

## ■ Tanken per Steckdose

**Ein neues Ladegerät für Elektrofahrzeuge schafft 22 kW bei hoher Leistungsdichte.**

Ladegeräten kommt in der Elektromobilität eine wichtige Rolle zu. Sie stellen das Bindeglied zwischen den elektrischen Versorgungsnetzen und den Akkus der Elektroautos dar. So lassen sich Energiespitzen, die durch Windkraft- und Solaranlagen auftreten, in Fahrzeugakkus einerseits puffern und diese andererseits rasch aufladen. Heutige kommerziell erhältliche Ladegeräte für Elektrofahrzeuge erreichen

Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (JFET) auf Basis von Siliziumkarbid (SiC). Diese Transistoren bestehen z. B. bei einem n-Kanal-JFET aus einem n-dotierten Bereich, der von einer p-dotierten Sperrschicht umgeben ist. Source und Drain liegen an der n-Schicht, der Gate-Anschluss an der p-Sperrschicht.

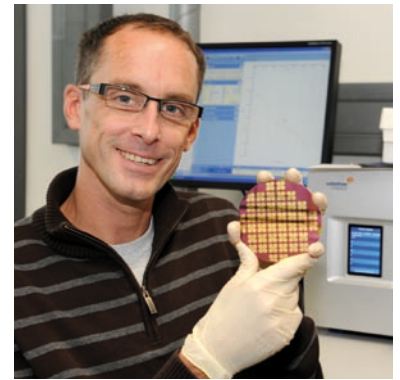
Die Bandlücke von SiC-Halbleitern ist viel größer als die von Silizium. Ihre Durchbruchspannung ist zehnfach höher und ihre thermische Leitfähigkeit besser. Sie sind erheblich schneller schaltbar als die derzeit eingesetzten Silizium-IGBTs (Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode) und weisen kleinere Durchlassverluste auf. SiC-JFETs gibt es bislang allerdings nur in kleinen Stückzahlen.

## ■ Empfindliche Spürnase

**Ein Nanoröhren-Sensor kann kleinste Mengen eines Nitrosprengstoffs nachweisen.**

Terroranschläge mit schwer nachweisbaren Sprengstoffen sind zu einer realen Bedrohung geworden. So befand sich z. B. in den Paketbomben, mit denen Ende 2010 Frachtflugzeuge zum Absturz gebracht werden sollten, die Chemikalie PETN (Pentaerythryltetranitrat). Wird dieser Sprengstoff für militärische Zwecke hergestellt, ist er weltweit mit Markierungsstoffen und Metallpartikeln versetzt, um ihn mit Metalldetektoren oder Spürhunden eindeutig identifizieren zu können. Leider lässt sich PETN relativ einfach unkontrolliert und unmarkiert herstellen. Da der Sprengstoff kaum flüchtig ist, bleiben zu seinem Nachweis dann nur Wischtests mitsamt spektroskopischer Analyse – eine zeitaufwändige Methode, die sich nur für Stichproben eignet.

Materialwissenschaftler der TU Darmstadt haben zusammen mit dem IMtech der Hochschule RheinMain einen Weg gefunden, PETN schnell und mit hoher Empfindlichkeit nachzuweisen. Ihr Sensor nutzt die große aktive Oberfläche von Nanoröhren aus und besteht



TU Darmstadt/Claus Völker

Die Sprengstoffsensoren haben jeweils vier kleeblattförmige Kontakte.

