

Frank Wiekhorst

Darstellung der Forschungsaktivitäten

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Untersuchung der grundlegenden physikalischen Mechanismen, die das Ummagnetisierungsverhalten dünner Co-Filme und Co-Nanostrukturen bestimmen. Von besonderem Interesse ist dabei der Einfluß der intrinsischen und wachstumsbedingten Anisotropie, die mitbestimmend auf die Dynamik der Schaltprozesse wirkt und darüberhinaus Einfluß auf den Magnetowiderstand der Filme nimmt.

Dünne Co-Filme:

Charakterisierung von Struktur und magnetischen Eigenschaften

Mit dem Co steht eine mikroskopische Sonde für die magnetischen Resonanztechniken Kernspinresonanz (NMR) und eine im Rahmen dieser Arbeit aufgebaute Ferromagnetische Resonanz (FMR) zur Verfügung, um die strukturellen und magnetischen Eigenschaften der Filme und Mikrostrukturen studieren zu können. Die untersuchten 2 nm bis 200 nm dicken Co-Filme auf Si-Wafern wurden mittels Magnetron-Sputtering in Zusammenarbeit mit der Gruppe von Prof. Böni am PSI (Villigen, Schweiz) hergestellt. Zum Schutz gegen Oxidation wurden sie mit 10 nm Au bzw. 5 nm Al abgedeckt. Eine Charakterisierung der Struktur der Co-Filme mittels XRD (am PSI) und NMR (in Hamburg) ergaben eine reine hcp-Phase des Co. Aus den Hyperfeinfeldverteilungen am Co-Kern folgt ein hoher Anteil von Stapelfehlern, wie aufgrund der herstellungsbedingten Polykristallinität zu erwarten war (Abb. 1).

Die obere Korngrößengrenze von 20 nm folgte aus TEM-Messungen, die an den 20 nm und 200 nm dicken Filmen in der Gruppe von Prof. Anton durchgeführt wurden. AFM/MFM-Untersuchungen in Kooperation mit der Gruppe von Prof. Wiesendanger lieferten Informationen über die Domänenstruktur der Filmoberflächen.

Mit Hilfe des SQUID-Magnetometers der Gruppe wurden die magnetischen Eigenschaften wie Sättigungsmagnetisierung und statisches Hystereseverhalten bestimmt. Bei der differentiellen Analyse der Magnetisierungskurven werden zwei unterschiedliche Prozesse im Schalten sichtbar: Ein von der Feldrichtung in der Filmebene unabhängiger, d.h. isotroper Beitrag zum Schaltfeld wird auf einen schnellen Durchlauf von Domänenwänden zurückgeführt, die an Inhomogenitäten nukleiert werden. Ein schwächerer anisotroper Anteil kann nahezu quantitativ durch eine kohärente Drehung der Magnetisierung nach dem Stoner-Wohlfarth Modell beschrieben werden.

Für den Frequenzbereich 2-30 GHz wurde mit der Ferromagnetischen Resonanz über die Abhängigkeit der Resonanzfeldstärke H_{Res} der Co-Linie vom Winkel zwischen der Richtung des extern angelegten Magnetfeldes und der (100)-Richtung des Films die Richtung und Stärke der herstellungsbedingten uniaxialen Anisotropie sehr genau bestimmt. Werte für die Anisotropiefelder liegen zwischen 10 Oe und 60 Oe (Abb. 2).

