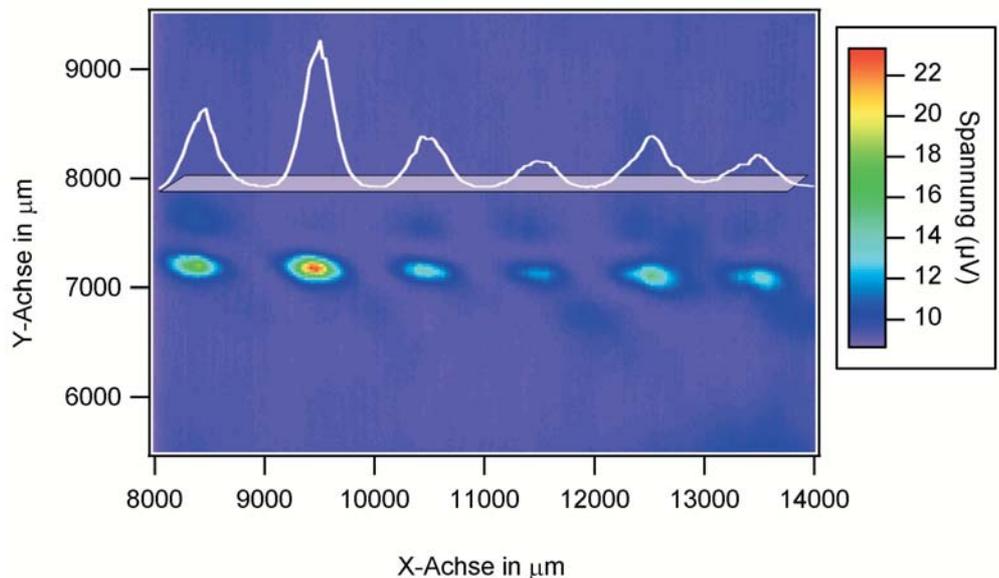


Neue Messtechnik für die schnellsten Chips der Welt: Mikroskop für 1000 GHz

Die fehlerfreie Funktion jedes Computerchips muss nach der Produktion überprüft werden. Dazu werden sogenannte Prober eingesetzt, die Messspitzen mit hoher Präzision an den Chipkontakten anbringen und die elektrischen Signale aus dem Halbleiterchip analysieren. Bei den hohen Frequenzen der kommenden Chipgenerationen mit bis zu über 1000 GHz (= 1THz) ist der Signaltransport über Kabel aufgrund hoher Verluste nicht mehr möglich.



Aufnahme einer stehenden Welle mit 95 GHz auf einer Stripline, die von einem der weltweit schnellsten Oszillatorchips (Hersteller: Infineon AG) in SiGe-Technologie gespeist wird.

Das neu entwickelte THz-Rastermikroskop bringt nun die Elektronik zur Signalanalyse bis auf wenige tausendstel Millimeter an den zu untersuchenden Chip heran und kann die Signale aus dem Chip berührungslos aufnehmen. Dieses Gerät wurde im Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik der TU Braunschweig von einem Team unter Leitung von Prof. Dr. Meinhard Schilling entwickelt. Als Sensoren werden dabei ultraschnelle Josephson-Kontakte aus Hochtemperatursupraleitern verwendet. Sie sind auf einer winzigen Prüfspitze, dem sogenannten Josephson-Cantilevers angebracht. Diese Anordnung erlaubt die gleichzeitige Abbildung der Topographie und die Analyse der elektrischen Höchstfrequenzsignale. Auf diese Weise ist es mit diesem neuen Messgerät für die kommenden Chipgenerationen erstmals möglich, an jedem Ort des Chips signalführende Leitungen mit höchster Präzision anzufahren, die Signale berührungslos auszukoppeln und bis zu Frequenzen von mehreren THz zu analysieren.

Ansprechpartner

Prof. Dr. Meinhard Schilling

Telefon 0049.0531.391-3866
Telefax 0049.0531.391-5768

eMail
m.schilling@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig
Fachbereich Elektrotechnik

**Institut für Elektrische
Messtechnik
und Grundlagen der
Elektrotechnik**

Hans-Sommer-Straße 66
D-38106 Braunschweig

Postfach 3329
D-38023 Braunschweig
http://: www.emg.ing.tu-bs.de

HINTERGRUND INFORMATION

- THz 01** **Was ist ein Josephson-Cantilever?**
- THz 02** **Das Terahertz-Mikroskop**
- THz 03** **Der Kleinkühler**
- THz 04** **Josephson-Kontakte als Detektoren für Mikrowellen und Terahertz-Strahlung**
- emg** **Das Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik**

