

Rekordstrom in die Kälte

Wer Strom aus der Kernfusion gewinnen will, muss erst viel Strom in einen Reaktor einspeisen. So benötigt der Versuchsreaktor ITER, der in den kommenden Jahren im französischen Cadarache aufgebaut werden soll, Magnetfelder von über fünf Tesla, um das bis zu 15,6 Millionen Grad Celsius heiße Plasma sicher einzuschließen. Ein solch starkes Magnetfeld lässt sich nur



In Testläufen am Forschungszentrum Karlsruhe konnte die gezeigte supraleitende Stromzuführung dauerhaft und stabil 70000 Ampere Strom in tiefgekühlte Magnetfeldspulen leiten, wie man sie für Kernfusionsanlagen benötigt. (Foto: FZK)

mit sehr großen elektrischen Spulen erzeugen, die aber nur im supraleitenden Zustand, also bei sehr tiefen Temperaturen arbeiten können. Die notwendigen hohen Ströme müssen dabei von außen in die Spulen geführt werden. Normalleitende Zuführungen sind dafür nicht geeignet, da sie unerwünschte Wärme auf die supraleitenden Spulen übertragen.

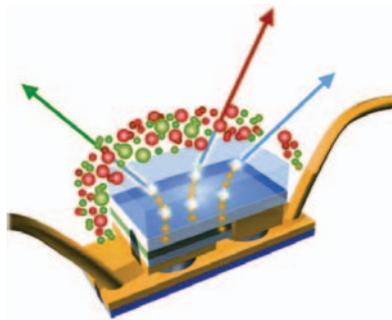
Eine neue, ebenfalls supraleitende Stromzuführung ist jedoch in der Lage, dieses Problem zu umgehen. Physikern um Reinhard Heller am Forschungszentrum Karlsruhe ist es gelungen, Ströme von bis zu 70000 Ampere zu den Magnetspulen zu leiten.¹⁾ Mit diesem Wert, der im Dauerbetrieb erreichbar ist, stellten die Wissenschaftler einen neuen Weltrekord für eine Stromzuführung auf.

Auf insgesamt zwei Metern Länge führt das Modul den Strom von außen bei Raumtemperatur zu den mit flüssigem Helium auf 4,5 Kelvin gekühlten supraleitenden Magneten. Innerhalb der Zuleitung dient ein etwa 70 Zentimeter langer Wärmetauscher aus Kupfer der Vorkühlung auf etwa 80 Kelvin. Dazu wird er mit flüssigem Stickstoff umflossen. Daran schließt sich das rund einen halben Meter lange Herzstück der Zuführung an, das aus dem keramischen Hoch-

temperatur-Supraleiter (HTSL) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ mit einer Sprungtemperatur von 108 Kelvin besteht. Wegen der hohen Sprödigkeit wird dieser HTSL in vielen 0,2 Millimeter dünnen Schichten in eine Silbermatrix eingelagert. Dieser supraleitende Abschnitt steht im Wärmekontakt zum geschlossenen Helium-Kühlkreislauf, sodass sich die äußere Temperatur von maximal 80 Kelvin über die Supraleiterstrecke auf 4,5 Kelvin drosseln lässt und so Wärmeverluste vermieden werden.

Aus blau mach weiß

Blau plus rot und grün ergibt weiß. Dieses Prinzip der Farbaddition wird für Weißlicht-Leuchtdioden (LED) genutzt. Ein internationales Forscherteam um Wolfgang Schnick von der Ludwig-Maximilians-Universität München hat für diese Farbergänzung einer blauen LED nun zwei neue, farbkonvertierende Phosphormaterialien entwickelt.²⁾ Diese seien stabiler und besser an die Anforderungen einer blauen Indiumgalliumnitrid/Galliumnitrid-LED (InGaN/GaN) angepasst als bisher verfügbare, fluoreszierende Werkstoffe. Erste Versuche ergaben eine warmweiß strahlende Leuchtdiode, die eine Farbtemperatur von



Dank zweier neuer farbkonvertierender Phosphore (rot und grün eingezeichnet) lässt sich mit einer blauen Leuchtdiode angenehm weißes Licht erzeugen.

