

Rieseneffekt in dünnen Schichten

Physik-Nobelpreis 2007 für Peter Grünberg und Albert Fert

Eberhard Wassermann und Burkard Hillebrands

Viele dürften am Dienstag, dem 9. Oktober, gespannt auf den Computer-Monitor geschaut haben, als gegen Mittag die freudige Nachricht kam: Peter Grünberg vom Forschungszentrum Jülich erhält den Nobelpreis für Physik 2007, den er sich mit Albert Fert von der Université Paris-Sud in Orsay teilt. Mit überraschender Ehrlichkeit hat Peter Grünberg im Fernsehen zugegeben, dass er zum Termin schon mal vorsorglich ins Labor gegangen war, zunächst ohne Krawatte, wie er erklärte – die Jahre vorher war ja auch kein Anruf gekommen. Seine Bescheidenheit und Integrität sind, trotz aller Ehrungen und Preise, die ihm (meist zusammen mit Albert Fert) zuteil wurden, sozusagen sprichwörtlich. Während es bei der Verleihung der Stern-Gerlach-Medaille der DPG im März in Regensburg noch weniger formell zugeht,^{*)} musste er schon zweimal dieses Jahr zu Frack und Fliege greifen: bei der Verleihung des „Wolf-Preises“ in der Knesset sowie des „Japan-Preises“ im April in Tokio. Nach dem Tenno und der japanischen Kaiserin wird er nun in diesem Jahr auch noch Königin Silvia und dem schwedischen König Carl Gustaf begegnen.

Bis zu diesen Höhepunkten in einer Forscherkarriere war es ein weiter Weg: Peter Grünberg wurde 1939 in Pilsen geboren und wuchs nach der Vertreibung seiner Familie aus der Tschechoslowakei 1946 in Lauterbach/Hessen auf, wo er 1959 am Alexander-von-Humboldt-Gymnasium das Abitur machte. Ab 1962 studierte er Physik, zunächst an der Johann Wolfgang von Goethe-Universität in Frankfurt. Nach dem Vordiplom ging er an die TU Darmstadt, wo er 1966 diplomierte und dann bei Stefan Hüfner mit einer Arbeit über optische Untersuchungen an Selten-

Erd-Granaten 1969 promovierte. Während zunächst die Absorptions- und Emissionsspektroskopie sein „Handwerkszeug“ waren, nahm er bei seinem anschließenden Forschungsaufenthalt von 1969 bis 1972 in Ottawa/Kanada die Raman-Streuung hinzu. 1972 kam Peter Grünberg in die Arbeitsgruppe des unvergessenen Werner Zinn an die damalige KFA (heute FZ) Jülich. Es waren die Zeiten des Kondo-Effekts, der Spingläser und der „schwierigen Geburt“ des ersten Sonderforschungsbereichs SFB 125 Aachen-Jülich-Köln unter Günther Leibfried. In Jülich hat Peter Grünberg die Brillouin-Streuung bis zu ihren Grenzen verfeinert und zunächst an EuO und EuS Fragen nach dem Grundverständnis magnetischer Anregungen untersucht.

1980 erschien Grünbergs erste Arbeit über ferromagnetische Doppelschichten [1]. Dies war sein Einstieg in die „Multi-Layer-Forschung“, die für seinen weiteren wissenschaftlichen Werdegang und für die Festkörperphysik insgesamt von entscheidender Bedeutung werden sollte. An die Habilitation 1984 (an der Universität in Köln) schloss sich 1984/85 ein Forschungsaufenthalt am Argonne National Lab/Chicago in der Arbeitsgruppe von Sam Bader an, den Grünberg für Messungen des Kerr-Effekts an Fe-Monolagen nutzte.

Der entscheidende Durchbruch gelang 1986, als Peter Grünberg und seine Mitarbeiter den Grundstein zum Verständnis eines neuen magnetischen Phänomens legten – der Zwischenschicht-Austauschkopplung in dünnen Übergangsmetallschichten [2]. Grünberg zeigte, dass zwei ferromagnetische Eisenschichten über eine Chrom-Zwischenschicht hinweg bei spezieller Dicke der Cr-Schicht antiferromagnetisch koppeln. Wesentlich



Peter Grünberg

zum Gelingen dieser Ergebnisse war, dass die von Halbleitern her bekannte UHV-Technik zum Wachstum dünner epitaktischer Schichten nun auch an Metallen gelang, ohne dass „Kurzschlüsse“ (pin-holes) zwischen den dünnen Schichten auftraten.

Ein marginales Ergebnis?

