

Thomas M. Hengstmann

Darstellung der Forschungsaktivitäten

Seit der Entdeckung des GMR-Effektes 1988 durch Peter Grünberg vom Forschungszentrum Jülich und Albert Fert von der Universität Paris hat sich das Gebiet der Magnetelektronik stürmisch entwickelt. Dies führte zu in ihren Dimensionen reduzierten magnetischen Strukturen, z.B. zur Entwicklung des sogenannten Magnetic Random Access Memory (MRAM) und zum Konzept der Quantized Magnetic Disc [S.Y. Chou et. al., Appl. Phys. **76**, 6673 (1994)]. In diesem Gebiet ist es von äußerster Notwendigkeit, daß Streufeld der einzelnen magnetischen Partikel zu kennen. Die Wechselwirkung der magnetischen Partikel über ihre Streufelder kann zum Beispiel zu Fehlern in der Datenspeicherung im MRAM führen.

In dieser Arbeit werden die Streufelder von magnetischen Strukturen mit Hilfe der Hall-Mikro-Magnetometrie untersucht. Bei dieser Methode werden Hall-Bars aus dem Materialsystem GaAs/AlGaAs hergestellt. Die Breite verschiedener hergestellter Hall-Bars variiert von mehreren 100 nm bis zu einigen μm . Auf den Kreuzungspunkten des stromführenden Kanals und der Spannungsabgriffe wurden ferromagnetische Mikro- und Nanostrukturen integriert. Die durch das Streufeld der Ferromagnete verursachte Spannung zwischen den Abgriffen wird als Funktion des äußeren Magnetfeldes, des Winkels zwischen Substratnormalen und äußerem Magnetfeld und als Funktion der Temperatur aufgezeichnet.

In diesem Zusammenhang wurde zum Beispiel beobachtet, daß die Winkelabhängigkeit des Koerzitivfeldes der gemessenen Hysteresekurven eines Arrays aus eindomänigen Nickel-Partikeln, deren leichte Achse entlang der Substratnormalen lag, nicht durch die einfache Superposition der individuellen Magnete erklärt werden kann. Wir deuten unsere Ergebnisse so, daß die magnetostatische Wechselwirkung zwischen den Partikeln berücksichtigt werden muß, die das Umschaltverhalten der individuellen ferromagnetischen Partikel im verkippten Magnetfeld beeinflusst [1]. Durch die Variation des Abstandes der nächsten Nachbarn in so einem Array kann die magnetostatische Wechselwirkung zwischen den individuellen Magneten eingestellt werden.

Neben Nickel als Elementferromagneten wurden auch Dysprosium (Dy) und Permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) untersucht. Das erstgenannte zeigt bei 80 K den Phasenübergang vom Ferromagneten zum Antiferromagneten. Die Beobachtung dieses Übergangs kann dann mit thermodynamischen Modellen verglichen werden. Es wurden erste Dy-Nanomagnete auf Hall-Bars hergestellt. Die Interpretation der Messungen hat sich als schwierig herausgestellt, da bei den zur Sättigung des Materials benötigten hohen Magnetfeldern der Hallbar nicht mehr im linearen Bereich arbeitete.

Zuletzt wurden Mikromagnete aus Permalloy untersucht. Permalloy ist ein weichmagnetisches Material und wird zur Zeit verstärkt industriell eingesetzt, gerade auch in der Erwartung der Realisation eines MRAM's oder Spintransistors. Die Proben wiesen sub- μm Zwischenräume auf. Da in $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ die Sättigungsmagnetisierung sehr hoch ist, erwarten wir

hier besonders stark ausgeprägte Wechselwirkungseffekte, insbesondere weil bei den planar angeordneten Strukturen alle mikroskopischen magnetischen Momente in der Ebene zum liegen kommen. Erste Messungen an Proben mit Abständen zwischen $0.2 \dots 1\mu\text{m}$ zeigen in den Hysteresekurven Signaturen, die eindeutig mit dem Abstand skalieren. Diese werden zur Zeit mit Blick auf gegenseitige magnetostatische Beeinflussung analysiert. Daneben wird das Verhalten der Elektroden im Magnetfeld simuliert, um ein quantitatives Verständnis zu erlangen.

Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs

Das Aufdampfen der Permalloy-Schichten wurde im Institut für Angewandte Physik durch Herrn G. Pfützner aus der Gruppe von Herrn Prof. Dr. R. Anton vorgenommen. Die Schichten wurden dort mittels EDX charakterisiert. In der Meßtechnik und Charakterisierung der weichmagnetischen Proben sowie der Magnetkraftmikroskopie besteht eine enge Zusammenarbeit mit der Gruppe Nanostrukturphysik von Herrn Prof. Dr. U. Merkt.

Ausblick

Es soll dazu übergegangen werden, magnetische Schichten mit Hilfe einer niederenergetischen Ionenkanone zu strukturieren. Bisher wurde nur Lift-Off-Prozessierung verwendet. Die Ätzanlage befindet sich im Aufbau und wird in naher Zukunft einsatzbereit sein. Die so hergestellten mikromagnetischen Strukturen sollen dann sowohl mit Hilfe der Hall-Mikromagnetometrie als auch in der Gruppe von Herrn Prof. Dr. J. Kötzler mit den Methoden der NMR oder der SQUID-Suszeptometrie untersucht werden.

Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] D. Grundler, G. Meier, K.-B. Broocks, T.M. Hengstmann, N. Klockmann, Ch. Heyn und D. Heitmann: *Sub- μm ferromagnet/semiconductor hybrid structures*, *Magnetoelektronik: Zukunftsperspektiven für Forschung und Technologie in Deutschland (VDI 2000, ISBN: 3-931384-31-4)*.
- [2] I. Meinel, T.M. Hengstmann, D. Grundler, D. Heitmann, W. Wegscheider und M. Bichler: *Magnetization of the fractional quantum Hall states*, *Phys. Rev. Lett.* **82**, 819 (1999).
- [3] I. Meinel, T.M. Hengstmann, D. Grundler, T.O. Wiegard, D. Heitmann, M. Bichler, W. Wegscheider, D. Reuter und A. Wieck: *Many-body effects in the magnetization of tunable two-dimensional electron systems*, World Scientific (Singapore 1999, ISBN: 981-02-4030-9).
- [4] I. Meinel, D. Grundler, T.M. Hengstmann, Ch. Heyn, D. Heitmann, W. Wegscheider und M. Bichler: *Spin-dependent exchange and correlation effects on the orbital magnetization of two-dimensional electron systems*, *Physica E* **6**, 731 (2000).

Teilnahme an Tagungen

- Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 1998
- 30. Ferienschule des Instituts für Festkörperforschung über Magnetische Schichtsysteme, Forschungszentrum Jülich
in Jülich, Februar/März 1999
- Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Münster, März 1999
- 44. Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM)
in San Jose, California, November 1999
- 11. Internationale Winterschule des Fachausschusses Festkörperphysik der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft
in Mauterndorf, Österreich, Februar 2000
- Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 2000
- BMBF-Statusseminar Magnetoelektronik
in Dresden, Juni 2000

Tagungsbeiträge als Mitautor

- "Magnetisierungsmessungen an zweidimensionalen Elektronengasen"
T.M. Hengstmann, I. Meinel, D. Grundler, Ch. Heyn und D. Heitmann
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 1998
- "Magnetization Phenomena in 2D-Electron-Systems"
I. Meinel, M.P. Schwarz, J. Troeder, T.M. Hengstmann, D. Grundler, Ch. Heyn and D. Heitmann
11. Internationale Winterschule des Fachausschusses Festkörperphysik der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft
in Mauterndorf, Österreich, Februar 2000
- "Magnetisierungsmessungen an eindomänigen ferromagnetischen Nanostrukturen"
N. Klockmann, T.M. Hengstmann, D. Grundler, Ch. Heyn und D. Heitmann
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 2000

- "Sub- μm Ferromagnet/Semiconductor Hybrid Structures"
D. Grundler, G. Meier, T.M. Hengstmann, N. Klockmann, K.-B. Broocks and D. Heitmann
BMBF-Statusseminar
in Dresden, Juni 2000

Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- Magnetisierungsmessungen an ferromagnetischen Mikrostrukturen,
GrK Workshop 2000 in Schwerin, Oktober 2000.