



## Pressedienst Wissenschaft

München, den 26. Juni 2008

### Schonende Dotierung mit Neutronen:

### Halbleiter für energiesparende Hochleistungselektronik

Zwischen Thomas Alva Edison und George Westinghouse tobte um 1880 ein erbitterter Streit: Edison setzte auf Gleichstrom, Westinghouse wollte Wechselstrom-Netze einführen. Er hatte erkannt, dass es viel praktischer war, den Strom mit Hochspannungsnetzen zu transportieren und erst beim Verbraucher auf eine niedrigere Spannung zu transformieren. Dies ging damals nur mit Wechselstrom. Westinghouse gewann den Streit. Das Ergebnis: Überall auf der Welt werden heute Wechselspannungsnetze betrieben. Doch bei jeder Umwandlung geht Energie verloren. Und eigentlich reist Strom auf langen Strecken am sparsamsten als Hochspannungsgleichstrom. Hier arbeitet die Industrie an neuen Konzepten, denn mit der modernen Leistungselektronik hat sich eine wesentliche Voraussetzung geändert: Nun kann man auch Gleichstrom auf Hochspannung bringen und wieder herunter transformieren. Dafür braucht man Hochleistungsbauteile, die extremen Qualitätsanforderungen genügen. Als eine Erfolgsgeschichte hat sich daher die Neutronen-Dotierung an der Forschungsneutronenquelle FRM II entpuppt: Sie liefert besonders störungsarmes Halbleitermaterial und ist daher hoch begehrt.

Reines Silizium ist extrem spröde, glänzt metallisch, leitet den elektrischen Strom aber nur sehr schlecht. Erst geringe Mengen an Fremdatomen wie Phosphor oder Bor machen daraus die begehrten n- oder p-Halbleiter, ohne die die moderne Welt nicht denkbar wäre. Für kleine Elektronikbausteine reicht es, die Siliziumoberfläche zu verändern. N-Halbleiter erhält man zum Beispiel, indem man das Silizium mit Phosphor-Ionen beschießt. Gibt man schon bei der Herstellung des Siliziums eine Spur Phosphor zu, so wird der gesamte Siliziumkristall zum n-Halbleiter. Kleine Konzentrationsunterschiede sorgen allerdings dafür, dass solches Silizium nur bedingt für Hochleistungselektronik einsetzbar ist. Doch es gibt eine Alternative: Die Neutronen-Dotierung.

Schon in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts entdeckten Wissenschaftler eine Kernreaktion, mit der sich hervorragende n-Halbleiter herstellen lassen: Trifft ein langsames Neutron auf einen Siliziumkern mit der Massenzahl 30, so entsteht das instabile Silizium-31, das sich mit einer Halbwertszeit von zweieinhalb Stunden schnell in Phosphor-31 umwandelt. Das Elegante an dieser Reaktion: Natürliches Silizium enthält etwa drei Prozent Silizium-30. Und der entstandene Phosphor ist nicht radioaktiv. Das dotierte Silizium kann daher problemlos überall eingesetzt werden. Heraus kommt ein Halbleitermaterial mit absolut homogener Verteilung der Dotierungsatome und wenig Störungen im Kristallgitter, ideal für Hochleistungs-Bauteile. Die Neutronenquelle FRM II der TU München eignet sich für diese Art der Dotierung besonders gut, da sie fast keine schnellen Neutronen produziert. Denn stößt ein schnelles Neutron mit einem

Technische Universität München Zentrale Presse & Kommunikation 80290 München [www.tum.de](http://www.tum.de)

Dr. Ulrich Marsch  
Dr. Andreas Battenberg

Sprecher des Präsidenten  
PR-Referent Campus Garching

+49.89.289.22778  
+49.89.289.12890

[marsch@zv.tum.de](mailto:marsch@zv.tum.de)  
[battenberg@zv.tum.de](mailto:battenberg@zv.tum.de)

Silizium-Atom zusammen, so schießt dieses mit großer Wucht durch das Kristallgitter und produziert eine große Zahl von Gitterdefekten, die die Halbleiterfunktion erheblich stören.

Das mit Neutronen dotierte Silizium wird vor allem für Hochleistungs-Thyristoren und -Transistoren gebraucht, wie sie inzwischen überall in Starkstromanlagen zum Einsatz kommen. Besondere Anforderungen stellen Hochspannungsgleichstromleitungen: Sie transportieren sehr große Strommengen. Doch im Vergleich zu Wechselstromleitungen haben Sie auf langen Strecken erheblich weniger Transportverlust. Typische Beispiele sind die Versorgungsleitungen vom Cabora Bassa-Stausee in Mozambique nach Südafrika oder die Stromtransportleitung von Tasmanien nach Australien. Auch Offshore-Windparks wären mit Wechselspannungsleitungen nicht mehr sinnvoll zu betreiben. Derzeit liegt die maximale Spannung dieser Transportleitungen bei +/- 500 Kilovolt. Die nächste Generation wird Spannungen bis zu +/- 800 Kilovolt transportieren können. Hierfür werden Thyristoren entwickelt, die mehr als 6000 Megawatt Leistung aushalten.