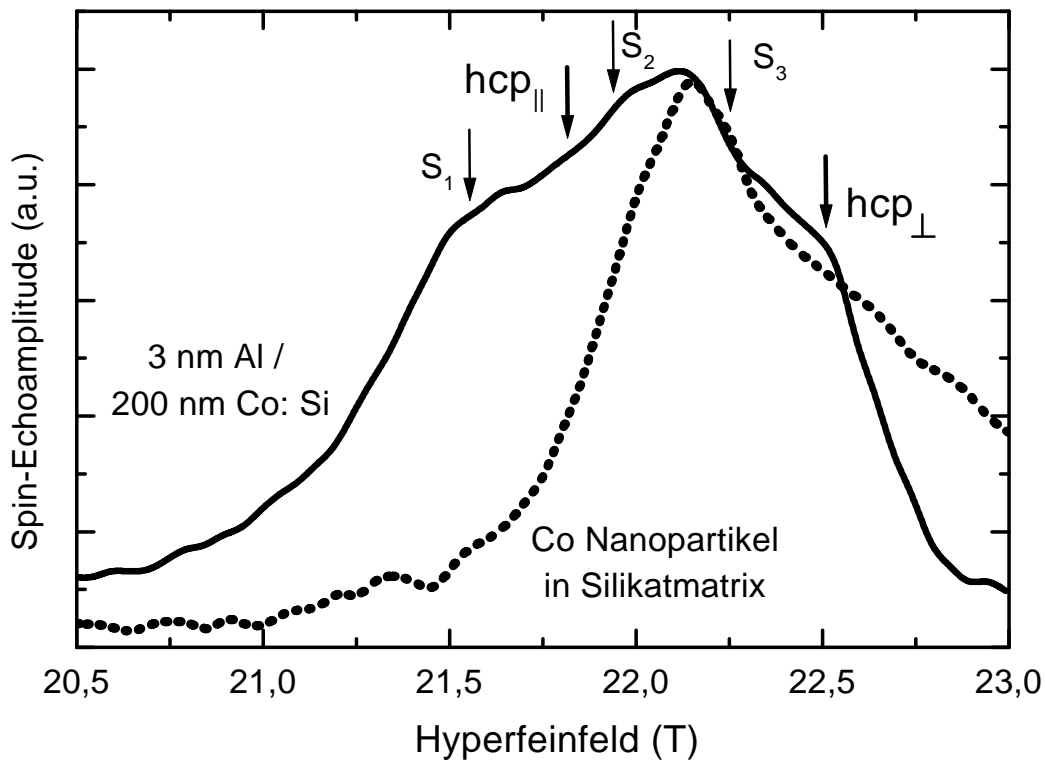


Abbildung 1: Normierte NMR-Hyperfeinfeldverteilung eines Co-Films ($d=200\text{ nm}$) und von Co Nanopartikeln bei einer Temperatur von 1.3 K , gemessen bei einer Frequenz von 190 MHz . Die Pfeile markieren die Hyperfeinfeldwerte für die hcp-Phase in bulk-Co und die Stapelfehler. Die größere Breite im Film-Spektrum wird hervorgerufen durch eine Verteilung der Kristallitgrößen und Orientierungen der (0001)-Achsen zur Filmoberfläche und der damit verbundenen Hyperfeinfeldanisotropie des hcp-Co. In den Nanopartikeln mit einem durchschnittlichen Durchmesser der Co-Partikel von 25 nm liegt eine homogenere Verteilung vor. Hier führen allerdings unterschiedliche Entmagnetisierungsfaktoren zu einer Verbreiterung der Linie.

Aus den FMR-Linienbreiten konnte die Relaxationsrate der Magnetisierung und damit die die Magnetisierungsdynamik in diesem Frequenzbereich beherrschende Größe ermittelt werden. Zwei Mechanismen bestimmen dabei die Linienbreite, die frequenzabhängige intrinsische Dämpfung der Magnetisierung (Gilbert Dämpfung) und die magnetischen Inhomogenitäten, die - unabhängig von der Frequenz - von Fehlstellen und Diskontinuitäten herrühren, somit also ein Maß für die Qualität der Filme sind. Hinzu kommt noch ein winkelabhängiger Anteil in der Linienbreite, der durch die vorliegende Anisotropie bestimmt wird.

Für den Bereich kleiner Frequenzen ($2 - 9\text{ GHz}$) konnte die Resonanz außerdem dazu benutzt werden, um die Ummagnetisierungsprozesse zu untersuchen. Ein Teil der so charakterisierten Filme wird in der Gruppe von Prof Heitmann durch Ionenstrahlätzen weitergehend strukturiert werden, um die daraus resultierenden Änderungen der physikalischen Eigenschaften wie Sättigungsmagnetisierung, Anisotropie und Schaltverhalten gezielt untersuchen zu können.