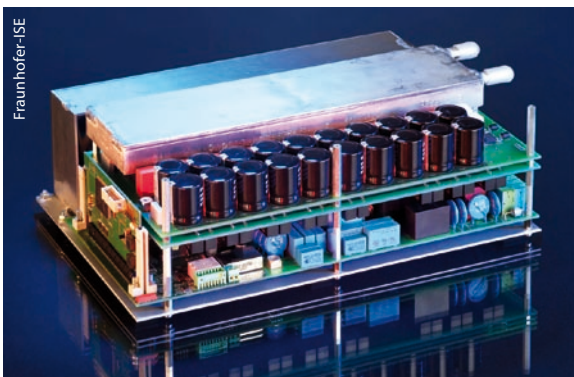
aus vier kleeblattförmig angeordneten Metallkontakten. Jeweils zwei der Kontakte greifen wie die Zinken eines Kamms ineinander. Darauf scheiden die Forscher nasschemisch Nanoröhren aus Titandioxid ab. Lagert sich ein PETN-Molekül an die Nanoröhren an, ändert sich deren Leitfähigkeit, was die Forscher über eine Kelvin-Schaltung als Stromänderung messen, wenn sie eine Spannung anlegen.

Das Titandioxid hat Sauerstoff-Fehlstellen, an die sich die Nitrogruppe des PETN leicht anlagert. Im Prinzip würde das auch bei einem Nanodraht oder bei Metalloxidpartikeln passieren, aber die Oberfläche eines Nanodrahtes ist viel kleiner, und bei Metallpartikeln käme es wegen der Korngrenzen zu hohen elektrischen Verlusten. Bereits der nicht optimierte Sensor kann PETN bis zu einer minimalen Konzentration von 112 ppt nachweisen. Er liegt als Labormuster vor; ein Patent ist beantragt. Nun suchen die Forscher einen industriellen Kooperationspartner.

## ■ Durchsichtige Energiequelle

**Erstmals gelang es, transparente Lithium-Ionen-Akkus herzustellen.**

In den vergangenen Jahren wurden transparente Transistoren, optische Schaltkreise, Displays, Touchscreens und Solarzellen vorgestellt. Nur durchsichtige Akkus gab es nicht. Nun ist es aber Wissenschaftlern der kalifornischen Stanford University gelungen, Lithium-Ionen-Akkus mit einer Energiedichte



Das am ISE entwickelte dreiphasige, bidirektionale Ladegerät ist sehr kompakt. Es liegt als Demonstrator vor.

Wirkungsgrade von etwas mehr als 90 %, sind meist einphasig aufgebaut und liefern eine elektrische Nennleistung von 3,3 kW. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg haben ein kompaktes, dreiphasiges, bidirektionales Ladegerät mit einem Wirkungsgrad von 97 % entwickelt. Anders als die einphasigen Geräte, bei denen der Netzstrom auf 16 A begrenzt ist, kann es mit Strömen bis zu 32 A arbeiten und eine Nennleistung von 22 kW erbringen. Einen typischen Elektrofahrzeugakku lädt es innerhalb von 45 Minuten zu 80 Prozent auf.

Die Leistungselektronik des Ladegeräts schaltet mit einer Taktfrequenz von 80 kHz, kommerziell erhältliche Systeme mit 2 bis 16 kHz. Je höher die Taktfrequenz, desto kleiner können die induktiven Bauelemente ausfallen. Allerdings steigen mit der Taktfrequenz auch die Schaltverluste.

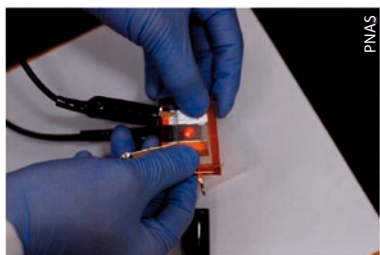
Möglich wird die hohe Leistungsdichte des Ladegeräts durch

1) Y. Yang et al., PNAS online 25. Juli 2011 (doi: 10.1073/pnas.1102873108)

von 10 Wh/l bei einer Transparenz von 60 Prozent herzustellen.<sup>1)</sup> Kommerzielle Li-Ionen-Akkus liegen im Bereich von 250 bis 500 Wh/l, der transparente Akku kann theoretisch 100 Wh/l erreichen.