Die Entdeckung der Austauschkopplung über Zwischenschichten war bereits ein Meilenstein, wurde aber zwei Jahre später noch übertroffen, als Grünberg und Mitarbeiter den Grundstein legten sowohl für eine „Revolution“ in der magnetischen Datenspeichertechnik, die nicht mal zehn Jahre später stattfand, als auch für den diesjährigen Nobelpreis [3]. Die Autoren hatten eine magnetische Widerstandsänderung der Fe/Cr/Fe-Doppelschicht von $\Delta R/R_{\parallel} \sim 1,5\%$ bei Zimmertemperatur gefunden und ihre Arbeit am 31. Mai 1988 bei Physical Review Letters eingereicht. Nun widerfuhr ihnen das „Geschick“, das nur allzu vielen Lesern aus eigener Erfahrung bekannt sein dürfte: Der oder die Referees (die sicher noch lange anonym bleiben möchten) hielten wahrscheinlich das Ergebnis für „zu marginal“ und

^{*)} vgl. Physik Journal, August/September 2007, S. 33

Prof. Dr. Eberhard Wassermann ist Emeritus an der Universität Duisburg-Essen, Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Magnetismus und stellvertretender Vorsitzender des Fachverbands Magnetismus der DPG.

verwiesen die Autoren an Physical Review B. Nach Korrekturen erschien das „Nobelpreis-Paper“ dann endlich im Märzheft Physical Review B 1989 als „Rapid Communication“ mit dem Doppelvermerk: „received 31 May 1988; revised manuscript received 12 December 1988“ [3]. Das erste Datum erweist sich nun heute als ganz wichtig, denn zwischenzeitlich arbeiteten in Paris/Orsay auch Albert Fert und seine Gruppe an ähnlichen Problemen des Magneto-Widerstands in Mehrlagen-Stapelschichten von Eisen und Chrom: Sie entdeckten gleichzeitig und unabhängig von Grünberg denselben Effekt, aber mit wesentlich größeren Absolutwerten der magnetischen Widerstandsänderung, was den heutigen Namen GMR-Effekt für „Giant Magnetoresistance“ wirklich rechtfertigt. Fert und Mitarbeiter hatten mit ihrer Veröffentlichung wahrscheinlich auch deshalb mehr Erfolg, und ihre Arbeit ging mit dem Datumsvermerk: „received 24. August 1988“ offenbar glatt bei PRL durch [4].

Frühe Patentanmeldung

Es war jedoch Peter Grünberg, der als Erster das enorme Anwendungspotenzial seines Forschungsergebnisses erkannte. Er meldete rechtzeitig beim Deutschen Patentamt das Patent „Magnetfeldsensor mit ferromagnetischer dünner Schicht“ an, das mit seinen zwölf „Ansprüchen“ so umfassend war, dass es zum wesentlichen Pa-

tent des GMR-Effekts wurde. Aus diesem Patent (Deutsche Nr. DE 38 204 75 C1) zog IBM dann zehn Jahre später die für die technischen Neuerungen der Leseköpfe in magnetischen Festplattenspeichern entscheidenden Lizenzen und japanische Hersteller von IBM die Folgepatente. Zwar hat die Orsay-Gruppe (und auch die Jülicher Gruppe) weitere Patente auf diesem Gebiet angemeldet. Die Möglichkeit, die Speicherdichten in magnetischen Speicherplatten heute bis in den Bereich von rund 100 Gigabit pro Quadratinch zu steigern, geht aber vornehmlich auf die Erkenntnis von Peter Grünberg zurück. Damit hat er das, was Gesellschaft und Politik von der Forschung immer gefordert haben (Stichwort: „Bringschuld“), in einmaliger Art und Weise erfüllt: Er hat nicht nur einen neuen Effekt in der Grundlagenforschung entdeckt, sondern auch dessen Anwendungspotenzial erkannt und es rechtzeitig im Patent umgesetzt – nicht zuletzt auch zum Wohl des FZ Jülich.

Die Entdeckungen von Grünberg und Fert haben auch ein völlig neues Gebiet der Festkörperphysik eröffnet, die „Spinelektronik“. Akronyme beherrschen auch hier das Feld, denn neben dem GMR-Effekt ist es der TMR-Effekt (Tunnel-Magneto-Resistance), der viel größere Widerstandsänderungen als der GMR-Effekt liefert. TMR hat jüngst zu einer neuen Datenspeichertechnik geführt, den MRAMs (Magnetic Random Access Memories). Auch die Spin-Injektion in Halbleitern und damit eine Art „revival“ der Forschung an Heusler-Legierungen und das Gebiet des sog. „Exchange Bias“ gehen mit dem Begriff Spinelektronik einher, zu dem auch CMR (Colossal-Magneto-Resistance) und BMR (Ballistic-Magneto-Resistance) zählen. Ganz neu und hoffnungsvoll ist CIMS (Current Induced Magnetic Switching) z. B. in Fe/Ag/Fe-Schichtstrukturen, eine Technik, die vielleicht ein weiteres Mal die Datenspeicherung revolutionieren könnte.