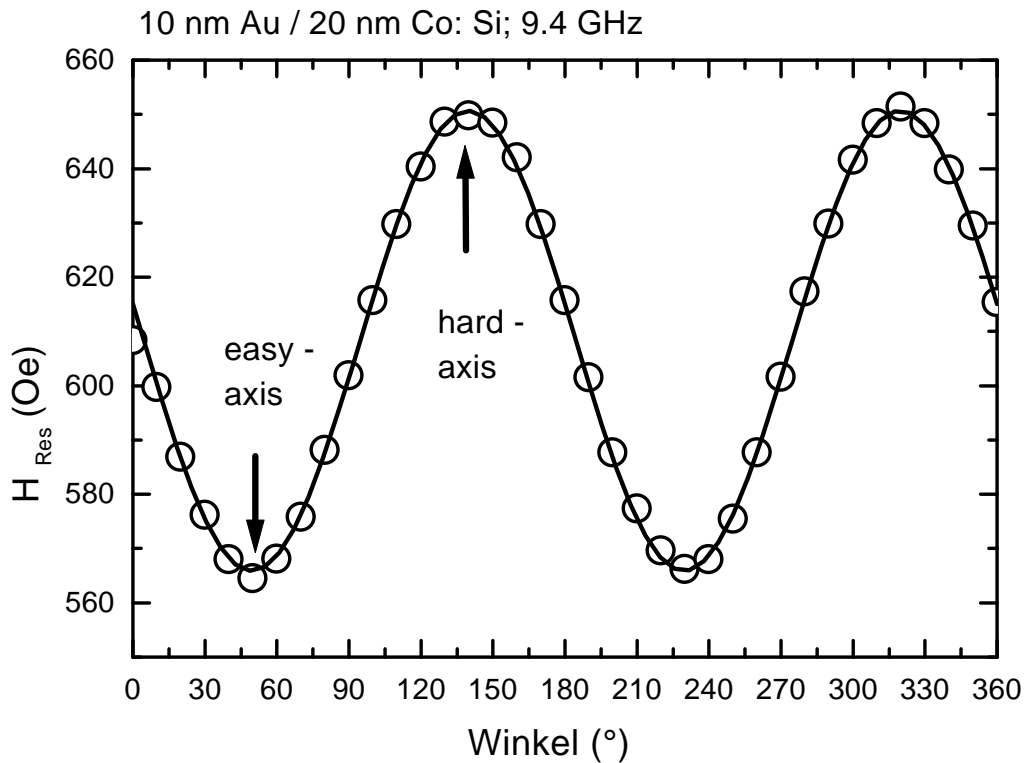


Abbildung 2: Messung der in-plane uniaxialen Anisotropie mittels der ferromagnetischen Resonanz bei 9.4 GHz für einen 20 nm dicken Co-Film mit Au-Abdeckung. Die leichte Achse liegt in dieser Probe bei 49.6° von der (100)-Kante des Wafers, die Stärke der Anisotropie beträgt 49.6 Oe. Die Sättigungsmagnetisierung ergibt sich zu 1.52 T.

Nanopartikel: Struktur und Magnetisierungsverhalten

Um die Beiträge der Magnetisierungsprozesse in den Co-Körnern zum Schaltverhalten abschätzen zu können, wurden Co-Nanopartikel ($d = 10$ bis 20 nm) - eingebettet in eine Silikatmatrix - untersucht. Diese Partikel werden im Lomonosov-Universität in Moskau hergestellt und gemeinsam mit der Forschungsgruppe von Prof. Chizhik aus St.Petersburg untersucht. Der Übergang zum Ferromagnetismus der Co-Partikel erfolgt in diesem System erst bei sehr niedrigen Temperaturen ($T_i < 20$ K), wie aus den NMR- und SQUID-Untersuchungen folgte. Es liegt eine reine hcp-Phase des Co vor. Die vergleichsweise große Anzahl von Si-Atomen in der nächsten Umgebung führt zu einer Erhöhung des Hyperfeinfeldes am Co-Kernort (Abb. 1). Das Schaltverhalten der Co-Partikel wird bestimmt von der kohärenten Rotation der Magnetisierung, da aufgrund des kleinen Partikeldurchmessers Domänenwände energetisch ungünstig sind.

