

Martina Meincken

Magnetische Eigenschaften von periodisch angeordneten Nanopartikeln aus Nickel

Diplomarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT

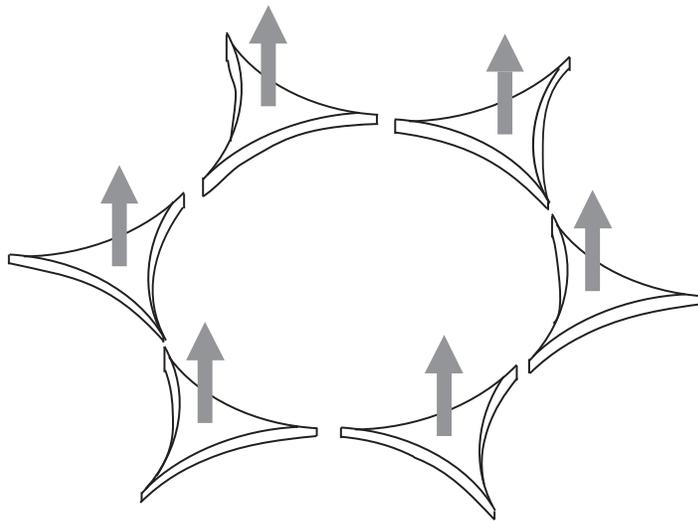


- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Magnetische Eigenschaften von periodisch angeordneten Nanopartikeln aus Nickel



Diplomarbeit

Fakultät für Physik
Arbeitsgruppe Prof. Dr. G. Schatz
Universität Konstanz

Martina Meincken

Januar 1998

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Theoretische Grundlagen | 5 |
| 2.1 | Magnetische Ordnungsstrukturen | 5 |
| 2.2 | Diamagnetismus | 6 |
| 2.2.1 | Langevin Diamagnetismus von Isolatoren | 6 |
| 2.2.2 | Landau Diamagnetismus von Metallen | 7 |
| 2.3 | Paramagnetismus | 7 |
| 2.3.1 | Langevin Paramagnetismus | 7 |
| 2.3.2 | Pauli Paramagnetismus | 8 |
| 2.4 | Ferromagnetismus | 9 |
| 2.4.1 | Domänenstruktur | 10 |
| 2.5 | Spingläser | 11 |
| 2.5.1 | Anisotropie-Energie | 12 |
| 2.6 | Superparamagnetismus | 14 |
| 2.6.1 | Néel's Theorie des Superparamagnetismus | 14 |
| 2.6.2 | Brown'sche Theorie des Superparamagnetismus | 15 |
| 2.6.3 | Blocking Temperatur | 16 |
| 2.7 | Wechselwirkung zwischen den Partikeln | 19 |
| 2.8 | Superantiferromagnetismus | 21 |
| 2.9 | Magnetowiderstand | 22 |
| 3 | Herstellung und Charakterisierung | 26 |
| 3.1 | Die Kolloidmasken | 26 |
| 3.1.1 | Freistehende Masken | 29 |
| 3.2 | Probenpräparation | 30 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.3 | Größe der erzeugten Strukturen | 31 |
| 3.4 | Berechnung der zu erwartenden Größen | 33 |
| 3.5 | Charakterisierung | 35 |
| 3.5.1 | Lichtmikroskop | 35 |
| 3.5.2 | Raster-Elektronenmikroskop | 35 |
| 3.5.3 | Tunnelmikroskop | 38 |
| 3.5.4 | Kraftmikroskope | 41 |
| 4 | Magnetisierungsmessungen | 46 |
| 4.1 | Aufbau und Funktion eines SQUIDs | 46 |
| 4.2 | Diskussion der Ergebnisse | 49 |
| 4.2.1 | Bestimmung einer Vorzugsrichtung | 49 |
| 4.2.2 | Magnetisierung im Nullfeld | 51 |
| 4.2.3 | Magnetisierung im Feld | 55 |
| 5 | Magnetowiderstandsmessungen | 62 |
| 5.1 | Der Tieftemperatur-Meßstand | 62 |
| 5.2 | Diskussion der Ergebnisse | 63 |
| 5.2.1 | Magnetowiderstand bei Raumtemperatur | 63 |
| 5.2.2 | Magnetowiderstand bei tiefen Temperaturen | 66 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 68 |
| 7 | Anhang | 71 |

Kapitel 1

Einleitung

Magnetismus ist eine Eigenschaft, die jedem von uns aus dem täglichen Leben vertraut ist. Eine Vielzahl technischer Anwendungen und Geräte beruhen auf den magnetischen Eigenschaften der benutzten Materialien. Die Bandbreite reicht von der Kompaßnadel bis hin zu modernen Datenspeichermedien.

Die magnetischen Eigenschaften von Festkörpern sind heutzutage zu einem großen Teil untersucht und verstanden. Geht man jedoch zu mesoskopischen Systemen über, so unterscheiden sich die Eigenschaften unter Umständen deutlich von denen des ausgedehnten Festkörpers. Je mehr die Dimensionen oder die Geometrie eingeschränkt werden, desto mehr weicht das Verhalten ab, da Oberflächen- und Randeﬀekte dominierend werden.

