

■ Schnell und schonend

Echtzeit-MRT liefert erstmals Bilder vom schlagenden Herzen ohne EKG und ohne Luftanhalten.

Herz-Kreislauf-Erkrankungen lassen sich heute mit der Magnetresonanztomografie (MRT) präzise diagnostizieren. Um die Aufnahmen bei der Bildrekonstruktion der passenden Phase des Herzschlags zuordnen zu können, muss der Patient während der Untersuchung

Sekunde kann der Patient frei atmen, und ein EKG wird überflüssig. Statt Bildsequenzen für 10 bis 20 Zeitpunkte fallen nun allerdings Bildsequenzen für 400 bis 900 Zeitpunkte pro MRT an. Zudem variieren deren Kontraste, und zwischen Blut und Gewebe treten wechselnde Intensitätsunterschiede auf. Die Wissenschaftler entwickelten daher eine neue Analysesoftware mit selbstlernenden Algorithmen und Modellannahmen, um aussagekräftige Bilddaten zu rekonstruieren. Nun gilt es, das Verfahren in der klinischen Forschung zu erproben.

■ Vielschichtiges 3D

Ein deutlich empfindlicheres elektronentomografisches Verfahren ist schneller und schädigt Proben weniger.

Die Elektronentomografie hat sich als bildgebendes 3D-Verfahren etabliert, um Morphologie, Mikrostruktur und Zusammensetzung von Materialien auf der Nanometerskala darzustellen. Bei dem Verfahren nimmt ein Transmissions-elektronenmikroskop Bilder einer dünnen Probe in rascher Folge aus unterschiedlichen Winkeln auf. Diese Bilder zeigen keine Querschnitte, sondern Informationen aus unterschiedlichen Schichten der Probe. Um daraus eine dreidimensionale Ansicht zu rekonstruieren, werden die Aufnahmen auf eine Ebene projiziert. Heutige elektronentomografische Aufnahmen verwenden etwa 100 Einzelbilder und dauern einige zehn Minuten. Wis-

senschaftler unter Federführung des Forschungszentrums Jülich haben nun ein System entwickelt, das knapp 3500 Einzelbilder in 3,5 Sekunden aufnimmt – bei einer Elektronendosis, die um eine Größenordnung geringer ist als bisher.¹⁾

Entscheidend dafür ist eine CCD-Kamera, die einzelne Elektronen nachweisen kann, ohne sie zuvor in Photonen umwandeln zu müssen. Hieraus resultiert die sehr hohe Empfindlichkeit. Von dem neuen Elektronentomografie-Verfahren profitieren vor allem biologische Proben, die meist im Lauf der Messung durch die Elektronen zerstört werden. Zudem ist es damit möglich, chemische Reaktionen oder Schaltvorgänge fast in Echtzeit zu verfolgen.

■ Breitbandig dank Graphen

Ein optischer Detektor deckt einen Wellenlängenbereich von drei Größenordnungen ab und besitzt eine kurze Ansprechzeit.

Typische photovoltaische Detektoren haben kurze Ansprechzeiten. Ihre spektrale Breite ist aber durch die Bandlücke des aktiven Materials begrenzt. Pyroelektrische oder bolometrische Detektoren absorbieren Strahlung in einem großen Spektralbereich, aber ihre Ansprechzeiten sind lang, weil im aktiven Material thermische Prozesse ablaufen müssen. Daher entwickelten Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR) nun einen graphenbasierten optischen Detektor. Die Eigenschaften dieses Materials sind für optische Detektoren interessant. Aufgrund seiner Bandstruktur absorbiert es Photonen über einen sehr großen Spektralbereich. Seine hohe Ladungsträgermobilität und seine schwache Elektron-Phonon-Streuung führen zu sehr kurzen Ansprechzeiten.

Das Labormuster des HZDR besitzt eine sehr kurze Ansprechzeit von rund 40 Pikosekunden. Trotzdem werden Wellenlängen von 780 nm bis 500 μm abgedeckt – also vom tiefen Rot bis zur Terahertz-



Das neue MRT-Verfahren kompensiert Atmung und Herzmuskelbewegung, sodass keine EKG-Daten benötigt werden.

allerdings an ein EKG angeschlossen sein und die Luft anhalten. Diese Methode stößt bei Kleinkindern und bei Menschen mit Herzrhythmusstörungen an ihre Grenzen. Kleinkinder können ihre Atmung noch nicht kontrollieren. Bei Patienten mit Herzrhythmusstörungen liefert das EKG häufig keine verlässlichen Daten. Abhilfe schafft ein Verfahren, das Wissenschaftler der Biomedizinischen NMR Forschungs-GmbH am Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen und des Fraunhofer-Instituts für Bildgestützte Medizin MEVIS in Bremen in Kooperation mit Siemens entwickelt haben.

