

# Kapitel 1

## Einleitung

Der Ferromagnetismus ist mit der spontanen Ordnung der elementaren magnetischen Momente über makroskopische Ausmaße ein faszinierendes Phänomen der Natur, das sich besonders nach der Entwicklung und Anwendung der magnetischen Schichtsysteme der Mensch zu Nutze gemacht hat. So bedeutende Anwendungen, wie die Speicherung von Daten und die Magnetoelektronik, die zur Entwicklung nichtflüchtiger Speicherbausteine (MRAM) führt, basieren auf Magnetismus. Zur Entwicklung, Miniaturisierung und Erhöhung der Speicherdichte von magnetischen Speichermedien ist die Erzeugung sehr kleiner magnetischer Strukturen auf Nanometerskala und deren Verständnis von zentraler Bedeutung. Um dies zu erreichen, ist der Übergang vom Film zum Cluster auf Nanometerskala eine beachtenswerte Möglichkeit.

In den letzten Jahren wurden die kleinen Metallteilchen auf Unterlagen intensiv untersucht. Dies wurde angeregt durch das große Interesse an den katalytischen Prozessen, in denen die Metalle eine zentrale Rolle als Reaktionszentren spielen. Während die elektronische und geometrische Struktur von vielen Metall/Substrat-Systemen untersucht wurde, gibt es eine Informationslücke über den Magnetismus der Metallteilchen auf einem Substrat. Hier kann der Magnetismus als eine empfindliche Sonde zu der geometrischen Struktur benutzt werden. Aus diesem Grund ist die Korrelation zwischen dem Magnetismus und der Struktur bzw. Morphologie der Teilchen eine der zentralen Fragestellungen dieser Arbeit. Diese Zusammenhänge werden für die ferromagnetischen großen Cluster bis hin zu kleinen Clustern diskutiert. Ein weiterer Aspekt ist die Wechselwirkung der Teilchen mit dem Substrat. Die Wechselwirkung mit dem Substrat beeinflusst die Nukleation und das Wachstum der deponierten Metalle, welche die magnetischen Eigenschaften eines Ensembles der Teilchen beeinflussen. Diese Wechselwirkung wird anhand von wohl-charakterisierten Substraten untersucht.

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit besteht in der Untersuchung der metallischen kleinen Teilchen. Dazu soll ein tieferes Verständnis über die magnetischen Phänomene gewonnen werden, da die Beschränkung der räumlichen Ausdehnung die magnetischen Eigenschaften beeinflusst. Atomare Cluster stellen das Bindeglied zwischen Atomen und dem Festkörper dar. Vom Festkörper unterscheiden sie sich vor allem durch ihre reduzierte Größe. Deshalb wurden hier besonders kleine Partikel als Träger des Magnetismus untersucht. Sie unterscheiden sich abhängig von ihrer Größe in diversen Eigenschaften von denen eines Festkörpers. Bei hinreichend kleinen Teilchen kann die thermische Anregung zu Fluktuationen des magnetischen Moments der Partikel führen, die man allgemein als Superparamagnetismus bezeichnet. Da die Anisotropiebarrieren proportional zum Volumen der Teilchen sind, muß die Partikelgröße bei der Analyse der magnetischen Messungen berücksichtigt werden.

Um die Oxidation und chemische Verunreinigung der Deponate zu vermeiden, wurden die Präparation und die Charakterisierung der Proben sowie magnetische Messungen im Ultrahochvakuum durchgeführt. Zur Untersuchung der magnetischen Eigenschaften wurde ferromagnetische Resonanz (FMR) angewendet. Dies ist eine seit langem etablierte, klassische Meßmethode, die sehr empfindlich (weniger als  $10^{13}$  Spin) und deshalb für die Anforderungen im Dünnschichtbereich und für Cluster besonders geeignet ist. Die Richtung, der relative Betrag und die Dynamik der Magnetisierung können mittels FMR gemessen werden. FMR ist eine der besten experimentellen Techniken zur Untersuchung der magnetischen Anisotropien. Die durch die magnetische Anisotropie verursachte Verschiebung des Resonanzfeldes kann in einem Bereich von wenigen Gauß gemessen werden, so daß eine Bestimmung der magnetischen Anisotropie in der Größenordnung von  $0.1 \mu\text{eV}$  möglich ist. Um den Zusammenhang zwischen magnetischen und morphologischen Eigenschaften der kleinen Cluster zu untersuchen, soll man neben den FMR-Messungen die kleinen Cluster auch morphologisch charakterisieren. Dazu ist *Atomic Force Microscopy* (AFM) eine geeignete Methode, um die Cluster von der Größe weniger nm auf ein elektronisch nicht leitendes Substrat wie Saphir zu untersuchen. Die Proben für AFM-Messungen wurden in einer Kammer unter gleichen Bedingungen wie für FMR-Messungen präpariert, um die Daten direkt vergleichen zu können. Zur morphologischen Charakterisierung der großen Cluster wurde *Scanning Electron Microscopy* (SEM) eingesetzt. Hierbei wurde die Probe unter UHV-Bedingungen präpariert und *ex situ* gemessen.

Das Saphir-Substrat wurde aus zwei Gründen gewählt: Da die elektronische Wechselwirkung eines Metalls auf einem Isolator-Substrat sich von der Wechselwirkung eines Metalls auf einem Metall-Substrat unterscheidet, wurde hier Saphir als Isolator-Substrat eingesetzt.

Zweitens ist die Struktur des Saphir-Einkristalls bekannt, da eine wohl-charakterisierte Oberfläche zur Untersuchung notwendig ist. Als magnetische Modellsysteme werden hier Ni und Fe auf dem Saphir-Einkristall deponiert und untersucht.

Ausgehend von der obigen Diskussion lassen sich die Hauptfragestellungen formulieren, die in dieser Arbeit ausführlich diskutiert werden sollen:

- Verständnis des Übergangs vom magnetischen Film zu den ferromagnetischen Clustern bis hin zu den superparamagnetischen kleinen Clustern.
- Verständnis der Korrelation des Magnetismus von großen und kleinen Clustern mit der Morphologie und Struktur.
- Einfluß des Substrats auf magnetische Eigenschaften der Cluster.