Ansprechpartner

Prof. Dr. Meinhard Schilling

Telefon 0049.0531.391-3866
Telefax 0049.0531.391-5768

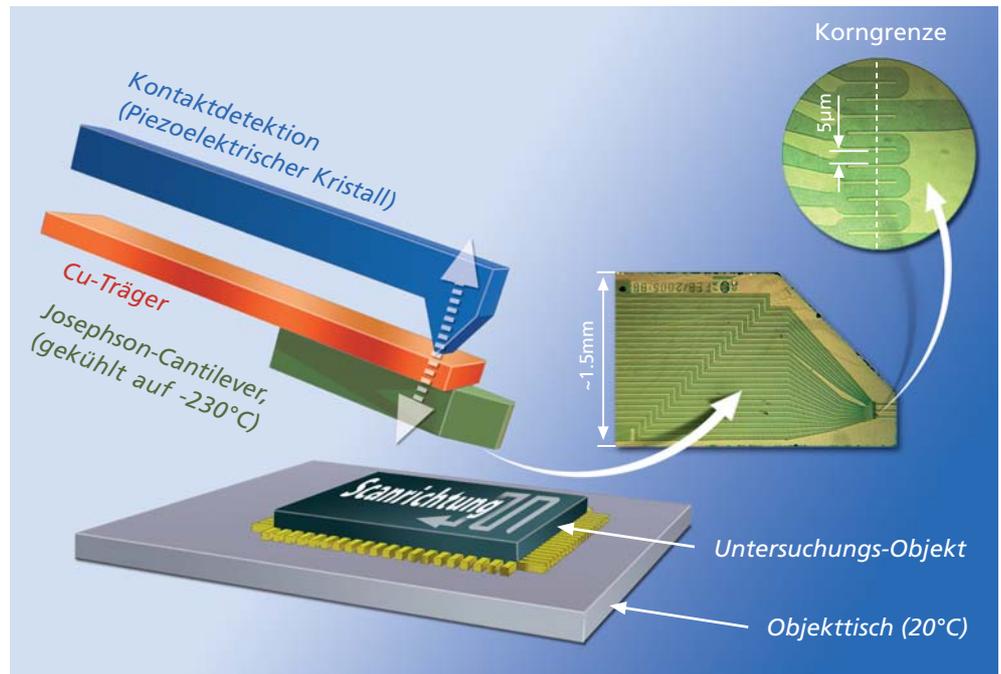
eMail
m.schilling@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig
Fachbereich Elektrotechnik

**Institut für Elektrische
Messtechnik
und Grundlagen der
Elektrotechnik**

Hans-Sommer-Straße 66
D-38106 Braunschweig

Postfach 3329
D-38023 Braunschweig
[http://: www.emg.ing.tu-bs.de](http://www.emg.ing.tu-bs.de)



Ein Josephson-Cantilever ist ein supraleitender Sensor für elektromagnetische Strahlung. Als detektierendes Element sind Josephson-Kontakte integriert. Auf einem Josephson-Cantilever können einzelne oder mehrere Josephson-Kontakte zum Einsatz kommen. Die untere Abbildung zeigt eine Mikroskopaufnahme der Spitze eines Josephson-Cantilevers. In der Vergrößerung ist die Anordnung der einzelnen Josephson-Kontakte zu erkennen, die auf dem Cantilever untergebracht sind. Die einzelnen Josephson-Kontakte liegen dort, wo eine supraleitende Leiterbahn die Korngrenze des verwendeten Bikristall Substrates überquert. Ein Bikristall wird aus zwei Teilen eines Kristalls hergestellt, die in Bezug auf die Gitterausrichtung verwinkelt zusammengesintert werden. An dieser Schnittstelle wird der regelmäßige Aufbau des Kristallgitters gestört. Diese Störung setzt sich in der aufgewachsenen supraleitenden Schicht fort und unterbricht so die Supraleitung in einem sehr kleinen Bereich. So entsteht ein Josephson-Kontakt. Dieser Josephson-Kontakt reagiert nun sehr empfindlich auf elektromagnetische Strahlung.

Die Annäherung des Josephson-Cantilevers an die Messobjekte ist mittels eines piezoelektrischen Kristalls realisiert, der den Cantilever in Schwingungen versetzt. Bei Kontakt wird diese Schwingung gedämpft, so dass die Annäherung ermittelt werden kann.