Den Forschern gelang es, die Messzeiten bei der Bildgewinnung durch Abtastverfahren extrem zu verkürzen. Bei jedem Messpuls der MRT werden die Abtastpunkte ein Stück versetzt. Dank eines neu entwickelten Rekonstruktionsverfahrens ist eine hohe Bildrate bei ausreichender Qualität möglich. Durch 30 bis 50 Aufnahmen pro



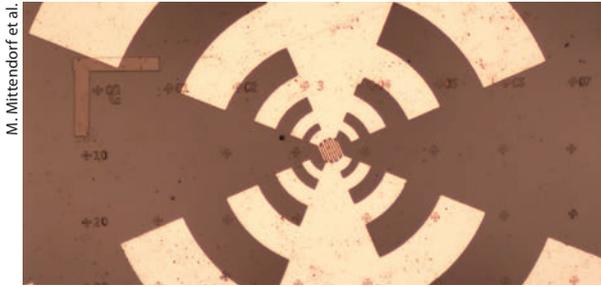
Jülicher Forscher erstellten aus ihren Messdaten diese elektronentomografische 3D-Rekonstruktion eines Lanthaniden-Nanoröhrchens (orange) mit einer sehr geringen Elektronendosis.

1) V. Migunov et al., Sci. Rep. 5, 14516 (2015)

2) M. Mittendorff et al., Opt. Express 23, 28728 (2015),

3) vgl. S. 44 in diesem Heft

4) P. Wang et al., Optica 2, 933 (2015)



M. Mittendorf et al.

Aufnahme der Antenne, in deren Mitte sich der Detektor mit den Graphenflochten befindet.

Strahlung.²⁾ Die Arbeiten, an denen fünf weitere Hochschulen aus Deutschland und den USA beteiligt waren, schlossen an einen ersten graphenbasierten Detektor aus dem Jahr 2013 an. Durch Siliziumcarbid stieg dessen spektrale Breite deutlich. In diesem transparenten Substrat erzeugt die einfallende Strahlung im gesamten genutzten Spektralbereich keine störenden Ladungsträger. Um eine höhere Empfindlichkeit im langwelligen Infrarot zu erreichen, fertigten die Forscher lithografisch eine Antenne, die sie mit den Graphenflochten kontaktierten.

Der Detektor besitzt eine äquivalente Rauschleistung – ein Maß für die geringste detektierbare Leistung – in der Größenordnung von $100 \mu\text{W Hz}^{-1/2}$. Das reicht für den Nachweis von Laserpulsen im Nanojoule-Bereich aus sowie für die Synchronisation von Laserstrahlquellen.

■ Entauschte Farben

Dank einer beugenden Struktur gelingen bei schlechten Lichtverhältnissen Farbbilder, die weniger verrauscht sind.

Bildsensoren von Digitalkameras sind farbenblind.³⁾ Deshalb befindet sich vor dem Sensor ein Filter. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um ein so genanntes Bayer-Filter, das aus einem Array quadratischer Farbelemente besteht, die Rot, Grün oder Blau absorbieren. Jedes dieser Elemente ist einem Subpixel auf der Sensorfläche zugeordnet. Ein wesentlicher Teil des einfallenden Lichts wird dadurch verschwendet. Das macht sich bei schlechten Lichtverhältnissen bemerkbar, weil dann das Signal-zu-

Rausch-Verhältnis ungünstig ist. Forscher der University of Utah in Salt Lake City haben nun ein transparentes Beugungsfilter entwickelt. Dieses steigert in Verbindung mit einer rechnerischen Bildrekonstruktion die Empfindlichkeit bei Farbaufnahmen ungefähr um den Faktor drei gegenüber einem Bayer-Filter.⁴⁾

Bei dem Filter handelt es sich um ein Array aus unterschiedlich hohen würfelförmigen Strukturen. Der Bildsensor erfasst wellenlängenabhängige Intensitätsverteilungen. Die Forscher kalibrierten diese Intensitätsverteilungen und rekonstruierten RGB-Farbbilder mit einem Algorithmus. Auch Aufnahmen mit mehr als den drei Grundfarben, sog. hyperspektrale Bilder, entstanden auf diese Weise. Für die Machbarkeitsstudie galten vereinfachte Bedingungen: Die quadratischen Pixel des Sensors waren mit sechs Mikrometern Kantenlänge relativ groß, und das Licht fiel senkrecht ein. Reale Bedingungen simulierten die Forscher und verwendeten Pixel mit Kantenlängen von etwa einem Mikrometer. Mit einer Kalibrierung für schrägen Lichteinfall funktioniert das Verfahren auch unter diesen Umständen.

Eine Massenfertigung des Beugungsfilters soll bald möglich sein. Dazu wird die neue Technik in einer Ausgründung vermarktet. Sie ist für Smartphone-Kameras mit ihren kleinen und daher rauschanfälligen Pixeln interessant, aber auch für Roboter, Überwachungskameras oder autonome Fahrzeuge.

Michael Vogel