung der Monolage handelt es sich um chemische Trockenprozesse – eine wichtige Voraussetzung, damit die empfindlichen Geldscheine unversehrt bleiben. Die Transistoren und Schaltkreise haben eine Dicke von weniger als 250 nm und lassen sich bei Spannungen von etwa 3 V betreiben. Dass der Leckstrom der Gate-Elektrode trotz der geringen Dicke des Gate-Dielektrikums nur maximal 10 nA erreicht, werten die Wissenschaftler als Beleg dafür, dass Aluminiumschicht und SAM trotz der erheblichen Rauigkeit der Geldscheine tatsächlich eine zusammenhängende Isolationsschicht bilden.

■ Schnelle Info aus der Tiefe

Per Laser-Emissionsspektroskopie lassen sich Gesteinsproben bereits während der Bohrung analysieren.

Bevor ein Bergbauunternehmen eine Lagerstätte ausbeuten kann, führt es Probebohrungen durch und lässt die Bohrkern in einem Labor analysieren. Bis das Unternehmen die Untersuchungsergebnisse vorliegen hat, die dann die Grundlage für ein detailliertes Lagerstättenmodell liefern, vergehen oft mehrere Tage. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik (ILT) in Aachen haben nun in Zusammenarbeit mit dem Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie an der RWTH Aachen sowie sieben Industriepartnern einen bergbautauglichen Demonstrator entwickelt, der das Gestein in Echtzeit analysieren kann. Als Untersuchungsverfahren dient die Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS: Laser-induced Breakdown Spectroscopy).

Das Analysemodul befindet sich an einem konventionellen Bohrgestät. Der Staub aus dem Bohrloch wird durch einen Schlauch an die Oberfläche gesaugt und bewegt sich mit hoher Geschwindigkeit durch den Messbereich. Der Analysator besteht aus Laserstrahlquelle, Op-



Ein Laseranalysator (Kasten über der Raupenkette) bestimmt die Zusammensetzung des Gesteins in Echtzeit.

tik, Spektrometer und Auswertelektronik. Alle Komponenten finden in einem staubdichten Gehäuse Platz, das rund 60 mal 40 mal 30 cm misst. Die Projektbeteiligten fokussieren den gepulsten Strahl eines Neodym-YAG-Lasers auf den Staub, sodass dieser bei Beleuchtungsstärken von einigen Gigawatt pro Quadratzentimeter die Partikel schlagartig sublimiert. Ein Plasma bildet sich, und die darin enthaltenen chemischen Elemente senden kurzzeitig spezifische Strahlung aus. Das Spektrometer misst diese charakteristischen Spektrallinien zeitaufgelöst simultan vom Nahinfrarot bis zum Ultraviolett. Die eigentliche Analyse dauert den Bruchteil einer Sekunde, die Daten werden dann an einen Computer weitergeleitet und innerhalb weniger Sekunden ausgewertet.

Aufgrund der rauen Einsatzbedingungen mussten die Entwickler den Analysator besonders robust auslegen: Eine Aufhängung sorgt für die Dämpfung der Vibrationen, die Temperaturstabilisierung übernehmen Peltier- und Heizelemente. Aufgrund der statistisch verteilten Partikel im Messvolumen schwankt das Signal stark. Indem der Analysator die relativen Intensitäten mehrerer Spektrallinien miteinander vergleicht, kann er diese Schwankungen jedoch kompensieren.

Michael Vogel

¹⁾ U. Zschieschang et al., Adv. Mater. (2010), DOI: 10.1002/adma.201003374