



Walter Oettel, Fraunhofer IOF

Das Sensorsystem nutzt Wärmestrahlung, um transparente Objekte dreidimensional zu erfassen.

Scanner für Durchsichtiges

Ein thermisch arbeitendes 3D-Sensorsystem erfasst optisch heikle Oberflächen in hoher Auflösung.

Reflektierende, transparente oder schwarze Objektflächen lassen sich mit konventioneller optischer Sensorik nur schwer oder gar nicht erfassen. Problematisch ist das zum Beispiel bei der Qualitätsprüfung von Objekten aus Glas oder Kunststoffen oder bei der Digitalisierung von Kunstwerken oder historisch wertvollen Gegenständen. Durch die Robotik gewinnt die 3D-Erfassung beispielsweise auch beim Greifen transparenter Gegenstände an Bedeutung. Ein Team des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena hat für solche Anforderungen einen 3D-Scanner entwickelt, der im thermischen Infrarot arbeitet.

Das Team beleuchtet den zu vermessenden Gegenstand mit einem senkrecht aufgefächerten, etwa einen Millimeter schmalen Streifen Laserlichts, den es schrittweise über die Kontur des Gegenstands führt. Der Gegenstand absorbiert die horizontal fokussierte Strahlung mit $10,6 \mu\text{m}$

Wellenlänge und erwärmt sich dadurch lokal. Zwei Infrarotkameras erfassen die Emission des Objekts bei Wellenlängen zwischen 3 und $5 \mu\text{m}$ unter verschiedenen Winkeln.

Der Demonstrator hat eine Messfeldbreite von 180 mm und erreicht eine Messgenauigkeit von maximal $10 \mu\text{m}$. Die Aufnahme der Daten für eine volle 3D-Ansicht dauert etwa drei Sekunden. Bei einer Genauigkeit von $50 \mu\text{m}$ sinkt die Messdauer unter eine Sekunde. Bislang vermaß das Team 3D-Flächen aus Glas und verschiedenen Kunststoffen sowie metallbeschichtete Flächen. Dank der scannenden Linie steigt der Kontrast im Wärmebild gegenüber einer Flächenbeleuchtung deutlich und ermöglicht so eine zuverlässige Messung. Der bestrahlte Streifen erwärmt sich bei Glas und Kunststoffen um etwa $3 \text{ }^\circ\text{C}$, was für das Material meist unproblematisch ist.

Das Team möchte den Demonstrator nun weiterentwickeln. Einerseits will es die Algorithmen für Scannen und Auswerten verbessern. Andererseits soll das System durch andere Kameras die beiden Anwendungsfälle „genau und schnell“ sowie „günstig“ abdecken. Ein leistungsstärkerer Laser soll höhere Intensitäten und damit geringere Störungen durch thermische Diffusion ermöglichen, um etwa auch Metallkörper dreidimensional zu vermessen.

Schnelle PCR-Diagnose

Dank eines plasmofluidischen Chips lassen sich Viren vor Ort innerhalb weniger Minuten analysieren.

Die Corona-Pandemie hat die Polymerase-Kettenreaktion unter ihrem Kürzel PCR zum sprachlichen Allgemeinut gemacht, denn die Reverse-Transkriptase-PCR (RT-PCR) gilt als Goldstandard beim Nachweis einer Infektion mit SARS-CoV-2. Bei dem Verfahren schreiben Enzyme winzige Mengen viraler RNA in DNA um, die dann vervielfacht und in Fluoreszenz nachgewiesen wird. Leider ist das Verfahren durch das wiederholte Erwärmen und Abkühlen der Proben in sperrigen Geräten langwierig: Der Vorgang an sich dauert etwa eine Stunde, hinzu kommt die Zeit für den Probentransport ins Labor. Ein südkoreanisches Forschungsteam, dessen Mitglieder größtenteils dem Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) angehören, hat nun einen plasmofluidischen Chip entwickelt, der die Probe innerhalb von gut zehn Minuten analysiert und sich unmittelbar am Ort der Probenahme einsetzen lässt.¹⁾

Auf dem briefmarkengroßen Chip befinden sich mehrere Mikrokammern, in denen die RT-PCR abläuft. Wird ein Tropfen der Probe auf den Chip aufgebracht, saugt ein Vakuum die Flüssigkeit in die Mikrokammern, die über gläsernen Nanosäulen liegen, auf denen sich Nanoinseln aus Gold befinden. Entstehende Mikroblasen



ACS Nano

Der südkoreanische PCR-Chip hat Abmessungen von $14 \times 26 \times 4 \text{ mm}^3$.

1) B.-H. Kang et al., ACS Nano (2021), DOI: 10.1021/acsnano.1c02154

2) J. Petrović et al., Sci. Adv. 7, eabg3032 (2021)

3) G. Winkler et al., Optica 8, 686 (2021)



Die Gamma- und Neutronen-Detektoren des schwedischen Demonstrators befinden sich in zwei Gerüsten, die für die Messung einen Meter weit auseinander stehen.

stören die PCR nicht, weil sie durch eine durchlässige Wand diffundieren können. Unter dem Chip ist eine LED, deren Licht sich durch die Gold-Nanoinseln schnell in Wärme umwandelt. Ist die LED aus, kühlen die Nanoinseln rasch wieder ab.

