

## Ultraschnelle Magnetspeicher

Ein in der PTB entwickeltes neues Bitsteuerungsverfahren ermöglicht zukünftig nichtflüchtige magnetische Speicherbauteile (MRAM) mit Zugriffszeiten von unter 500 ps. Damit wäre ein nichtflüchtiger Speicherchip erstmals genauso schnell wie die schnellsten flüchtigen Speicherbauteile.

Heute übliche schnelle Speicherchips wie DRAM und SRAM haben einen entscheidenden Nachteil: bei Unterbrechung der Stromversorgung gehen die gespeicherten Informationen verloren. Abhilfe verspricht das MRAM – das Magnetic Random Access Memory. Es speichert die digitale Information nicht in Form elektrischer Ladung, sondern als Magnetisierungsrichtung in magnetischen Zellen. Alle großen Chipproduzenten sind an der Entwicklung dieser neuartigen Speicherchips beteiligt. Die Markteinführung steht unmittelbar bevor.

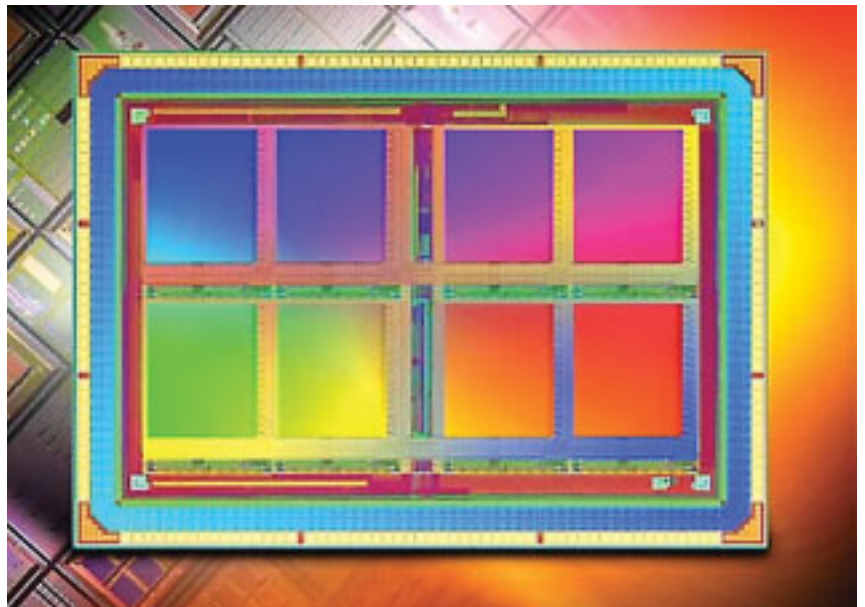
Allerdings dauert in aktuellen MRAM die Programmierung eines magnetischen Bits etwa 10 ns. Ein deutlich schnellerer Betrieb wird dabei durch eine physikalische Eigenschaft der magnetischen Speicherzellen verhindert: Bei der Programmierung einer bestimmten Zelle im MRAM Chip entstehen auch in einer Vielzahl anderer Zellen magnetische Anregungen. Diese Anregungen sind nur schwach gedämpft und benötigen zum Abklingen bis zu 10 ns. In dieser Zeit kann keine weitere Zelle programmiert werden, so dass die maximale Takt rate des MRAM auf etwa 100 MHz begrenzt ist.

Mit Hilfe eines in der PTB entwickelten und zum Patent angemeldeten Bitsteuerungsverfahrens kann diese Begrenzung der MRAM-Taktrate nun umgangen werden. Bei der so genannten „Ballistischen Bitsteuerung“ vermeidet man durch eine geschickte Wahl der zur Programmierung verwendeten Magnetpulse die magnetischen Anregungen in allen Zellen des MRAM praktisch vollständig. Die Pulse werden so gewählt, dass die Magnetisie-

rung einer zu schaltenden Zelle eine halbe ( $180^\circ$ ) Präzessionsdrehung vollführt, während in der Zelle, deren Speicherzustand unverändert bleiben soll, eine volle ( $360^\circ$ ) Präzessionsdrehung stattfindet. In beiden Fällen ist die Magnetisierung nach Abschalten des Pulses im Gleichgewichtszustand und es treten keine magnetischen Anregungen mehr auf.

