

Oliver Dietze

Blick auf das neue Sensorsystem in einem Ofen

## Hygrometer für Öfen

Ein Sensorsystem misst verlässlich die Feuchte, auch bei sehr hohen Temperaturen.

Bei Trocknungsprozessen in Industrie-Öfen spielt der vorhandene Feuchtegehalt eine große Rolle – sei es beim Trocknen von Holz, Textilien oder Beschichtungen, wo eine zu hohe Temperatur das Material schädigen kann, oder beim Backen oder Garen von Lebensmitteln. Verlieren zum Beispiel Brote in einer Backstraße zu viel und zu schnell an Feuchtigkeit, leidet ihre Qualität. Bei hohen Temperaturen die Feuchte verlässlich zu messen, ist allerdings nicht so einfach. Die etablierten Verfahren sind aufwändig, teuer oder für hohe Temperaturen ungeeignet. Günstige keramische Sensoren wiederum, welche die Feuchte über den elektrischen Widerstand erfassen, sind zu empfindlich: Reduzierende Gase wie Ethanol beim Backen oder Abscheidungen auf der Sensoroberfläche verfälschen die Messung oder vergiften den Sensor.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts haben drei Partner eine Alternative entwickelt. Beteiligt waren die Universität des Saarlandes sowie die

Firmen Canway Technology und UST Umweltsensortechnik. Dabei kommt ein keramischer Sensor aus Titandioxid zum Einsatz, dessen Wechselstromwiderstand mittels der Fourier-basierten Impedanzspektroskopie gemessen wird. Dabei sind drei Beiträge unterscheidbar: ein kapazitiver Anteil aufgrund des Schichtaufbaus, ein elektrischer Widerstandsanteil aufgrund von reduzierenden Gasen auf der Sensoroberfläche sowie ein Anteil aufgrund der Feuchteleitung an der Oberfläche. Letzterer weist einen konstanten Phasenwinkel auf, der zwar gering ist, aber dennoch von einem rein elektrischen Widerstand unterscheidbar ist. Die Wechselstromanregung geschieht gleichzeitig bei tausend linear verteilten Frequenzen, sodass sich die Antwortfunktion innerhalb von 100 Millisekunden aufnehmen lässt.

Auf Grundlage von Ersatzschaltbildern und Modellbildung leiten die Projektpartner aus dem gemessenen Spektrum des Sensorsystems in einem weiten Bereich die Feuchte ab. So lässt sich bei einer Temperatur bis 300 °C der Partialdruck der Feuchte mit einer Genauigkeit von 15 mbar messen, auch noch bei einem Volumenanteil von 1000 ppm Ethanol.

## Ohne Widerstand gefertigt

Ein neues Verfahren ermöglicht es, Gleichstrom-Supraleiterkabel effizient herzustellen.

Bei der industriellen Nutzung der Hochtemperatur-Supraleitung gab es in den letzten Jahren deutliche Fortschritte. Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) haben nun ein Verfahren entwickelt, mit dem sich solche Supraleiterkabel für die Übertragung von Gleichströmen im großen Maßstab wirtschaftlich fertigen lassen. Sie nutzen dazu den kommerziell erhältlichen Hochtemperatur-Supraleiter REBCO (Rare-Earth Barium Copper Oxide). Er ist in dünnen Schichten auf ein metallisches Band aufgetragen, wobei die supraleitende Schicht nur gut 1 µm dick ist. Die Gesamtdicke, inklusive einer Kupferummantelung, beträgt 80 bis 150 µm. Um einem kreisförmigen Leitungsquerschnitt möglichst nahe zu kommen, stapeln die KIT-Forscher Bänder unterschiedlicher Breite übereinander, sodass diese im Querschnitt ein Kreuz bilden. Die genaue Auslegung der Kreuzleiter richtet sich nach der Anwendung. Aus mehreren Kreuzleitern ließe sich ein vom Kühlmedium umspültes Gleichstrom-Supraleiterkabel aufbauen. Letztes Jahr haben die KIT-Forscher für ein Kabel mit zwölf Kreuzleitern eine Stromstärke von 35 000 A bei 77 K im magnetischen Eigenfeld demonstriert.

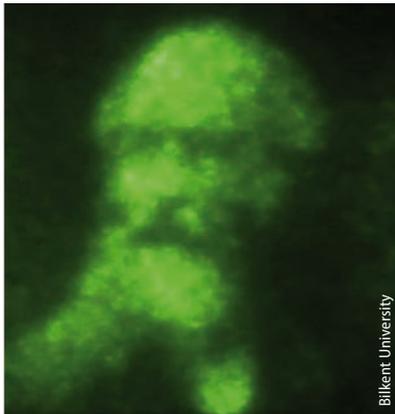
Die Herstellung der Kreuzleiter erfolgt mit einer selbst entwickelten Anlage, welche die REBCO-Bänder ordnet, vorbereitet und durch ein Lötbad zieht. Der Demonstrator der Anlage fertigt pro Minute einen Meter Kreuzleiter. Das Verfahren ist skalierbar. Gemeinsam mit dem Lizenznehmer Vision Electric Super Conductors aus Kaiserslautern wollen die KIT-Forscher es nun zur industriellen Reife bringen. Zunächst wollen sie zeigen, dass sich Leiterlängen von über 20 Metern herstellen lassen.