Weitere Informationen finden Sie in Applied Physics Letters **88**, 252507 (2006).

Ansprechpartner

Prof. Dr. Meinhard Schilling

Telefon 0049.0531.391-3866
Telefax 0049.0531.391-5768

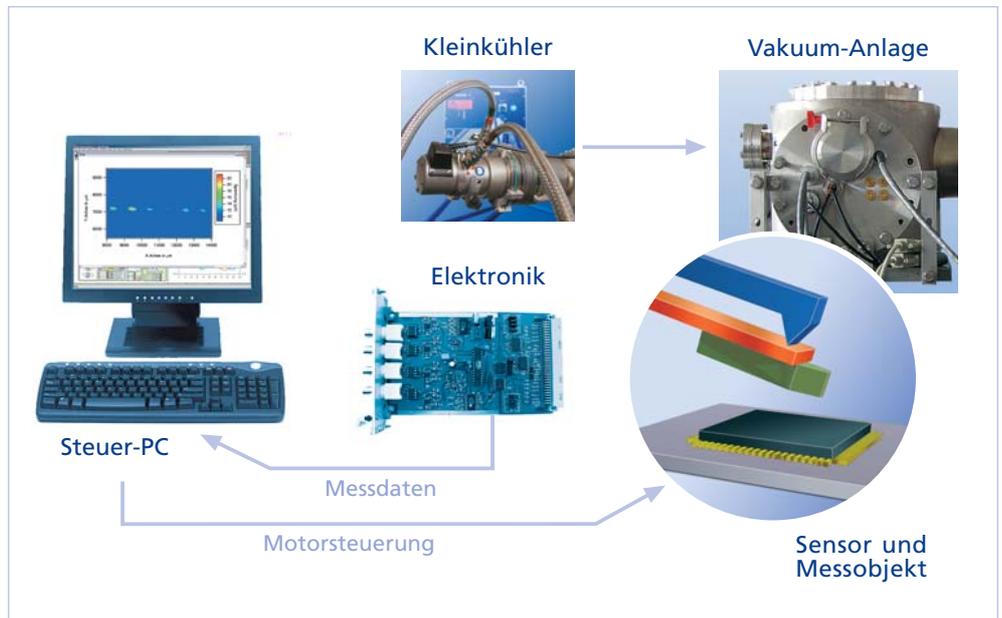
eMail
m.schilling@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig
Fachbereich Elektrotechnik

**Institut für Elektrische
Messtechnik
und Grundlagen der
Elektrotechnik**

Hans-Sommer-Straße 66
D-38106 Braunschweig

Postfach 3329
D-38023 Braunschweig
http://: www.emg.ing.tu-bs.de



Das THz-Mikroskop besteht aus einer Vakuumanlage, einem Kleinkühler, der Elektronik und einem Computer zur Steuerung und Messdatenaufnahme.

Die eingesetzten Sensoren sind supraleitende Bauelemente die zum Betrieb auf -230°C gekühlt werden müssen. Die Kühlung erfolgt durch ein geschlossenes Kühlsystem mit einem Kleinkühler. Der zu untersuchende Halbleiterchip arbeitet bei Raumtemperatur. Obwohl zwischen Sensor (-230°C) und Messobjekt (20°C) ein sehr großes Temperaturgefälle von 250°C besteht, kann der Sensor bis auf wenige Mikrometer an das Messobjekt angenähert werden, ohne dass der Sensor sich erwärmt. Der Wärmeaustausch zwischen dem warmen Messobjekt und der kalten Messspitze ist durch das Hochvakuum auf ein Minimum beschränkt.

Bevor ein Bild vom Terahertzmikroskop aufgenommen werden kann, muss die Höhe des Sensors über dem Halbleiterchip bestimmt werden. Der zu analysierende Chip wird nun mit einer Auflösung von 100 nm relativ zum Sensor bewegt; der Sensor behält seine feste Position.

Nach der Datenaufnahme zeigt der Computer das Bild der Leistungsverteilung des hochfrequenten Signals.