Diese optimale Bitsteuerung kann mit sehr kurzen Schaltimpulsen von unter 500 ps Dauer durchgeführt werden, was zu maximalen MRAM Taktraten von über 2 GHz führt. Damit wird es erstmals möglich, ein nichtflüchtiges Speicherbauteil zu bauen, das in der Taktrate mit den schnellsten flüchtigen Speicherbauteilen, den SRAM, konkurrieren kann. Durch ein paralleles Programmieren mehrerer Bits gleichzeitig könnte die effektive MRAM-Schreibrate pro Bit sogar noch um eine weitere Größenordnung gesteigert werden.

Weitergehende Informationen von  
H. W. Schumacher,  
Tel. (05 31) 592-24 14,  
E-Mail:  
hans.w.schumacher@ptb.de



4Mbit MRAM Chip der Firma freescale (vormals Motorola)

## Der Mikro-Ionenstrahl wird schneller

Eine neue Einrichtung an der Mikro-Ionenstrahl-Apparatur der PTB macht es möglich, mehrere hundert Zellen je Sekunde einzeln zu bestrahlen. Damit ist das Verfahren rund zehnmals schneller als zuvor. Es kann nun effizient zur Untersuchung der Strahlenschädigungsmechanismen einzelner Zellen eingesetzt werden, deren Verständnis für die Dosimetrie im Niedrigdosisbereich wichtig ist.

Die Bestrahlungsexperimente an lebenden Zellen werden gemeinsam mit Instituten aus dem Bereich

der radiobiologischen Forschung durchgeführt. Ein wichtiger Untersuchungsgegenstand ist dabei der so genannte Bystander-Effekt, der das Auftreten einer messbaren Wirkung auf eine unbestrahlte Zelle bezeichnet, wenn eine benachbarte Zelle bestrahlt wurde.

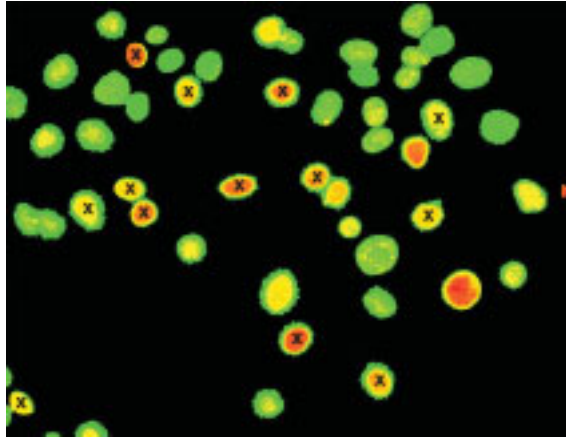
Um die Bestrahlungen schneller und genauer zu machen, wurde die Mikro-Ionenstrahlanlage der PTB um eine elektrostatische Ablenkeinheit erweitert, die den Strahl innerhalb einer Millisekunde

Fortsetzung auf Seite 2

mikrometergenau auslenken kann. Dadurch entfällt die zeitaufwendige mechanische Positionierung jeder einzelnen Zelle. Nun ist es möglich, mehrere hundert Zellen je Sekunde einzeln zu bestrahlen. Inklusiv aller präparativen Schritte konnte der experimentelle Durchsatz auf bis zu 50 000 Zellen je Stunde gesteigert und somit etwa verzehnfacht werden. Die Ortsgenauigkeit konnte ebenfalls leicht verbessert werden: Die Auslenkung des Strahls weist nun eine Unsicherheit von etwa  $0,5 \mu\text{m}$  auf, halb so groß wie bisher bei der mechanischen Positionierung.

