

Einleitung

Zu den wichtigsten Errungenschaften in der modernen Wissenschaft gehört die Entwicklung hochspezialisierter magnetischer Materialien, die in unterschiedlichster Form in ganz verschiedenen Bereichen Anwendung finden. Seien es starke Permanentmagnete wie NdFeB und SmCo, die grundlegende Elemente in Elektromotoren, Lautsprechern, Lagerungen und natürlich in der magnetischen Datenspeicherung darstellen oder magnetische Nanopartikel und Suspensionen wie z.B. Ferrofluide, welche in der Medizin zur Detektion und Behandlung von Tumoren erfolgreich eingesetzt werden. Ein neuer Anwendungsbereich, der zunehmend an Bedeutung gewinnt sind so genannte Mikrosysteme (MEMS, „*microelectromechanical systems*“). Hierbei handelt es sich um miniaturisierte Einheiten wie Sensoren und Aktoren, die sich auf einem Chip oder Substrat befinden und spezifische Funktionen erfüllen. Mit der zunehmenden Verkleinerung solcher Systeme müssen Magnete entwickelt werden, die auch bei geringsten Abmessungen definierte Eigenschaften besitzen. Je nach Anwendungsbereich werden hohe Remanenzen, Sättigungen oder große Koerzitivfelder benötigt. Daneben spielen auch Langlebigkeit und die Erhaltung der magnetischen Eigenschaften bei einer hohen Anzahl von Ummagnetisierungsvorgängen eine wichtige Rolle. Für Anwendungen, die kurze Schaltzeiten erfordern, wie z.B. magnetische Datenspeicher sind weiterhin die magnetodynamischen Eigenschaften der Materialien von großer Relevanz.

Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit mit der gezielten Herstellung miniaturisierter magnetischer Systeme und der Charakterisierung ihrer magnetischen und mikrostrukturellen Eigenschaften sowohl auf langen (quasistatischen) als auch auf ultrakurzen Zeitskalen. Die hierbei entwickelten Konzepte und Kenntnisse können zukünftig in der Entwicklung und Verbesserung neuer magnetischer Materialien Anwendung finden.

Zunächst wird eine Einführung in die theoretischen (Kap. 1) und experimentellen (Kap. 2) Grundlagen des Verhaltens magnetischer Materialien gegeben. Für die Untersuchungen von Magnetisierungsprozessen auf langen (statischen) Zeitskalen wurde die Verbindung NdFeB gewählt. Diese besitzt das bisher höchste Energieprodukt aller bekannten magnetischen Verbindungen und wird bereits seit einiger Zeit in Bulk Form [1-13] und Dünnschichtform [14-25] mit Schichtdicken im Bereich einiger hundert Nanometer experimentell untersucht. Allerdings wurden bisher nur sehr wenige Bemühungen auf die Herstellung und Charakterisierung ultradünner Schichten mit nur wenigen Nanometern Dicke verwendet [24, 26-29]. Diese Lücke wird im ersten Teil der vorliegenden Arbeit geschlossen. Hier werden zunächst dünne und ultradünne NdFeB Einzelschichten hergestellt und auf ihre strukturellen und magnetischen Eigenschaften hin untersucht. Dabei werden insbesondere Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur und den magnetischen Eigenschaften in Abhängigkeit von Schichtdicke und Herstellungsmethode herausgearbeitet (Kap. 3).

Für spätere Anwendungen müssen die magnetischen Eigenschaften gezielt verändert werden können. Dies wird durch das Ankoppeln einer weichmagnetischen Fe Schicht an das hartmagnetische NdFeB praktiziert (Kap. 0). Das Hauptaugenmerk bei den Experimenten an diesen Doppelschichten liegt auf dem Kopplungsverhalten der beiden Schichten und Änderungen hierin, die aus unterschiedlichen Fe Dicken resultieren. Bisherige Forschungen in diesem Bereich stützen sich auf Untersuchungen an Legierungen mit erhöhtem weichmagnetischen Anteil oder Multilayern, die zumeist noch einen Anlassprozess durchliefen, so dass keine strikte Phasentrennung mehr vorlag [30-39]. Dies erschwert eine exakte Analyse der magnetischen Kopplung oder macht sie sogar unmöglich.

Zum Abschluss der statischen Experimente werden schließlich zum ersten Mal Strukturen aus NdFeB mit Abmessungen im sub- μm Bereich hergestellt und magnetisch charakterisiert (Kap. 5). Solchen Nanomagneten kommt eine besondere Bedeutung zu, da ihre Herstellung und das Maßschneidern ihrer strukturellen und magnetischen Eigenschaften wesentliche Schritte für die Anwendung in den oben

erwähnten Mikrosystemen darstellen. Die Ergebnisse werden dann in Kap. 6 diskutiert.

Im zweiten Teil der Arbeit wird das dynamische Verhalten ferromagnetischer Nanostrukturen auf sub-ns Zeitskala untersucht (Kap. 7/8). Als Grundlage für bisherige Untersuchungen des magnetodynamischen Verhaltens ferromagnetischer Strukturen wurden stets weichmagnetische Materialien verwendet, entweder aus Permalloy [40-43] oder weichmagnetischer Co und CoFe Phasen [44-46]. Die Anregung solcher Strukturen erfordert nur kleine magnetische Felder und zumeist steht das Verhalten eines magnetischen Vortextkerns im Zentrum der Betrachtungen. Gerade für den Bereich der magnetischen Datenspeicherung ist jedoch das dynamische Verhalten magnetisch härterer Materialien von Interesse. Da die Schaltfelder der härtesten magnetischen Materialien wie NdFeB in dynamischen Untersuchungen nicht realisiert werden können, benötigt man für erste Untersuchungen ein Material, welches Koerzitivfelder zwischen weichmagnetischen und solchen hartmagnetischen Verbindungen besitzt. Ein solches stellt z.B. Co in der hcp-Phase dar. Daher wird hier zunächst ein Verfahren entwickelt, welches die Herstellung ein- und mehrdomäniger Co Nanostrukturen auf und unter Cu Mikrostreifenleitern (zur Felderzeugung) erlaubt. Zur Untersuchung der Magnetisierungsdynamik in diesen Strukturen werden dann Experimente an Synchrotrons durchgeführt (Kap. 7).