



PHYSIK-NOBELPREIS 2007

Die Entdeckung des Riesen-Magnetowiderstandes

PATRICK BRUNO

Den Nobelpreis für Physik erhielten in diesem Jahr Albert Fert (Paris) und Peter Grünberg (Jülich) „für ihre Entdeckung des Riesen-Magnetowiderstandes.“ Dessen Anwendung revolutionierte die Technik, mit der Computerfestplatten die Information auslesen, heißt es in der Begründung des Nobel-Komitees.

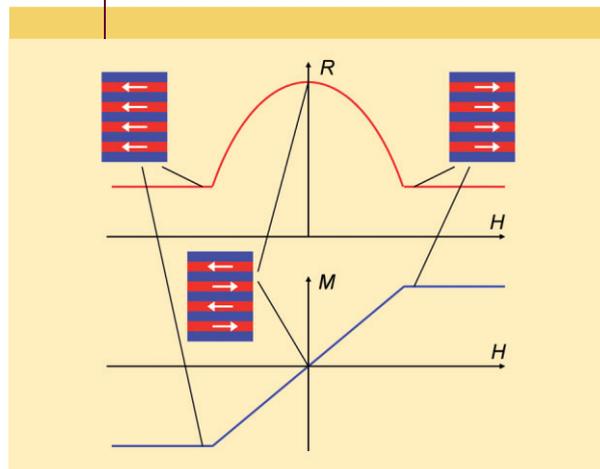
In unserer Informationsgesellschaft spielt das Verarbeiten, Übertragen und Speichern von Informationen aller Art eine zentrale Rolle. Das betrifft sowohl Texte und numerische Daten als auch Bild und Ton. Seit Jahrzehnten ist die Magnetspeicherung hierfür die effizienteste und ökonomischste Methode. Hierbei wird die Information als Magnetisierungsrichtung in magnetischen Domänen abgebildet.

Bis etwa 1990 beschränkte allerdings der damals etablierte, induktive Auslesemechanismus die Erhöhung der Speicherdichten von Festplatten. Doch es gab bereits eine aussichtsreiche Alternative, deren Auslesemethode auf dem magnetischen Widerstand beruht.

Als magnetischen Widerstand oder Magnetowiderstand bezeichnet man die Änderung des elektrischen Widerstands eines Leiters, wenn man ihn einem äußeren Magnetfeld aussetzt. In ferromagnetischen Leitern tritt vor allem der 1857 von William Thomson (Lord Kelvin) entdeckte anisotrope Magnetowiderstand in Erscheinung. Ursache für diesen Effekt ist die Spin-Bahn-Wechselwirkung. Sie bewirkt einen unterschiedlichen elektrischen Widerstand, abhängig davon, ob der Strom parallel oder senkrecht zur Magnetisierung fließt. Bei Anlegen eines äußeren Magnetfeldes versuchen nämlich falsch ausgerichtete magnetische Domänen sich entlang der Feldlinien auszurichten, wodurch sich der Widerstand um etwa ein Prozent verändert.

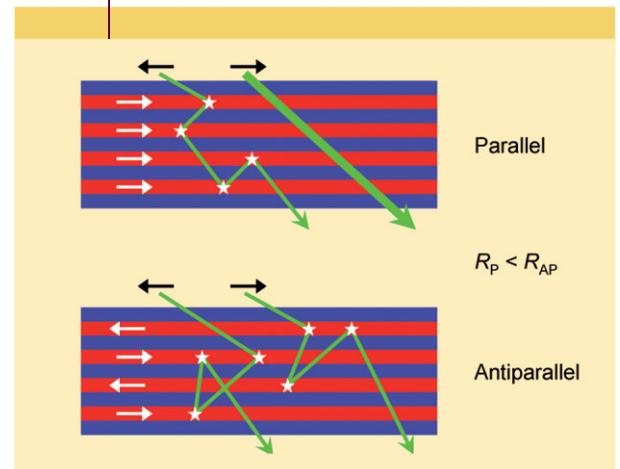
Die Situation im Jahre 1988 fasst ein pessimistisch gestimmtes Zitat aus einem Buch über Magnetfeldsensoren gut zusammen: „Mehr als zwei Jahrzehnte Forschung und Entwicklung haben das Prinzip des Magnetowiderstand-Sensors etabliert. ... Es ist jedoch zweifelhaft, ob magnetoresistive Schichten innerhalb der nächsten Jahre noch erheblich weiterentwickelt werden können.“ Es war deshalb eine große Sensation, als Albert Fert und Peter Grünberg un-