Der zweite wichtige Beitrag zur Effizienzsteigerung war die Erweiterung der Zellerkennungs-Software. Mit einem neu entwickelten Modul zur Quantifizierung von Proteinfärbungen kann man nun untersuchen, welche Prozesse in einer Zelle gerade ablaufen. Zum Beispiel gibt es Proteine, die zur Reparatur der zelleigenen DNS benötigt werden oder die den Beginn des programmierten Zelltodes (Apoptose) anzeigen. Für die Untersuchung des Bystander-Effektes ist es wichtig, dass man die bestrahlten und unbestrahlten Zellen auf demselben Träger (anhand der gespeicherten Positionsdaten und mithilfe von Referenzpositionen) wieder-

finden kann. Dann wird mit einer CCD-Kamera die Aktivierung des Proteins p53 gemessen, das ein schneller Indikator für einen Stresszustand der Zelle ist. Durch Korrelation mit der Bestrahlungsinformation sollen damit Informationen über den Kommunikationspfad des Bystander-Effektes gewonnen werden.



Gemessene Aktivierung des Proteins p53 in Zellkernen als Maß für die Strahlenschädigung: rot bedeutet hohe, grün geringe Aktivierung. Die mit einem x markierten Zellen waren bestrahlt worden.

Weitergehende Informationen von K.-D. Greif, Tel. (05 31) 592-64 81, E-Mail: klaus-dieter.greif@ptb.de

## Avogadro-Projekt: Erster isotopenreiner Siliciumeinkristall

**Im Rahmen des internationalen Avogadro-Projekts, das die Neubestimmung der Avogadrokonstanten zum Ziel hat, ist es erstmals gelungen, einen perfekten Siliciumeinkristall isotopisch und chemisch rein herzustellen. Ein Probestkristall mit einer Masse von mehr als 400 g und einer Isotopenreinheit von mehr als 99,99% wurde für Testmessungen an die PTB ausgeliefert.**

Im Rahmen des Avogadro-Projekts soll die Größe der Avogadrokonstante genauer als bisher bestimmt werden. Auf dieser Grundlage ließe sich dann auch das Kilogramm, das bisher noch durch einen Prototyp verkörpert wird, mit Bezug auf eine Fundamentalkonstante definieren. Nachdem Messungen an Siliciumkugeln mit natürlicher Isotopenzusammensetzung für die Avogadrokonstante relative Messunsicherheiten von  $3 \cdot 10^{-7}$  nicht unterschreiten konnten, wurde beschlossen, die Messungen mit isotopenreinem Silicium zu wiederholen. Unter Koordinierung der PTB wurde daraufhin ein Kooperationsvertrag zwischen acht metrologischen Staatsinstituten, internationalen Forschungslaboratorien sowie russischen Forschungs- und Industrieinstitutionen geschlossen.

Das erste Ergebnis dieser Kooperation ist der

nun vorliegende Einkristall, an dessen Herstellung das Zentralbüro für Zentrifugenentwicklung des Russischen Atomministeriums in St. Petersburg (Herstellung und Anreicherung von  $\text{SiF}_4$ -Gas), das Institut für hochreine Materialien in Nishni-Novgorod (Umwandlung von  $\text{SiF}_4$ -Gas in  $\text{SiH}_4$ -Gas, chemische Reinigung und Abscheidung eines Polykristalls) und das Institut für Kristallzüchtung in Berlin (Züchtung des Si-Einkristalls mittels Zonenreinigungsverfahren) beteiligt waren. Die für eine weitere Verwendung des Materials zur Kugelherstellung notwendige chemische Reinheit wurde nach mehreren Zonenzügen erreicht. In der PTB wurden die Fremdatomkonzentrationen mittels Infrarot-Spektrometrie ermittelt: für Kohlenstoff  $3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ , für Sauerstoff  $4 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  und für Bor  $3 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . Der Anteil von mehr als 99,99%  $^{28}\text{Si}$  im Kristall, bestimmt am Institut für Referenzmaterialien und Messungen der EU in Geel, konnte während des gesamten Produktionsprozesses aufrecht erhalten werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um mit den Messungen an einer  $^{28}\text{Si}$ -Kugel Erfolg zu haben. Das dazu nötige Material, ein 5-kg-Kristall, wird termingerecht im Jahr 2006 geliefert.