Ansprechpartner

Prof. Dr. Meinhard Schilling

Telefon 0049.0531.391-3866
Telefax 0049.0531.391-5768

eMail
m.schilling@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig
Fachbereich Elektrotechnik

**Institut für Elektrische
Messtechnik
und Grundlagen der
Elektrotechnik**

Hans-Sommer-Straße 66
D-38106 Braunschweig

Postfach 3329
D-38023 Braunschweig
http://: www.emg.ing.tu-bs.de

HINTERGRUND INFORMATION

Ansprechpartner

Prof. Dr. Meinhard Schilling

Telefon 0049.0531.391-3866
Telefax 0049.0531.391-5768

eMail
m.schilling@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig
Fachbereich Elektrotechnik

**Institut für Elektrische
Messtechnik
und Grundlagen der
Elektrotechnik**

Hans-Sommer-Straße 66
D-38106 Braunschweig

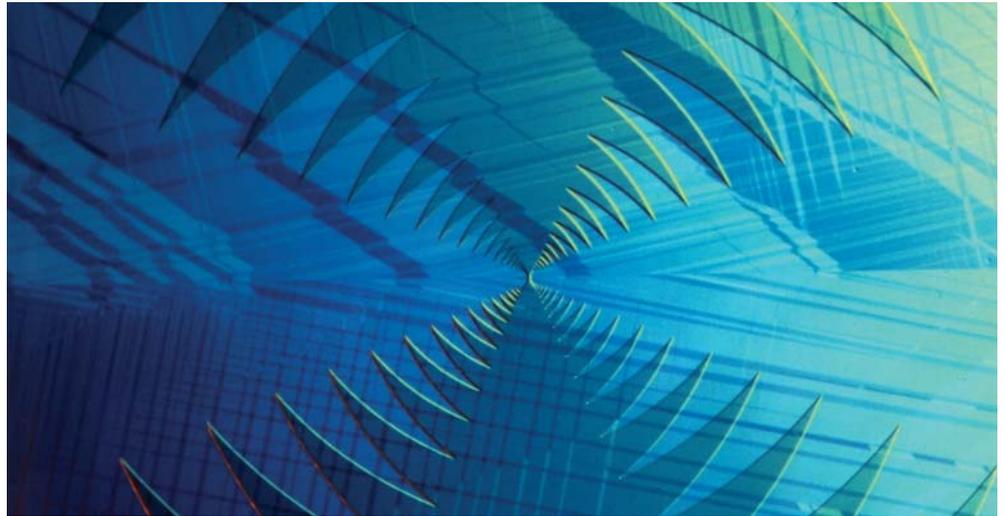
Postfach 3329
D-38023 Braunschweig
[http://: www.emg.ing.tu-bs.de](http://www.emg.ing.tu-bs.de)



Um die Supraleiter auf Temperaturen unterhalb der kritischen Temperatur abkühlen zu können, gibt es inzwischen kompakte Kühlsysteme. Diese funktionieren wie ein „Kühlschrank“ für besonders tiefe Temperaturen bis 10 K (-263°C), hier eingesetzt zur Kühlung der Supraleiter auf Temperaturen zwischen 40 bis 93 K (-233°C bis -180°C). Die Kälte wird in einem Kaltkopf durch gezielte Kompression und Entspannung von Helium als Kühlmittel erzeugt. Die Wärme aus dem Josephson-Cantilever fließt in den Kaltkopf des Kleinkühlers und von dort in den Kompressor, der die Wärme an das Kühlwasser abgibt. Dadurch kann der Josephson-Cantilever auf seine Betriebstemperatur abgekühlt werden. Der Kaltkopf wird im Vakuum bei Drücken $p < 0,01$ mbar (Normaldruck $p = 1013$ mbar) betrieben, damit sich keine Eisschicht durch Kondensation von Luftfeuchtigkeit bilden kann.

Josephson-Kontakte als Sensoren für Mikrowellen und Terahertzstrahlung

HINTERGRUND INFORMATION



Logarithmisch-periodische Antenne zum Empfang von Mikrowellenstrahlung mit dem Josephson-Kontakt in der Mitte (Ausschnitt 2 mm x 1,25 mm).

Sensoren aus Tieftemperatur- und Hochtemperatur-Supraleitern werden zur Detektion von Mikrowellen- und Terahertzstrahlung standardmäßig eingesetzt, wenn möglichst empfindliche Sensoren, wie z.B. in der Radioastronomie benötigt werden. Dabei kommen sogenannte SIS-Josephson-Kontakte (Supraleiter-Isolator-Supraleiter-Kontakte) aus den Tieftemperatur-Supraleitern Nb oder NbN als Detektoren im Bereich von 300-1200 GHz zum Einsatz, die als sehr empfindliche Detektoren in diesem Frequenzbereich nahe über dem fundamentalen Quantenlimit arbeiten und für den Einsatz auf 4.2 K abgekühlt werden müssen.