Dünne magnetische Filme mit einer Dicke von wenigen Monolagen, bzw. Schichtsysteme, die abwechselnd aus magnetischen und unmagnetischen Materialien bestehen, wurden bereits hinreichend untersucht. An diesen Multischichten fand man z.B. eine sehr starke Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom angelegten Magnetfeld, den sogenannten *Giant Magnetoresistance* (GMR), der auf der Kopplung der magnetischen Schichten durch die unmagnetischen hindurch beruht.

Auch Partikel mit einem Durchmesser von wenigen nm sind das Thema vieler Veröffentlichungen, da ihre Eigenschaften aufgrund der reduzierten Größe sehr interessant sind.

Zum Beispiel verhalten sich ferromagnetische Partikel in der Größenordnung < 50 nm bei einer gewissen Temperatur T_B plötzlich paramagnetisch, allerdings sind die Spins der einzelnen Atome immer noch korreliert, das magnetische Moment des ganzen Partikels beginnt zu ﬂuktuieren. Man nennt diesen

Effekt *Superparamagnetismus*, der Übergang hängt lediglich von der Größe der Partikel und ihrer Wechselwirkung untereinander ab.

Dieser Effekt wurde bisher nur an magnetischen Partikeln in einer unmagnetischen Matrix (granulare Systeme), bzw. Suspensionen untersucht. Beides sind ungeordnete Systeme mit statistisch verteilten Anisotropie-Achsen, so daß für den Abstand, die Wechselwirkung etc. mit Mittelwerten gerechnet wird.

Wenn man jedoch zu *periodisch angeordneten* Nanopartikeln übergeht, kann man ein verändertes Verhalten erwarten, da die regelmäßige Anordnung zu Kohärenzeffekten führen kann. Sind die Teilchen regelmäßig und vor allem unbeweglich angeordnet, so ist der Abstand der Partikel genau definiert und ändert sich nicht mit der Zeit; jede Mittelung fällt hier weg. Auch die Wechselwirkung der Partikel untereinander kann man berechnen und auf Mittelungen verzichten.

Außerdem kann es in einem solchen System Vorzugsrichtungen geben, die das Verhalten beeinflussen. Dieser Effekt kann in einer Suspension mit statistisch verteilten Partikeln nicht auftreten.

Auch ein verändertes Verhalten des elektrischen Widerstands in Abhängigkeit des angelegten Magnetfelds ist denkbar, da der GMR-Effekt auch bei granularen Systemen auftritt.

In dieser Arbeit werden die Eigenschaften periodisch angeordneter magnetischer Nanopartikel aus Nickel untersucht. Es sollte festgestellt werden, ob diese Systeme ebenfalls einen Übergang vom geblockten zum superparamagnetischen Zustand zeigen, oder ob sie z.B. Spingläser bilden.

Die Partikel wurden mit Hilfe von Kolloidmasken hergestellt, was zu einer sehr periodischen Anordnung mit hexagonaler Symmetrie führt. Die Teilchen haben in etwa die Form von "Dreiecken", was eine große Form-Anisotropie zur Folge hat und somit ebenfalls das magnetische Verhalten beeinflusst.

Kapitel 2

Theoretische Grundlagen

2.1 Magnetische Ordnungsstrukturen

In den folgenden Kapiteln soll eine kurze Einführung in den Magnetismus gegeben werden, ausführlichere Darstellungen findet man z.B. in [1]-[3].

Zur Charakterisierung magnetischer Stoffe, sind folgende Größen erforderlich:

- Das magnetische Moment \vec{m} , das durch Spin und Bahnbewegung der Elektronen, bzw. Kerne bewirkt wird. Anschaulich ist das magnetische Moment ein Maß für die Kraft, mit der ein Dipol im Magnetfeld gedreht wird, um sich in dessen Richtung auszurichten.

Das magnetische Moment gibt man gewöhnlich in Einheiten von μ_B (s.u.) an; für ein freies Atom beträgt es: $\langle \vec{m} \rangle = g\mu_B \sqrt{J(J+1)}$. Hierbei ist J die Gesamtdrehimpulsquantenzahl.

Das magnetische Moment des Kerns ist um 3 Größenordnungen kleiner und wird deshalb in allen folgenden Betrachtungen vernachlässigt.

- Die Magnetisierung \vec{M} ist die Anzahl der Gitteratome n pro Volumen multipliziert mit ihrem magnetischen Moment \vec{m} : $\vec{M} = n \cdot \vec{m}$.

Die Einheit ist, wie auch für das Magnetfeld \vec{H} [A/m] oder Oersted [Oe]. $1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe}$.

- Die Suszeptibilität χ , die den Zusammenhang zwischen der Magnetisierung \vec{M} eines Systems und dem angelegtem Magnetfeld \vec{H} angibt:
$$\chi = \frac{M}{H}$$