Peter Grünberg ist ein „Nobelpreisträger zum Anfassen“. Es tut

nicht nur der Physik, sondern der ganzen Wissenschaft gut, dass er die Öffentlichkeit nicht scheut und man ihn in unserer durch Medien bestimmten Zeit auch in Talk Shows und anderen TV-Runden zu Gesicht bekommt; bei Johannes B. Kerner z. B. zusammen mit Franziska von Almsick und Johann Lafer erkannte er beim „Gourmet-Blind-Test“ – mit verbundenen Augen ganz gelassen agierend – den Geschmack der dargereichten Lafer-Häppchen meist richtig. Top-Wissenschaftler sozusagen auf Augenhöhe mit Schwimmstar und Sterne-Koch, das gefällt den Zuschauern, wirft aber auch ein bezeichnendes Licht auf den heutigen gesellschaftlichen „Stellenwert“ eines Nobelpreisträgers.

Bei allen Auszeichnungen und Ehrungen und bei all den herausragenden Leistungen ist Peter Grünberg stets ein liebenswerter und in Bezug auf seine Person bescheidener Mensch geblieben. Er findet seinen Ausgleich in seiner Familie und im Sport, und es ist eine Freude, ihn im Tennis, beim Skifahren oder beim Golf als Partner zu haben. Skifahren hätte vor Jahren beinahe einmal verhängnisvoll geendet, denn einige „Experten“ nahmen den „fortgeschrittenen Anfänger“ mit zum Weissfluh-Gipfel in Klosters/Davos und dann hinunter über die Süd-Westwand. Da wird es so steil, dass man den vorausfahrenden Kollegen plötzlich nicht mehr sehen, sondern bestenfalls noch hören kann. Peter Grünberg hat sie aber gemeistert, die Stelle, die wir daraufhin die „Grünberg-Kante“ nannten.

Eberhard Wassermann



Dank des GMR-Effekts ist die Speicherdichte von Computer-Festplatten rasant gewachsen.

- [1] P. Grünberg, J. Appl. Phys. **51**, 4338 (1980)
- [2] P. Grünberg et al., Phys. Rev. Lett. **57**, 2442 (1986)
- [3] G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach und W. Zinn, Phys. Rev. B **39**, 4828 (1989)
- [4] M. N. Baibich et al., Phys. Rev. Lett. **61**, 2472 (1988)

Kein Zufallstreffer

Es ist eine besondere Freude, Albert Fert gemeinsam mit Peter Grünberg herzlich zur Verleihung des Nobelpreises 2007 für Physik zu gratulieren. Albert Fert wird sicher in die Geschichte der Physik nicht nur als einer der beiden Nobelpreisträger eingehen, welche den Riesenmagnetowiderstandseffekt (GMR) gefunden haben, sondern auch als eine große, herausragende Forscherpersönlichkeit, die über den GMR-Effekt hinaus wichtige Beiträge zum Gebiet des modernen Magnetismus geleistet hat.

Die Entdeckung des GMR-Effektes war kein reiner Zufallstreffer. Sie gründet auf einer langen Vorarbeit auf dem Gebiet der spinpolarisierten elektronischen Transportphänomene. Bereits in den 70er-Jahren führte Albert Fert gemeinsam mit Ian Campell grundlegende Untersuchungen zum elektrischen Widerstand in ferromagnetischen Legierungen durch. Er entwickelte damals erstmals das Konzept des spinabhängigen Stroms, aufbauend auf Ideen von Sir Neville Mott hinsichtlich des spinabhängigen Widerstands durch spinabhängige Streuung von Elektronen. In der Mitte der 80er-Jahre begann er, an elektrischen Transportphänomenen in magnetischen Vielfachschichten zu arbeiten. Sehr bald fand Albert Fert heraus, dass die spinabhängige Streuung einen Magnetowiderstand von für die damalige Zeit ungewöhnlicher Größe erzeugen müsste, gelänge es, die Richtungen der Magnetisierungen der einzelnen magnetischen Schichten individuell einzustellen. Die Tragfähigkeit dieser Idee wurde von seinem Kollegen Jean-Pierre Renard in Orsay erstmals bestätigt, der eine kleine, aber signifikante Anomalie im elektrischen Widerstand in ungekoppelten Co/Au-Vielfachschichten fand. Das fehlende Glied wurde 1986 durch Peter Grünberg mit der antiferromagnetischen Zwischenschichtkopplung in Fe/Cr/Ce-Dreifachschichten gefunden. 1988 gelang Albert Fert und seinen Mitarbeitern die Entdeckung des GMR-Effektes in Fe/Cr-Vielfachschichten



