

7 Zusammenfassung

Mit Blick auf die Anwendung dünner Schichten mit magnetoresistiven Eigenschaften in der Sensortechnik wurden für die vorliegende Arbeit zwei Modellsysteme ausgewählt, deren Untersuchung sowohl neue Einblicke in die komplexen Mikrostruktur–Eigenschaftsbeziehungen, als auch in den Wachstumsmechanismus von granularen dünnen Schichten erwarten ließen. Ziel der vorliegenden Arbeit war demnach die Herstellung und Charakterisierung von reinen, als auch von mit Aluminium dotierten Kobalt-Silber-Dünnschichten.

Die Präparation der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Modellsysteme $\text{Co}_{25}\text{Ag}_{75}$ und $(\text{Co}_{90}\text{Al}_{10})_x\text{Ag}_{1-x}$ ($x = 19 - 50$) erfolgte über das Magnetron-Sputter-Verfahren im Ultrahochvakuum (Kapitel 4.1 – 4.3).

Das vordergründige Interesse an den präparierten Proben war zunächst auf die Charakterisierung der magnetoresistiven und magnetischen Eigenschaften der Schichten gerichtet. Diese Größen wurden durch entsprechende Messungen der Magnetisierung (Kapitel 4.8) und des Magnetowiderstands ermittelt (Kapitel 4.4). Um die makroskopischen Eigenschaften der Schichten mit ihrem strukturellen Aufbau in Korrelation setzen zu können, wurden die Proben mit einer Reihe unterschiedlichster analytischer Verfahren untersucht. So wurde die Methode der Röntgenreflektometrie zur Bestimmung der Schichtdicken, deren Dichte und ihrer Grenzflächenrauigkeiten eingesetzt (Kapitel 3.1). Die Aufnahme des Phasenbestands in den Schichten erfolgte sowohl über Röntgenbeugung unter streifendem Einfall (Kapitel 3.2), als auch durch Feinbereichselektronenbeugung (Kapitel 3.4). Für die Ermittlung der Größe und Verteilung der magnetischen Kobalt-Teilchen in den Schichten wurden neben den Magnetisierungsmessungen vor allem die Verfahren der elektronenmikroskopischen Dunkelfeldabbildung (Kapitel 3.3) und der elementspezifischen Abbildung eingesetzt (Kapitel 3.5). Ergänzend hierzu wurde die atomistische Struktur einzelner Schichten mittels elektronenmikroskopischer Hochauflösung untersucht (Kapitel 3.3). Über die mit den vorstehend genannten Methoden erhaltenen Ergebnisse wird im folgenden zusammenfassend berichtet.

7.1. Ergebnisse im System $\text{Co}_{25}\text{Ag}_{75}$

Obwohl das Dünnschichtsystem Kobalt–Silber, insbesondere bei der Zusammensetzung $\text{Co}_{25}\text{Ag}_{75}$ mit dem größten GMR-Effekt, von anderen Autoren bereits intensiv untersucht wurde (siehe Literaturübersicht in Kapitel 5.1), waren hierfür noch keine systematischen Untersuchungen bekannt, welche sich intensiv mit dem Wachstumsprozeß dieser Schichten und der Größe des GMR-Effektes in Abhängigkeit von der Schichtdicke befaßt haben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde für das binäre System $\text{Co}_{25}\text{Ag}_{75}$ erstmals die theoretisch vorausgesagte – aber bisher nur bei Einkomponentensystemen beobachtete – Änderung der Oberflächenrauigkeit als Funktion der Schichtdicke nachgewiesen (Kapitel 5.4, 5.4.2). Ferner konnte gezeigt werden, dass die Größe des beobachteten GMR-Effektes, sowohl durch die Phasentrennung zwischen (magnetischem) Kobalt und (nichtmagnetischem) Silber, als auch durch die Dicke der Schicht beeinflusst wird (Kapitel 5.2. – 5.3.1). Interessante Einblicke in das Wachstumsverhalten von dünnen Schichten ergab auch die elektronenmikroskopische Untersuchung an diesen Schichten (Kapitel 5.3.2). Hiermit konnte sowohl die Natur, als auch die Verteilung der Elemente in der Schicht studiert werden. Neben der Bestätigung des bisher angenommenen kolumnaren Wachstums der Silbermatrix konnte durch Analyse von Hochauflösungsaufnahmen erstmals zweifelsfrei belegt werden, dass die magnetische Spezies in den präparierten Schichten in ihrer hexagonalen und nicht in ihrer kubischen Modifikation vorliegt (Kapitel 5.3.3).