ABB. 1 | RIESEN-MAGNETOWIDERSTAND



Magnetische Orientierung in Multilayern bei unterschiedlichen äußeren Magnetfeldern (blaue Kurve) und elektrischer Widerstand (rote Kurve).

ABB. 2 | SPIN-ABHÄNGIGE ELEKTRONENSTREUUNG



Elektronen werden in Schichten, in denen die Magnetisierungsrichtung (weiße Pfeile) antiparallel (AP) zum Elektronenspin (schwarze Pfeile) liegt stärker gestreut, als wenn Magnetisierung und Spin parallel (P) liegen. Dies führt zu einer Art Kurzschluss in der P-Konfiguration, in der etwa die Hälfte aller Elektronen viel weniger gestreut werden. Dadurch verringert sich der elektrische Widerstand erheblich.

abhängig voneinander entdeckten, dass ein wesentlich größerer Magnetowiderstand in magnetischen Vielfachschichten auftritt. Diesen Effekt nannte man Riesen-Magnetowiderstand (Giant Magneto Resistance, GMR). Diese Systeme bestehen im Wesentlichen aus abwechselnden ferromagnetischen Schichten (zum Beispiel aus Eisen, Kobalt, Nickel) und nicht-ferromagnetischen Schichten (Chrom, Kupfer, Ruthenium und anderen). Jede dieser Schichten ist dabei nur wenige Atomlagen dick (siehe J. Wecker et al., Physik in unserer Zeit **2002**, *33* (5), 210).

Fert und Grünberg entdeckten, dass sich in einem äußeren Magnetfeld der elektrische Widerstand um bis zu 50 % verringert, weil sich in den unterschiedlichen Schichten die magnetische Ausrichtung von antiparallel zu parallel ändert (Abbildung 1). Der GMR-Effekt beruht auf zwei physikalischen Vorgängen:

Erstens: Der elektrische Widerstand der Vielfachschichten variiert erheblich, wenn die Konfiguration von parallel (P) zu antiparallel (AP) umschaltet. Ursache hierfür ist die vom Spin abhängende Streuung von Elektronen in ferromagnetischen Schichten. Dies hatte Fert in den 1960er- und 70er-Jahren bereits eingehend studiert (Abbildung 2).

Zweitens: Ohne äußeres Magnetfeld orientiert sich die Magnetisierung der aufeinanderfolgenden ferromagnetischen Schichten antiparallel. Diese antiferromagnetische Zwischenschichtkopplung entdeckte Peter Grünberg 1986. Dieser Effekt ermöglicht es, bei Anlegen eines äußeren Magnetfeldes sehr effektiv zwischen der AP- und der P-Konfiguration zu schalten, was den GMR-Effekt zutage förderte [2].

Albert Fert beschrieb in seiner entscheidenden Arbeit [3] die richtige physikalische Interpretation der spinabhängigen Elektronenstreuung. Peter Grünberg seinerseits erkannte sofort die Aussichten für interessante technische Anwendungen und ließ sich die Methode patentieren. Sein Patent ist der Schlüssel zur GMR-Technologie, die der Entwicklung der Speichertechnik, insbesondere der Festplatten, einen enormen Schub verlieh. Nur neun Jahre nach der Entdeckung des GMR-Effekts kamen Leseköpfe, die ihn nutzen, auf den Markt. Danach verdoppelte sich alle zwei Jahre die Speicherdichte. Gleichzeitig sank der Preis pro Gigabyte Speicherplatz zunehmend. Er liegt heute bei 50 Eurocent pro GB. Mehr als fünf Milliarden Leseköpfe, die auf dem GMR basieren, wurden bislang produziert – fast so viele wie Menschen auf der Erde leben. Der weltweite jährliche Umsatz mit diesen Geräten liegt heute bei 31 Milliarden Dollar. Dieser enorme Erfolg hat nicht nur die Computerindustrie beflügelt. Er öffnete auch den Markt für neue Anwendungen, wie miniaturisierte Festplatten in Musik- und Videoplayern, Taschencomputern (PDAs) sowie Foto- und Videokameras.