Wir konnten zeigen (Appl. Phys. Lett. **77**, 3057 (2000)), dass mit Josephson-Kontakten aus Hochtemperatur-Supraleitern (Betrieb mit flüssigem Stickstoff bei 77 K) ebenfalls solche höchstfrequenten Signale aufgenommen und analysiert werden können, wie im Bild gezeigt ist. Dabei fungiert der Josephson-Kontakt als Lokaloszillator und Mischer, der es erlaubt die höchstfrequenten Signale spektroskopisch nachzuweisen.

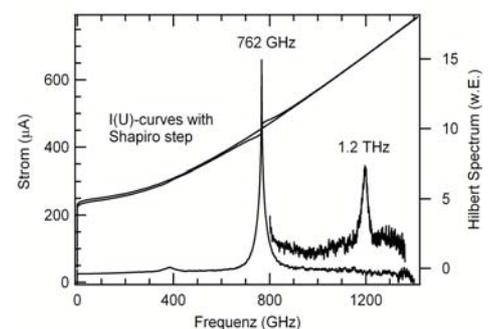
Unter Einstrahlung von Mikrowellen entsteht an einem Josephson-Kontakt in der U-I-Kennlinie eine Stufe konstanter Spannung, wobei die Spannung direkt proportional zur eingestrahlten Frequenz ist:

$$U = f \cdot h/2e = f \cdot 2,07 \text{ mV}/1000 \text{ GHz}$$

(h = Planck'sches Wirkungsquantum,
 e = Elementarladung)

Die präzise Darstellung der Einheit Volt wird messtechnisch mit Hilfe von Josephson-Kontakten realisiert.

Josephson-Kontakt: U-I-Kennlinie und gemessene Mikrowellen-Spektren von Mikrowellen



Ansprechpartner

Prof. Dr. Meinhard Schilling

Telefon 0049.0531.391-3866
Telefax 0049.0531.391-5768

eMail
m.schilling@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig
Fachbereich Elektrotechnik

**Institut für Elektrische
Messtechnik
und Grundlagen der
Elektrotechnik**

Hans-Sommer-Straße 66
D-38106 Braunschweig

Postfach 3329
D-38023 Braunschweig
http://: www.emg.ing.tu-bs.de

Das Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik

HINTERGRUND INFORMATION



Im Haushalt und im Auto, ebenso wie in der Industrie und Wirtschaft: Überall werden elektrische Sensoren eingesetzt, um Geräte zu bedienen und zu steuern. Das Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik der TU Braunschweig unter der Leitung von Prof. Dr. rer. nat. Meinhard Schilling untersucht, wie Sensoren kleiner, präziser und zuverlässiger produziert und in neuen Messverfahren eingesetzt werden können. Dazu werden die Sensoren in einem modernen Reinraum durch Nanotechnologie hergestellt und mit analoger und digitaler Elektronik versehen. So entstehen Systeme für neue Messaufgaben für die Magnetfeldsensorik, biochemisch/medizinische Messtechnik und die Höchstfrequenz-Messtechnik bis in den Bereich über 1000 GHz. Auf diesen Gebieten bestehen enge Kooperationen mit zahlreichen internationalen Unternehmen und Forschungseinrichtungen.

Die **magnetischen Sensoren und Systeme** werden in der magnetischen Abschirmkammer getestet. Dort ist auch ein SQUID-Magnetometersystem für biomagnetische Messungen am Herzen und Gehirn aufgebaut.

Für die Entwicklung und den Test von **biochemischer Sensorik** an einer Fermentationsanlage wird ein S1-Labor genutzt, das den sicheren Umgang mit Mikroorganismen erlaubt.

Für Messungen der **Höchstfrequenztechnik** steht ein Mikrowellenlabor mit Ferninfrarot-Lasersystem zur Verfügung, indem auch das neue Terahertz-Mikroskop aufgebaut ist.

Ansprechpartner

Prof. Dr. Meinhard Schilling

Telefon 0049.0531.391-3866
Telefax 0049.0531.391-5768

eMail
m.schilling@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig
Fachbereich Elektrotechnik

Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik

Hans-Sommer-Straße 66
D-38106 Braunschweig

Postfach 3329
D-38023 Braunschweig
[http://: www.emg.ing.tu-bs.de](http://www.emg.ing.tu-bs.de)

Prof. Dr. Meinhard Schilling

*Leiter des Instituts für
Elektrische Messtechnik und
Grundlagen der Elektrotechnik
der Technischen Universität Braunschweig*