Mögliche Anwendungen für die Supraleiterkabel gibt es in der Energieversorgung, etwa bei der Anbindung von Windparks oder Solarkraftwerken ans Stromnetz, oder bei Schiffen oder vollelektrischen Flugzeugen, wo es auf Gewicht und Volumen ankommt.

## Realistischere 3D-Ansichten

Eine neue holografische Methode steigert die Zahl gleichzeitig darstellbarer Bildschnitte deutlich.

Überzeugende und gleichzeitig kostengünstige holografische 3D-Displays sind seit Jahrzehnten Ziel von Forschung und Industrie. Obwohl es viele Fortschritte gegeben hat, fehlt noch ein ganzes Stück bis zur Verwirklichung der Vision. Wissenschaftler der Bilkent-Universität in Ankara haben nun im Labor ein Verfahren demonstriert, das eine volle Kontrol-



Das Porträt des Physikers James Clerk Maxwell wurde holografisch erzeugt.

le über die Tiefenschärfe ermöglicht.<sup>1)</sup> Mit dem Verfahren lassen sich Objekte vollständig dreidimensional erkennen – Front, Mitte und Rückseite.

Die Forscher verwenden eine Reihe von Fresnel-Zonenplatten, um jeden 2D-Bildschnitt in der passenden Bildebene zu fokussieren. Dazu manipulieren sie die Wellenfronten so, dass sich die Fresnel-Beugung der Fourier-Transformierten lokal auf die jeweilige Bildebene beschränkt. Zudem geben sie jeder Bildebene eine zufällige Phase mit. Dadurch lässt sich ein Bild als vieldimensionaler Vektor auffassen, dessen Dimension durch seine Pixelzahl bestimmt ist. Die resultierenden Zufallsvektoren werden für unendlich viele Pixel orthogonal, was bei ausreichend großer Pixelzahl ein Übersprechen im rekonstruierten Bild verhindert.

1) G. Makey et al., Nat. Photonics, doi:10.1038/s41566-019-0393-7

2) J. Lenz et al., Nat. Nanotechnol., doi:10.1038/s41565-019-0407-0

Die Forscher können mit ihrem Verfahren 3D-Bilder aus 1000 Bildebenen erzeugen. Damit liegt die Zahl der gleichzeitig erzeugten Ebenen um zwei Größenordnungen höher als bislang. Für die experimentell projizierten Hologramme betrug die typische Rechenzeit 80 ms. Mit einer High-End-Grafikkarte und einem optimalen Algorithmus scheinen eine zehnmal kürzere Rechenzeit und Bildwiederholraten von 20 Hz möglich.

## Vielversprechend verkleinert

Neu designte nanoskopische organische Transistoren lassen sich bei hohen oder niedrigen Stromdichten betreiben.

Anorganische Transistoren mit Abmessungen unter 100 nm sind Standard. Da können organische Transistoren aufgrund des schlechteren Ladungstransports nicht mithalten. Nun ist es Wissenschaftlern der LMU München gelungen, das Design organischer Transistoren so zu optimieren, dass die Kanallängen bei einer Grundfläche von nur zweimal  $80 \times 80 \text{ nm}^2$  bei 40 nm liegen.<sup>2)</sup> Dazu haben sie die organischen Feldeffekttransistoren vertikal angeordnet. Solche VOFETs galten als vielversprechender Ansatz, um den Abstand der Source-Drain-Kontakte ohne eine Strukturierung mit hoher Auflösung auf nanoskopische Dimensionen zu verkleinern. Um den organischen Halbleiter nicht durch die anderen Prozessschritte zu verletzen, haben die Forscher ihn zuletzt aufgebracht. Zudem dotierten sie ihn mit einem organischen Elektrolyten, um die elektrische Leitfähigkeit zu erhöhen. Das reduziert unerwünschte Verluste durch die kurzen Kanallängen.

Die Labormuster ermöglichen dauerhafte Stromdichten oberhalb von  $2 \text{ MA/cm}^2$ , On/Off-Verhältnisse bis zu 108 und Steilheiten (Transkonduktanzen) bis zu 5000 S/m. Die VOFETs lassen sich auch mit sehr niedrigen Spannungen bis zu  $10 \mu\text{V}$  schalten. Mögliche Anwendungen sind die Steuerung von organischen Leuchtdioden, Sensoren oder Memristoren für neuronale Netze.

Michael Vogel