Um elektronische Komponenten transparent zu machen, wird häufig das relevante Material so dünn ausgelegt, dass es schmaler als seine optische Absorptionslänge ist. Leider funktioniert das bei Akkus nicht, weil es keine geeigneten Materialien gibt, deren Absorptionslänge über den relevanten Spannungsbereich gering genug ausfällt. Lithium-Cobalt-Oxid und Graphit, die gängigsten Elektrodenmaterialien in Li-Ionen-Akkus, absorbieren selbst bei Dicken unterhalb von 1  $\mu\text{m}$  noch gut. Heutige mobile Elektronik erfordert aber Elektrodenmaterialien mit Dicken zwischen 100  $\mu\text{m}$  und 1 mm.

Deshalb haben die Stanford-Forscher die Dimensionen der Elektrodenstrukturen so verfeinert, dass sie unterhalb der Auflösungsgrenze des Auges liegen. Dazu haben sie die Elektroden mit einem mikrofluidischen Verfahren auf einem transparenten Trägermaterial als Gitter strukturiert. Zunächst haben sie eine Gussform mit 35  $\mu\text{m}$  feinen Rasterlinien hergestellt, die sie mit Polydimethylsiloxan (PDMS) ausgegossen haben. Nach dem Aushärten überzogen sie die Gitterstruktur mit einem dünnen Goldfilm und gaben das erste Elektrodenmaterial in einer wässrigen Lösung auf das Gitter, das sich aufgrund der Kapillarkräfte in den feinen Kanälen verteilt. Entsprechend verfahren sie mit der zweiten Elektrode auf einer separaten Gussform. Im Akku sind beide Schichten durch einen transparenten Gelelektrolyten getrennt.



Ein transparenter Akku bringt eine rote LED zum Leuchten, die unter dem Akku angebracht ist.

## ■ Riss in der Platte

### Leistungsschall bringt die Mängel von Hölzern an den Tag.

Produkten aus Tropenhölzern haftet in vielen Industrienationen ein ethischer Makel an. Immer häufiger treten an ihre Stelle daher thermobehandelte heimische Hölzer. Sie sind unter Sauerstoffmangel erhitzt worden, was sie widerstandsfähiger gegen Fäulnis macht. Außerdem verformt sich derart behandeltes Holz deutlich weniger. Das Verfahren ist natürlich energieaufwändig, weshalb die Industrie möglichst nur Hölzer ohne Haarrisse oder andere Fehler verarbeiten möchte. Solche Risse sind allerdings schwer zu erkennen. Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung (WKI) in Braunschweig ist es gelungen, solche Mängel in Hölzern per Ultraschall aufzuspüren.

Dazu koppeln sie Sonotroden, also Ultraschallanreger, mechanisch an das Holz an, die mit 20 bis 30 kHz schwingen. So bringen sie mechanische Leistung ein, durch die das Holz multimodal schwingt. Entlang von feinen Rissen kommt es zur Reibung, wobei diese umso größer ausfällt, je feiner der Riss ist. Die entstehende Wärme kann eine industrieübliche Infrarotkamera detektieren, womit sich Fehler bereits im Rohholz aufspüren lassen.

Für diese Leistungsschall-Thermografie (LUS-Thermografie) haben die WKI-Forscher einen Demonstrator aufgebaut, der über fünf Sonotroden fünf Kilowatt Leistung in Hölzer einbringen kann, die sich mit ein bis zwei Meter pro Minute bewegen. Ein operatives System für die Industrie wäre individuell an vorhandene Holzverarbeitungslinien anzupassen, bei denen sich aus produktionstechnischen Gründen Phasen hoher Transportgeschwindigkeit mit Stillstandszeiten abwechseln. Die Wissenschaftler profitieren bei dem Verfahren davon, dass Holz schlecht Wärme leitet: Selbst nach einigen Minuten bleibt das Wärmebild der Risse noch erkennbar. Anregung und Detektion können also in einem gewissen zeitlichen Abstand erfolgen.

**Michael Vogel**