Weitergehende Informationen von P. Becker, Tel. (05 31) 592-43 00, E-Mail: peter.becker@ptb.de

# Auf dem Weg zum Welt-Erdgaskubikmeter

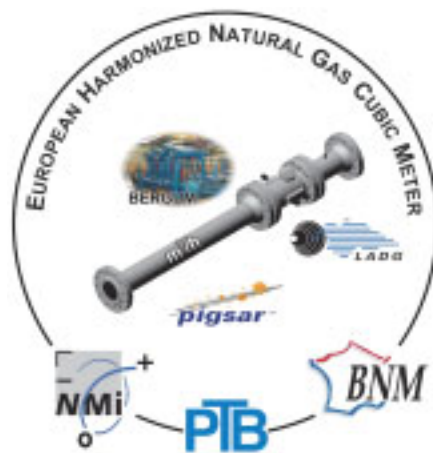
Nach Vereinheitlichung des Kubikmeters für Erdgas unter hohen Drücken durch das deutsche, französische und niederländische metrologische Staatsinstitut (PTB, LNE und NMI-VSL) im vergangenen Jahr wurden im April 2005 internationale Schlüsselvergleiche (Key Comparisons) für Hochdruckgas mit vorerst auf diese europäischen Institute beschränkten Teilnehmern abgeschlossen und ein Key Comparison Reference Value (KCRV) festgelegt.

Die öffentliche Gaswirtschaft ist ein gigantischer Markt. Allein in Deutschland fließen pro Jahr etwa 100 Milliarden Kubikmeter Erdgas durch die Rohrleitungssysteme zu den Endkunden, entsprechend einem Geldwert von etwa 20 Milliarden Euro, so dass Kunden und Lieferanten an genauen Messungen interessiert sind. Die besten Prüfstände für Durchflussmessungen an Hochdruck-Erdgasleitungen erreichen unter optimalen Bedingungen allerdings nur eine Messunsicherheit in der Größenordnung von 0,15%. Da Deutschland, die Niederlande und Frankreich aber völlig unterschiedliche Konzepte für Erdgasmessungen realisieren, waren in der Vergangenheit noch zusätzliche Beiträge zur Messunsicherheit und damit nachteilige Auswirkungen beim Gashandel zwischen den Ländern möglich.

Seit dem 4. Mai 2004 wird vom deutschen, niederländischen und französischen Metrologieinstitut (PTB, LNE und NMI-VSL) ein einheitlicher Kubikmeter für Erdgas unter hohen Drücken dargestellt, der als „Harmonisierter Europäischer Erdgaskubikmeter“ bezeichnet wird. Bei diesem vertraglich geregelten Verfahren wird ein gewichteter Mittelwert aus den drei unabhängigen Darstellungen der beteiligten Partner gebildet. Da in Europa keine weiteren metrologisch unabhängigen Realisierungen durch andere Länder erfolgen, ist hiermit ein stabiles und verlässliches Europäisches Normal geschaffen, welches mit einer kleineren Unsicherheit behaftet ist als die individuellen Dar-

stellungen in den beteiligten Institutionen mit dem Vorteil eines lautereren Handels in der Gasversorgungswirtschaft.

Zur Ausweitung der Anerkennung von Kalibrierzertifikaten außerhalb Europas werden im Rahmen der internationalen Aktivitäten des CIPM/BIPM Schlüsselvergleiche in allen wichtigen metrologischen Bereichen organisiert. Im Erdgasbereich wurden hierzu weltweit die Betreiber staatlicher und privater Hochdruck-Prüfstände zur Teilnahme eingeladen. Da außerhalb Europas offenbar keine von Metrologieinstituten betriebene oder überwachte Kalibrierprüfstände für Hochdruckerdgas verfügbar sind, haben nur die europäischen Metrologieinstitute PTB, LNE und NMI-VSL an der internationalen Vergleichsmessung unter Aufsicht des CIPM/BIPM teilgenommen. Der dabei ermittelte KCRV ist identisch mit dem in Europa festgelegten Erdgaskubikmeter. Zur Vollendung einer weltweiten Harmonisierung unterstützt die PTB auf dieser Grundlage den Aufbau entsprechender nationaler Normale in verschiedenen Ländern auch außerhalb Europas.



Der Erdgaskubikmeter wurde auf den europäischen Prüfständen pignar, Bergum und LADG einheitlich realisiert.