Eine weitere Zusammenarbeit im Bereich Magnetismus von Nanostrukturen besteht mit der Gruppe von Prof. A. Reller der Physikalischen Chemie der Uni Hamburg. Dabei wurden die magnetischen Eigenschaften von Hämatit ausgekleideten Nanosilikatröhren untersucht. Bei diesen Materialien stand die Frage nach dem Einfluß der Nanostruktur auf die magnetischen Eigenschaften im Vordergrund, insbesondere die Reduzierung des Magnetismus auf immer kleinere Dimensionen.

Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs

Für AFM/MFM-Untersuchungen besteht eine Zusammenarbeit mit den Kollegiaten Michael Dreyer und Michael Kleiber aus der Gruppe von Prof. Wiesendanger.

Zur Strukturierung der Co-Filme gibt es eine enge Zusammenarbeit mit der Gruppe von Prof. Heitmann.

Die Raster-Elektronen-Mikroskopie Aufnahmen werden in der Gruppe von Prof. Anton durchgeführt.

Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] M. W. Pieper, F. Wiekhorst und T. Wolf: *Characterization of localized hole states in $Pr_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_{6+y}$ by nuclear magnetic resonance*, Physical Review B **62**, 1392 (2000).

Teilnahme an Tagungen

- „Characterization of the charges doped in antiferromagnetic $PrBa_2Cu_3O_{6+x}$ by NMR“
F. Wiekhorst, K. Nehrke und M.W. Pieper NMR-Workshop on Correlated Electron Systems
Mijoux, Frankreich, September 1998
Beitragsform: Poster

Tagungsbeiträge als Mitautor

- „Hyperfine fields and anisotropies in magnetic thin films“
M.W.Pieper und F. Wiekhorst
Specialized Colloque Ampere
EPR, NMR and NQR in Solid State Physics: Recent Trends
Dipartimento di Fisica, Pisa Italy, Juni 1999
Beitragsform: Vortrag
- „Magnetisches Schaltverhalten dünner Co-Filme: Isotrope und anisotrope Beiträge“
T. Rossmly, A. Braun, P.Böni, D. Görlitz, F. Wiekhorst und J. Kötzler
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 2000
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2000, S.607
Beitragsform: Poster
- „Hoher Magnetowiderstand nahe der Schaltfelder dünner Kobalt-Filme“
W.S. Gil, D. Görlitz, F. Wiekhorst und J. Kötzler
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 2000

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2000, S.632
Beitragsform: Vortrag

- „NMR in nanocomposites of cobalt particles in SiO₂ matrices“
F. Wiekhorst, J. Kötzler, V.V. Matveev, I.V. Pleshakov, V.I. Chizhik
Trends in Magnetism - EASTMAG-2001, Februar-März 2001
Beitragsform: Poster

Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- Charakterisierung von ultradünnen Kobaltfilmen und Dotarrays mittels Magnetisierung und NMR
„Ringvorlesung des Graduiertenkollegs“
Hamburg, Dezember 1997
- Hochtemperatur-Supraleitung:
Theoretische Konzepte und deren experimentelle Überprüfung
2. Workshop des Graduiertenkollegs
„Physik nanostrukturierter Festkörper“
in St. Peter Ording, Januar 1998
- Magnetic Resonance in ferromagnetic Co-nanostructures
3. Workshop des Graduiertenkollegs
„Physik nanostrukturierter Festkörper“
in Niederklövez, Mai 1999
- Magnetische Resonanz an dünnen Co-Filmen
„Ringvorlesung des Graduiertenkollegs“
Hamburg, Mai 2000