Albert Fert

durch den Nachweis einer 50 %-Widerstandsänderung als Funktion des angelegten Feldes, wofür er nun in diesem Jahr mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wird.

Dieser wissenschaftliche Durchbruch stimulierte Albert Fert zu einer ganzen Reihe von wichtigen Nachfolgearbeiten. Von Anfang an konzentrierte er sich auf ein solides theoretisches Verständnis der gefundenen Phänomene. Gemeinsam mit Levy and Zhang formulierte er die erste quantenmechanische Beschreibung des GMR-Effektes. Eine weitere wichtige Arbeit ist die Entwicklung der sog. Valet-Fert-Theorie, in der er den inzwischen zum wissenschaftlichen Allgemein-vokabular avancierten Begriff der Spinakkumulation einführte.

Erzielte Ergebnisse sind für Albert Fert stets ein besonderer Ansporn gewesen, weiter voranzudenken und neue Richtungen zu erschließen. Er leistete wichtige Beiträge zum Gebiet des Tunnelmagnetowiderstandseffektes (TMR-Effekt), sozusagen die Schwester des GMR-Effektes mit als Tunnelbarrieren fungierenden Isolator-Zwischenschichten. Albert Fert und seine Mitarbeiter waren auch die ersten, die zeigten, dass der TMR-Effekt besonders groß werden kann, wenn sog. Halbmetalle als Elektroden dienen. Neuere Beiträge betreffen den sog. Spinmomentum-Transfereffekt, der das Schalten von Magnetisierungsrichtungen durch den Übertrag von Drehimpuls von

Elektronen eines fließenden spinpolarisierten elektrischen Stromes beschreibt.

Albert Ferts Leistungen wurden durch zahlreiche Preise gewürdigt. Zu nennen ist beispielsweise der Japan-Preis 2007 (gemeinsam mit Peter Grünberg und Peter Shaw Ashton), der Wolf-Preis für Physik 2007 (gemeinsam mit Peter Grünberg), die CNRS-Goldmedaille 2003 und der Hewlett-Packard Europhysics Prize der Europäischen Physikalischen Gesellschaft 1997 (gemeinsam mit Peter Grünberg und Stuart Parkin). Er ist Ehrendoktor des Trinity College der University of Dublin und der TU Kaiserslautern.

Albert Fert liebt die Physik und vertieft sich gerne in Diskussionen mit Kollegen, aber auch mit Studierenden und Schülern, mit denen er gerne ohne jede Rücksicht auf zeitliche Zwänge physikalische Fragestellungen erörtert. Ist er nicht gerade auf Reisen, trifft man ihn mit großer Sicherheit in seinem Labor. Er ist 69 Jahre alt, verheiratet und hat zwei erwachsene Kinder. In seiner Freizeit geht er gerne ins Kino und liebt die Fotografie sowie die Jazz-Musik. Auch sportlich ist er sehr interessiert, er ist ein aktiver, begeisterter Windsurfer. In den ersten französischen Interviews nach Bekanntgabe der Nobelpreisgewinner kommentierte er sachkundig die gerade in Frankreich ausgetragene Rugby-Weltmeisterschaft.

In direktem Kontakt mit ihm beeindruckt besonders seine persönliche Ausstrahlung. Als wir ihm vor einem Jahr an der TU Kaiserslautern die Ehrendoktorwürde des Fachbereichs Physik verliehen, beschrieb er in seinen Dankesworten spontan seine Freundschaft zu Peter Grünberg und betonte, dass für ihn gute menschliche Kontakte in der Wissenschaft eine ganz wesentliche Voraussetzung für deren Gelingen seien. Dass dieses Konzept tragen kann, wird durch den Nobelpreiserfolg wunderbar belegt.

Burkard Hillebrands

Prof. Dr. Burkard Hillebrands, Fachbereich Physik, Technische Universität Kaiserslautern, Erwin-Schrödinger-Straße 56, 67663 Kaiserslautern