7.1. Ergebnisse im System $(\text{Co}_{90}\text{Al}_{10})_x\text{Ag}_{1-x}$ ($x = 19 - 50$)

Da der Einfluß geringer Mengen Fremdstoffe auf die GMR-Eigenschaften bisher nur unzureichend untersucht war, wurden Kobalt–Silber–Dünnschichten mit variablem Aluminiumanteil hergestellt. Der an den Schichten gemessene GMR-Effekt ist dabei in Schichten mit der Zusammensetzung $(\text{Co}_{90}\text{Al}_{10})_{28}\text{Ag}_{72}$ am größten (5,7 %, Kapitel 6.2). Dieser ist gegenüber dem bei der binären Schicht $\text{Co}_{25}\text{Ag}_{75}$ gemessenen Effekt (13,9 %) deutlich abgeschwächt. Die Größen der Kobalt–Teilchen in der untersuchten $(\text{Co}_{90}\text{Al}_{10})_{28}\text{Ag}_{72}$ -Schicht liegen dabei in ähnlicher Größenordnung wie in der $\text{Co}_{25}\text{Ag}_{75}$ -Schicht. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Dotierung mit Aluminium keinen Einfluß auf die Größe der Kobalt–Teilchen hat. Weiterhin wurde gefunden, dass die bei den undotierten Proben störend auftretende Kornvergrößerung an der Oberfläche durch die Dotierung fast gänzlich unterdrückt wird (Kapitel 6.5.2).

Neben dem Einfluß der Aluminiumkonzentrationen auf die GMR-Eigenschaften der hergestellten Schichten wurde auch der Einfluß der Temperatur untersucht. Hierzu wurden die Proben bei unterschiedlichen Temperaturen (bis maximal 823 K) getempert und anschließend untersucht. Als wesentliches Ergebnis dieser Reihenuntersuchung konnte gefunden werden, dass der GMR-Effekt (im Gegensatz zu der binären Probe) im wesentlichen von der Temperatur unabhängig ist (Kapitel 6.3). Dieses ist eine weitere positive Eigenschaft dieser Schicht, insbesondere für die eingangs bereits erwähnte Anwendung in Sensoren bei erhöhten Betriebstemperaturen. Als positiv für eine potentielle Anwendung konnte auch die Abnahme des Ummagnetisierungsfeldes (geringeres MR-Sättigungsfeld) in den getemperten Proben vermerkt werden (Kapitel 6.3).

In den getemperten Schichten fand, wie erwartet, eine Vergrößerung der magnetischen Kobalt-Teilchen statt. Parallel hierzu wird eine Vereinheitlichung in der Struktur der Schicht beobachtet, welche zu einer Zerstörung der kolumnaren Wachstumszonen führt (Kapitel 6.5.2 – 6.5.2.1). Durch Elektronenbeugungsaufnahmen an den Schichten konnte festgestellt werden, dass bei höheren Temperaturen (bis 823 K) neben einem Gemisch aus hexagonalem und kubischem Kobalt die Phase Ag_3Al vorliegt (Kapitel 6.5.2.1). Nach den vorliegenden Erkenntnissen wirkt sich die Anwesenheit dieser Phase jedoch nicht nachteilig auf die Eigenschaften der Schicht aus.

Die Untersuchung der im Rahmen der vorliegenden Arbeit behandelten Modellsysteme liefert neue Erkenntnisse auf die komplexen Zusammenhänge zwischen Wachstumsmechanismus, Mikrostruktur und Magnetowiderstand in granularen Schichten. Insbesondere die für ein Zweikomponentensystem erstmals nachgewiesene und quantitativ bestimmte Änderung der Oberflächenbeschaffenheit mit der Schichtdicke stellt eines der herausragenden Ergebnisse dieser Arbeit dar. Ebenso konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstmals eindeutige Belege für die atomare Struktur der magnetischen Ausscheidungen erbracht werden. Obwohl der GMR-Effekt deutlich geringer ist als im binären Co–Ag–System, konnte mit der Herstellung der Co–Al–Ag–Schichten ein neues granulares Schichtsystem bearbeitet werden. In diesem neuen System konnte ein GMR-Effekt nahezu unabhängig von der Anlasstemperatur erreicht werden. Parallel dazu wurde festgestellt, dass die Zerstörung der kolumnaren Wachstumszonen beim Tempern geringere Ummagnetisierungsfelder (250 mT) in Co–Al–Ag–Schichten bewirkt. Für eine Anwendung, z.B. in Festplattenleseköpfen, sind jedoch kleinere Ummagnetisierungsfelder (10 mT <)

erforderlich. In weiteren Untersuchungen kann das anfängliche kolumnare Wachstum durch Einbringen einer dünnen Schicht zwischen granularen Einzelschichten vermieden werden. Somit ist eine zusätzliche Verringerung der Ummagnetisierungsfelder in dem Co–Al–Ag–System zu erwarten. Auch in diesem Vorschlag ist der Einfluss der Anlasstemperatur auf den GMR-Effekt aufgrund der in technischer Anwendung geforderten Temperaturstabilität weiter zu verfolgen. Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass auch in weiteren Untersuchungen die Charakterisierung des Wachstumsverhalten bzw. der Mikrostruktur eine entscheidende Rolle zum Verständnis des Mikrostruktur-Eigenschaft-Zusammenhanges und zum Erreichen der gewünschten Schichteigenschaften spielen wird. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten, strukturellen Charakterisierungsmethoden erwiesen sich zu diesem Zweck als sehr gut geeignet.