Gene von SARS-CoV-2 waren nach fünf Minuten und 40 Temperaturzyklen anhand des Fluoreszenzsignals unter einem Mikroskop nachweisbar. Berücksichtigt man die Zeit für das Laden der Probe und für den Reverse-Transkriptase-Schritt, ergeben sich die genannten zehn Minuten. Die Effizienz lag bei 91 Prozent – die PCR im Labor erreicht 98 Prozent.

Der Proliferation vorbeugen

Ein Neutronen-Gamma-Detektor lokalisiert spaltbares Material in Echtzeit zentimetergenau.

Die unkontrollierte Verbreitung von spaltbarem Material, aus dem sich Atomwaffen oder schmutzige Bomben bauen lassen, ist seit Jahrzehnten ein Problem, das passive Portal-detektoren an militärischen Standorten sowie an Flug- und Seehäfen verhindern sollen. Durch solche Portale passen selbst Lkws hindurch. Für gewöhnlich detektieren sie Gammastrahlung und Neutronen oberhalb einer bestimmten Energieschwelle, die charakteristisch für den Zerfall von Elementen wie Plutonium oder hochangerei-

chertem Uran ist. Die Ortsauflösung dieser Detektorsysteme ist jedoch schlecht, sodass die Suche nach einer verdächtigen Quelle, zum Beispiel in einem großen Container, lange dauern und das Sicherheitspersonal gefährden kann.

Ein Team der KTH Königlichen Technischen Hochschule in Stockholm hat nun ein Verfahren entwickelt, bei dem ein Demonstrator in Echtzeit Ortsauflösungen im Zentimeterbereich erreicht.²⁾ Die Methode basiert auf der Gammastrahlung, die ein Kern abgibt, wenn er nach dem Aussenden eines Neutrons angeregt zurückbleibt. Der Demonstrator erfasst mit Detektoren, die sich in einem Meter Abstand gegenüberliegen, die korrelierten, kurz nacheinander auftretenden Neutronen und Gammaquanten oberhalb einer bestimmten Energieschwelle. Aus den verschiedenen Ankunftszeiten lässt sich der Aufenthaltsort der Quelle auf eine Kugeloberfläche beschränken; viele solcher Neutron-Gamma-Korrelationen liefern einen gemeinsamen Schnittpunkt der Kugeloberflächen. Abweichungen durch Streuung soll das maschinelle Lernen ausgleichen.

Als Ersatz für waffentaugliches Plutonium nutzte das Team wenige Gramm Californium-252: Die Probe ließ sich innerhalb von zehn Sekunden auf rund 4 cm genau lokalisieren. Im nächsten Schritt bleibt zu zeigen, dass auch eine Probe detektierbar ist, deren Neutronenemission teilweise

abgeschirmt ist – bei einem illegalen Transport wäre das wohl der Fall.

Verlustarme Spiegel

Kristalline Beschichtungen senken im mittleren Infrarot die optischen Verluste drastisch.

Das mittlere Infrarot zwischen etwa 3 und 8 μm ist für die Spektroskopie wegen der dortigen Molekülbanden interessant. Einer der maßgeblichen Faktoren, der Anwendungen mit optischen Resonatoren in diesem Spektralbereich beschränkt, sind die Verluste durch Absorption und Streuung an den reflektierenden Schichten der spiegelnden Flächen. Ein Team aus mehreren Forschungseinrichtungen und einem Unternehmen hat nun ein Verfahren entwickelt, das diese optischen Verluste bei einer Wellenlänge von 4,54 μm auf weniger als 10 ppm reduziert. Beteiligt waren die Universität Wien, die kalifornische Firma Thorlabs Crystalline Solutions, das US-amerikanische National Institute of Standards (NIST) und die University of Kansas.³⁾

Bislang wurden die traditionellen Verfahren der physikalischen Gasphasenabscheidung zur Herstellung hochreflektierender Spiegel nicht für Materialien optimiert, die im mittleren Infrarot transparent sind. Deshalb weisen solche Spiegel meist optische Verluste von mehr als 100 ppm auf, während im Nahinfrarot Verluste unter 10 ppm fast schon Standard sind.

Das österreichisch-amerikanische Team fertigte per Molekülstrahlepitaxie auf einem Substrat einkristalline Schichten, die abwechselnd aus hochbrechendem GaAs und niedrigbrechendem AlGaAs bestehen. Mit einem proprietären Kontaktierungsverfahren übertrug das Team diese Schichtstapel auf gekrümmte Siliziumsubstrate. Die Beteiligten haben die Spiegel umfassend charakterisiert. Sie halten durch eine weitere Erhöhung der Zahl der Schichten optische Resonatoren mit einer Finesse jenseits der 100 000 im mittleren Infrarot für möglich.

Michael Vogel