Der GMR-Effekt war sicher die wichtigste Entdeckung im Bereich des Magnetismus in den vergangenen Jahrzehnten. Sie löste in wissenschaftlichen und Industrieeinstituten enorme Forschungsaktivitäten aus. Heute erschließen die Forscher bereits das darauf aufbauende Gebiet der Spintronik. Hier untersucht man den Einfluss des Elektronen-

DIE PREISTRÄGER

Peter Grünberg

wurde 1939 in Pilsen geboren. Nach Studium und Promotion in Darmstadt und einem Forschungsaufenthalt in Kanada arbeitet er seit 1972 als Wissenschaftler beim Forschungszentrum Jülich, wo er auch nach seiner Emeritierung weiter forscht. Für seine Arbeit hat er bereits zahlreiche international renommierte Preise erhalten, unter anderem 1998 den Zukunftspreis des Bundespräsidenten und die Stern-Gerlach-Medaille der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (Foto: FZ Jülich).



Albert Fert

wurde 1938 in Carcassonne, Frankreich, geboren und studierte an der Université Paris-Sud (Orsay), wo er 1970 promovierte. Seit 1976 ist er dort Professor für Physik. Auch er erhielt zahlreiche Preise, wie 1994 den Preis für Neue Materialien der American Physical Society und 2003 die Goldmedaille des Centre National de la Recherche Scientifique (Foto: CNRS).



spins auf die elektronischen Eigenschaften eines Körpers. In der herkömmlichen Elektronik spielt der Spin keine Rolle. In der Spintronik wurden bereits einige interessante Entdeckungen gemacht, wie der Tunnel-Magnetowiderstand (TMR), den man in Tunnelverbindungen ferromagnetischer Elektroden gefunden hat (siehe J. Wecker et al., Physik in unserer Zeit **2002**, *33* (5), 210). Darüber hinaus fand man einen kolossalen Magnetowiderstand in magnetischen Perowskiten, abgeschwächte magnetische Halbleiter, die es ermöglichen, Magnetismus und Elektronik im selben Material zu vereinen (siehe H. Krenn, P. Granitzer, Physik in unserer Zeit **2002**, *33*(5), 218), Spin-Injektion und Spin-Transport in Halbleitern, den Spin-Hall-Effekt und vieles mehr.

Ob sich aus einem dieser Effekte einmal eine ähnlich bahnbrechende Anwendung wie aus dem GMR-Effekt ergeben wird, muss die Zukunft erweisen.

Stichworte

Riesen-Magnetowiderstand, Giant Magneto Resistance, GMR, Spintronik, Grünberg, Fert, Physik-Nobelpreis.

Literatur

- [1] W. Göpel et al., Sensors, A Comprehensive Survey, Vol. 5, Magnetic Sensors, VCH, Weinheim 1989.
- [2] G. Binasch et al., Phys. Rev. B **1989**, *39*, 4828.
- [3] N. M. Baibich et al., Phys. Rev. Lett. **1988**, *61*, 2472.

Der Autor

Patrick Bruno, geboren 1964 in Paris, studierte Physik in Paris und wurde 1998 zum Direktor am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle berufen. 2007 erhielt er den Leibniz-Preis der DFG.

Anschrift

Prof. Dr. Patrick Bruno, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Weinberg 2, 06120 Halle. Bruno@mpi-halle.de