Schon in der Konzeptionsphase der Forschungsneutronenquelle wurden verschiedene Bestrahlungsplätze eingerichtet, an denen Proben für Forschung und Industrie mit Neutronen bestrahlt werden können. Der Bestrahlungsplatz für das Silizium ist der größte. In einem Rohr, einen Meter entfernt vom Reaktorkern, finden Siliziumstäbe von bis zu 20 Zentimeter Durchmesser und 50 Zentimeter Stapelhöhe Platz. Um eine homogene Bestrahlung zu erreichen, dreht sich der Korb mit den Silizium-Zylindern langsam um seine Achse. Doch auch in der Senkrechten ist der Neutronenfluss nicht ganz einheitlich. Die Wissenschaftler lösten das Problem mit einer Art Kontaktlinse: Sie ließen einen Nickelzylinder anfertigen, der an den Stellen mit höherem Neutronenfluss etwas dicker ist und dadurch die Abweichungen wieder ausgleicht.

Schon in der Entwicklungsphase der Neutronenquelle zeigte die Industrie großes Interesse an den Bestrahlungsapparaturen. Nachdem der Reaktor lief, kamen schnell die ersten Aufträge. Genügte zu Anfang noch eine halbautomatische Fördereinrichtung, installierte Dr. Heiko Gerstenberg, Leiter des Bestrahlungsdienstes am FRM II, wegen wachsender Nachfrage im Februar 2007 eine vollautomatische Be- und Entladeeinheit. Programm gesteuert fährt diese nun den Probenkorb vom Absetzbecken bis zum Bestrahlungsort, setzt den Korb ein und holt die Probe am Ende der Bestrahlung wieder ab. Etwas mehr als ein Jahr konnte so verfahren werden. 3,8 t Silizium wurden in der Anlage 2007 veredelt. „Und das,“ betont Dr. Heiko Gerstenberg, „ohne die Forschungsarbeit zu beeinträchtigen.“ Dank weiter wachsender Nachfrage hat der FRM II inzwischen erneut aufgestockt: Seit diesem Monat läuft die Anlage im Zwei-Schichtbetrieb.

Technische Universität München Presse & Kommunikation 80290 München

Name	Position	Telefon	Email
Dr. Ulrich Marsch	Sprecher des Präsidenten	+49.89.289.22779	marsch@zv.tum.de
Dr. Andreas Battenberg	PR-Referent Campus Garching	+49.89.289.12890	battenberg@zv.tum.de

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Winfried Petry  
Technische Universität München  
Forschungsneuronenquelle Heinz Meier-Leibnitz  
Lichtenbergstr. 1  
D-85747 Garching  
Tel.: +49 89 289 14965  
Fax: +49 89 289 14995  
E-Mail: [winfried.petry@frm2.tum.de](mailto:winfried.petry@frm2.tum.de)  
Web: [www.frm2.tum.de](http://www.frm2.tum.de)

Dr. Heiko Gerstenberg  
Technische Universität München  
Forschungsneuronenquelle Heinz Meier-Leibnitz  
Bestrahlungsdienst  
Lichtenbergstr. 1  
D-85747 Garching  
Tel.: +49 89 289 12145  
Fax: +49 89 289 12191  
E-Mail: [heiko.gerstenberg@frm2.tum.de](mailto:heiko.gerstenberg@frm2.tum.de)  
Web: [www.frm2.tum.de](http://www.frm2.tum.de)

Die **Technische Universität München (TUM)** ist mit rund 420 Professorinnen und Professoren, 6.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (einschließlich Klinikum rechts der Isar) und 22.000 Studierenden eine der führenden Universitäten Deutschlands. Ihre Schwerpunktfelder sind die Ingenieurwissenschaften, Naturwissenschaften, Lebenswissenschaften, Medizin und Wirtschaftswissenschaften. Nach zahlreichen Auszeichnungen wurde sie 2006 vom Wissenschaftsrat und der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Exzellenzuniversität gewählt. Das weltweite Netzwerk der TUM umfasst auch eine Dependence in Singapur. Die TUM ist dem Leitbild einer unternehmerischen Universität verpflichtet.

**Technische Universität München Presse & Kommunikation 80290 München**

<b>Name</b>	<b>Position</b>	<b>Telefon</b>	<b>Email</b>
Dr. Ulrich Marsch	Sprecher des Präsidenten	+49.89.289.22779	<a href="mailto:marsch@zv.tum.de">marsch@zv.tum.de</a>
Dr. Andreas Battenberg	PR-Referent Campus Garching	+49.89.289.12890	<a href="mailto:battenberg@zv.tum.de">battenberg@zv.tum.de</a>