3200 Kelvin liefert. Mit 25 Lumen pro Watt erreicht der Prototyp eine Leuchteffizienz, die vergleichbar mit der einer 12 Volt-Halogenglühlampe ist.

Angeregt durch das blaue Licht der InGaN/GaN-LED senden die Nitrid- und Oxynitrid-Phosphore orangerotes und gelbgrünes Licht aus. Über eine Dotierung mit Fluoreszenz-aktiven Seltenen Erden – z. B. Cer und Europium – gelang es den Wissenschaftlern, das gesamte Spektrum der Leuchtdiode hin zu

einem subjektiv als angenehm geltenden warmweißen Licht zu trimmen. Als großer Vorteil erwiesen sich das zuverlässige Emissionsverhalten, die chemische Widerstandsfähigkeit und die Temperaturstabilität der neuen Phosphormaterialien, die selbst bei 200 Grad Celsius noch eine Quanteneffizienz von über 90 Prozent aufweisen.

Die Basis der neuen LED bildet eine dünne Kupferunterlage, auf die abwechselnd Galliumnitrid und Indiumgalliumnitrid geschichtet wurde. Die farbkonvertierende Phosphore lagerten die Forscher in eine Plastiklinse ein, die die Halbleiter-Lichtquelle von oben umschließt. Primäres, blaues Licht der LED und sekundäres, orangerotes sowie gelbgrünes Licht ergänzen sich für das Auge des Betrachters zu weiß. Von der Zuverlässigkeit dieser LEDs überzeugt, rechnen die Wissenschaftler, dass erste Produkte schon bald auf den Markt kommen könnten. Hergestellt werden die kleinen Halbleiter-Leuchten von der Philips-Tochter Lumileds Lighting, dessen Mitarbeiter ebenfalls an der Entwicklung mitgewirkt haben.

Fingernagel als Datenspeicher

Einen optischen Datenspeicher, den man immer dabei hat – dieses Ziel erreichten japanische Wissenschaftler von der Tokushima Universität, indem sie mit einem Femtosekunden-Laser winzige Datenpunkte auf einen Fingernagel schrieben.³⁾ Die mit bloßem Auge unsichtbaren feinen Strukturen lassen sich mit einem Fluoreszenz-Mikroskop auslesen. Auf einer 5×5 Quadratmillimeter großen und 100 Mikrometer dicken Fläche konnten so in drei Schichten rund fünf Megabit für den Zeitraum von etwa sechs Monaten gespeichert werden.

Yoshio Hayasaki und Kollegen lenkten 100 Femtosekunden kurze Pulse eines Ti-Saphir-Lasers mit 800 nm Wellenlänge durch ein Mikroskop auf eine Fingernagel-Probe. Dieser Lichtstrahl heizte mit einer Energie von rund $0,5 \mu\text{J}$ pro Puls einen kreisförmigen Bereich von etwa drei Mikrometer Durchmesser auf. Je nach Fokussierung konnten so Datenpunkte in drei Ebenen in 40, 60 und 80 Mikrometer Tiefe eingebrannt werden. Durch diese Bestrahlung verändert sich die Keratinstruktur im Fingernagel. Die

1) R. Heller et al., Applied Superconductivity, IEEE Trans. 15, 1496 (2005)

2) R. Mueller-Mach et al., phys. stat. sol. (a) 202, 1727 (2005)

3) A. Takita et al., Optics Express 13, 4560 (2005)

4) B. Gleich und J. Weizenecker, Nature 435, 1214 (2005)

Folge ist eine erhöhte Fluoreszenz im Vergleich zum umliegenden Nagelmaterial.

Zum Auslesen dieser Datenpunkte beleuchteten die Forscher den Nagel mit ultravioletterem Licht mit Wellenlängen zwischen 330 und 400 nm. Das resultierende Leuchten



Mit kurzen Laserpulsen lassen sich Daten als winzige Strukturen auf einen Fingernagel schreiben und mit Hilfe eines Fluoreszenzmikroskops wieder auslesen. (Quelle: Y. Hayasaki)

der bestrahlten Bereiche nahmen sie mit einem Fluoreszenz-Mikroskop auf. Abhängig von der Fokussierung konnten so die Datenpunkte in allen drei Schichten mit einem CCD-Bildchip festgehalten werden.