Weitergehende Informationen von D. Dopheide, Tel. (05 31) 592-14 00, E-Mail: [dietch.dopheide@ptb.de](mailto:dietch.dopheide@ptb.de)

## Gegen den Trend: NMR-Messungen bei niedrigen Feldern

Um die spektrale Auflösung zu erhöhen, werden heute bei kernmagnetischen Resonanzmessungen (NMR-Messungen) immer stärkere statische Magnetfelder eingesetzt. Man kann aber auch den entgegengesetzten Weg gehen und mit supraleitenden Quanteninterferometern (SQUIDs) bei sehr niedrigen Feldern NMR-Spektren mit exzellenter spektraler Auflösung aufzeichnen. In der PTB wurde ein Niedrigfeld-NMR-Spektrometer entwickelt, das im neuen magnetischen Abschirmraum BMSR-2 eine Auflösung von weit unter 1 Hz erreicht. Das eröffnet die Möglichkeit verbesserter und neuartiger NMR-Messungen.

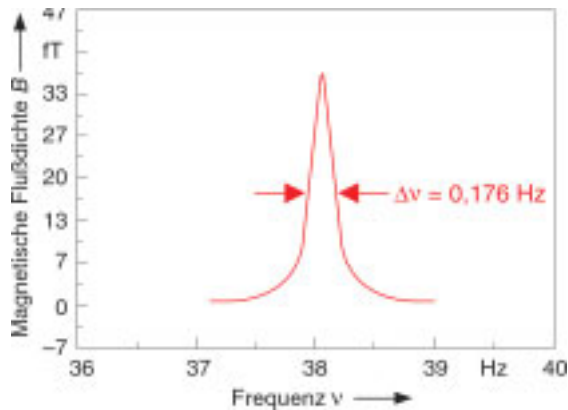
Es erscheint zunächst überraschend, dass bei sehr niedrigen Feldern von einigen Mikro- oder sogar Nanotesla Flussdichte eine spektrale Auflösung erreicht werden kann, die diejenige konventioneller Hochfeldspektrometer weit übertrifft. Der Grund ist ganz einfach: Die Resonanzlinien werden immer durch Feldinhomogenitäten verbreitert, die mit der Feldstärke skalieren. Deshalb wird beispielsweise bei magnetischen Flussdichten zwischen 40 nT und 4  $\mu$ T die Aufzeichnung der natürlichen Linienbreiten von Benzol, Chloroform oder destilliertem Wasser um 0,1 Hz möglich. Da im Niedrigfeldbereich die chemische Verschiebung

(Fortsetzung auf Seite 4)

verschwindet, vereinfachen sich auch die Spektren komplexerer Moleküle. In Zusammenarbeit mit den Universitäten Magdeburg und Jena wurden für eine Reihe von molekularen Systemen, die verschiedene Kernmomente enthalten, breitbandige „Low field“-NMR-Spektren gemessen und numerisch simuliert. Dabei erwies sich, dass die Auflösung der so genannten heteronuklearen J-Kopplungen allein von den natürlichen Breiten der Resonanzlinien begrenzt war. Das höhere Auflösungsvermögen der neuen Technik ermöglicht deshalb eine bessere Analyse von Reaktionen, an denen verschiedene Kerne beteiligt sind.

Diese Ergebnisse erlauben die Prognose, dass im Niedrigfeldbereich auch MR-Bildgebung für die Medizin möglich ist. Da zudem die körpereigenen Magnetfelder, die durch bioelektrische Ströme im Herzen oder im Gehirn erzeugt werden, die gleiche Größenordnung haben, können sie von den SQUIDS simultan aufgezeichnet werden. Damit er-

gibt sich die interessante neue Möglichkeit, Funktion und Anatomie von Organen mit einer einzigen Messung zu untersuchen..



Gemessenes NMR-Spektrum von destilliertem Wasser bei einem Detektionsfeld von 900 nT. Anders als bei hohen Detektionsfeldern wird die natürliche Linienbreite von rund 0,15 Hz nur unwesentlich durch die Messeinrichtung verbreitert.

Weitergehende Informationen von M. Burghoff, Tel. (030) 34 81-72 38, E-Mail: martin.burghoff@ptb.de

## Strahlenexposition in Flughöhen kartiert

PTBnews 05.3  
Deutsche Ausgabe  
Dezember 2005  
ISSN 1611-1621

Herausgegeben von der  
Physikalisch-Technischen  
Bundesanstalt (PTB)  
Braunschweig und Berlin

Chefredakteur Jens Simon  
PTB, Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
Telefon: (05 31) 592-30 06  
Fax: (05 31) 592-30 08  
E-Mail: ptbnews@ptb.de  
Webseite: <http://www.ptb.de/>  
Dort finden Sie die PTBnews  
unter „Publikationen“ als pdf-  
oder html-Datei.

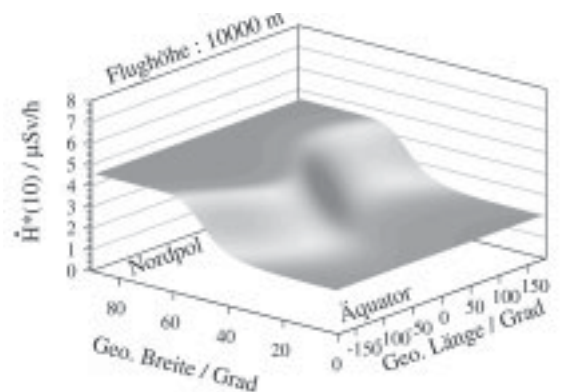
Weitergehende Informationen von F. Wissmann,  
Tel. (05 31) 592-63 30,  
E-Mail:  
frank.wissmann@ptb.de

In der Luftfahrt ist das fliegende Personal in einem besonderen Maße kosmischer Strahlung ausgesetzt. Dauermessungen der PTB an Bord eines Linienflugzeuges haben diese Strahlung jetzt für die Nordhalbkugel kartiert, so dass sichere Voraussagen für die tatsächliche Strahlenexposition in Flughöhen getroffen werden können.

Seit mehreren Jahren führt die PTB Messungen in Flugzeugen durch, um die weltweite Verteilung der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung durch kosmische Strahlung in Reiseflughöhen zu untersuchen. Zwischen Dezember 2003 und September 2004 fand nun erstmals eine Langzeitmessung statt. Das Messsystem, das lediglich die Ausmaße eines Flugkoffers besitzt, wurde an Bord eines Lufthansa Airbus A340 eingebaut. Bei mehr als 250 Flügen über die Nordhalbkugel konnte eine große Menge an Messdaten erfasst werden. Aus diesen Messdaten wiederum wurden einfach handhabbare mathematische Funktionen gewonnen, welche die Breiten- und Höhenabhängigkeit der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung beschreiben. Damit ist eine Berechnung zumindest in Reiseflughöhen zwischen 9 km und 12 km auf der nördlichen Halbkugel möglich. Durch einen Vergleich mit Messungen aus den Jahren 1997 bis 1999, allerdings waren es damals nur 39 einzelne Messflüge, konnte auch der funktionale Zusammenhang zwischen einer Neutronenmessstation am Boden, als Maß für

die Sonnenaktivität, und der Strahlenexposition in Flughöhen bestimmt werden: Die Sonnenaktivität hat einen Einfluss auf die Dosisleistung bis zu einer Größenordnung von  $\pm 30\%$ .

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in dem Programm „FDOScalc“ (Flight Dose Calculator) enthalten und stehen über die Webseiten der PTB (<http://www.ptb.de/flugdosisrechner.html>) der Öffentlichkeit zur Verfügung. Die PTB selbst wird mit FDOScalc andere Dosis-Ermittlungsprogramme, welche die Strahlenexposition in Flughöhen berechnen und die jeweils vom Luftfahrt-Bundesamt zugelassen sein müssen, überprüfen.



Verteilung der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in 10 km Höhe auf der Nordhalbkugel vom Äquator bis zum Nordpol. Die Verteilung berücksichtigt alle gewonnenen Daten aus der neunmonatigen Dauermessung an Bord eines Lufthansa-Airbus.