Hayasaki ist sich bewusst, dass der Aufwand zum Schreiben und Auslesen der Datenpunkte heute noch relativ groß ist. Doch denkt er bereits an handliche Geräte, die beispielsweise an Grenzübergängen installiert werden könnten. So könnte eine Person ihren Ausweis oder andere wichtige Dokumente immer „in sich“ tragen. Diese Technik wäre als Alternative zu anderen biometrischen Merkmalen wie Fingerabdruck oder Gesicht für eine Identifizierung vorstellbar.

Rostiger Scharfblick

Mit Magnetfeldern von bis zu sieben Tesla Stärke liefern Kernspintomographen scharfe Aufnahmen aus dem Inneren des Körpers. Dieses Bildgebungsverfahren auf der Grundlage der Magnetresonanz von Protonen im Körpergewebe gehört seit 30 Jahren zum Alltag in der medizinischen Diagnostik. Bernhard Gleich und Jürgen Weizenecker vom Philips-Forschungszentrum für Medizintechnik in Hamburg gingen nun einen Schritt weiter und nutzten direkt magnetische Eisenoxid-Nanopartikel als Kontrastmittel.⁴⁾ Eingelagert in einen Kunststoffträger lieferten diese Nano-Rostteilchen in ersten Laborversuchen gerasterte Bilder mit einer Auflösung unterhalb einem Millimeter. Die Forscher hoffen, dass diese Nanoteilchen in Zukunft durch die Blutbahnen von Patien-

ten treiben könnten – eingehüllt von einem körperverschmelzbaren Polysaccharid (Dextran). So sollen sie eine Grundlage bilden, um mit einfacheren Geräten kontrastreiche Bilder aus dem Körper zu gewinnen.

Bisher befindet sich dieses „magnetic particle imaging“ in einer frühen Versuchsphase. Im Unterschied zu dem Umklappen des Protonenspins bei der klassischen Magnetresonanz-Technologie wertet dieses Verfahren direkt die Magnetisierung dieser Sensor-Partikel aus. Von zentraler Bedeutung ist hierbei das Zusammenspiel eines inhomogenen, externen Magnetfelds mit oszillierenden Radiowellen. Das äußere Magnetfeld magnetisiert einzelne Partikel unterschiedlich stark, sodass es nur teilweise zu einer magnetischen Sättigung kommt. In den „feldfreien“ Bereichen dagegen reagieren die Eisenoxid-Partikel auf das zweite, oszillierende Radiofeld mit Wellenlängen um einen Kilometer (25,25 kHz) mit einer oszillierenden Magnetisierung. Genau diese wird über Magnetsonden gemessen und ermöglicht Bilder mit hohen Kontrastwerten im Vergleich zu der klassischen Magnetresonanz-Technik.

Allerdings liefern diese Daten noch keine Positionsangaben der Partikel. Dafür verschoben Gleich und Weizenecker die handliche Probe aus Kunststoffträger und Nanopartikel um kleine Strecken, so dass immer andere Partikel in dem Kunststoffträger in den feldfreien Bereich kommen und mit einer oszillierenden Magnetisierung reagieren konnten. Stück für Stück ließ sich so eine Probe abrastern. In drei Dimensionen erreichten die Forscher eine Ortsauflösung von bis zu 300 Mikrometern. Zwar bieten auch klassische Kernspintomographen eine Auflösung von weit unter einem Millimeter, doch werden dazu größere Geräte und stärkere Magnetfelder benötigt. Gleich und Weizenecker sehen sich selbst noch am Anfang ihrer Entwicklungen. Doch mit ihren treibenden Magnetpartikeln halten sie prinzipiell kleinere und günstigere Geräte für hochaufgelöste Bilder aus dem Körperinneren für möglich.

JAN OLIVER LÖFKEN