

Thomas Nentwig

Herstellung und Charakterisierung
magnetischer Sensoren basierend auf
nanokristallinen und amorphen
weichmagnetischen Legierungen

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





Heinrich Heine Universität Düsseldorf
Institut für Angewandte Physik

**Herstellung und Charakterisierung
magnetischer Sensoren basierend auf
nanokristallinen und amorphen
weichmagnetischen Legierungen**

Diplomarbeit
von
Thomas Nentwig

Düsseldorf, 18.09.2007

**Herstellung und Charakterisierung
magnetischer Sensoren basierend auf
nanokristallinen und amorphen
weichmagnetischen Legierungen**

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom Physiker

verfasst und vorgelegt von

Thomas Nentwig

geboren am 08.10.1982 in Köln

Betreuer: Univ. Prof. Dr. E. Kisker

Zweitgutachter: Univ. Prof. Dr. M. Getzlaff

Danksagung

Ich möchte mich bei Herrn Professor Kisker für die Betreuung meiner Diplomarbeit und die freundliche Aufnahme in seinem Institut bedanken. Durch seine Ratschläge und hilfreichen Tipps während der Arbeit hat er entscheidend zum Gelingen beigetragen.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Herrn Professor Getzlaff für die Betreuung als Zweitgutachter.

Als nächstes möchte ich Herrn Dr. Muñoz für die zahlreichen Diskussionen und Tipps bezüglich der Elektrolyse danken. Auch bei chemischen Fragen hatte er immer ein offenes Ohr.

Außerdem möchte ich mich bei Uli Rosowski für die Programmierung der Messprogramme und die vielen Tipps bezüglich des richtigen Messens und Verschaltens bedanken. Auch auf dem Gebiet der Elektronik hat er mir während der Arbeit viele nützliche Dinge gezeigt und erklärt.

Ein weiterer Dank geht an Stefan Manderla und Claudius Moerle aus der Werkstatt, die es auch ohne technische Zeichnung immer wieder auf wundersame Weise geschafft haben die richtigen Teile für meine Messungen herzustellen und zu optimieren.

Des weiteren bedanke ich mich bei Wilfried Schützek für die Herstellung von Platinen und Netzteilen.

Mein Dank geht an Christian Schiefer für zahlreiche GMI-Messungen. Auch hat er mit Süßigkeiten und seiner Idee für ein alternatives Mittagessen zur Mensa erheblich für gute Arbeitslaune gesorgt.

Ich möchte mich bei Susanne Zeller vom MPI für die REM Aufnahmen und die EDX-Analysen der Drähte bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinem Kommilitonen Wai-Yip Man für die gute Zusammenarbeit und die immer wieder aufschlussreichen Gespräche bedanken. Das gilt nicht nur für die Diplomarbeitszeit sondern auch schon für die Zusammenarbeit während dem FP und die gemeinsamen Lernsessions für die Diplomprüfungen.

Ein weiterer Dank geht an meinen Physiklehrer Stefan Thul, ohne den ich nie dazu gekommen wäre Physik überhaupt zu studieren.

Als letztes möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die durch ihre verschiedenen Unterstützungen das Studium und damit diese Arbeit überhaupt erst ermöglicht haben. Besonders danke ich meinem Vater für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Kurzfassung

Als erstes wird die Herstellung und Charakterisierung mit einer ferromagnetischen Legierungsschicht aus Nickel, Eisen und Molybdän überzogener Kupferdrähte beschrieben. Es wird gezeigt, wie sich Parameteränderungen während des Herstellungsprozesses auf den GMI-Effekt (Giant Magnetic Impedance) auswirken. Die Variation der Molybdänkonzentration hat großen Einfluss auf die Oberflächenbeschaffenheit und den GMI-Effekt und während der Beschichtung extern angelegte Magnetfelder beeinflussen ebenfalls den GMI-Effekt, insbesondere die Symmetrie der gemessenen GMI-Kurve bezüglich des angelegten Magnetfeldes. Als nächstes wird gezeigt, dass der Matteucci-Effekt von dH/dt abhängt und nicht von einem möglichst großen Feld H . Auch entsteht der Matteucci-Peak immer beim selben Magnetfeld für verschiedene dH/dt . Ein weiterer Schwerpunkt ist die Untersuchung des GMI-Effekts bei mechanischer Beeinflussung des Drahtes. Es wird ersichtlich, dass eine Zugbelastung eine irreversible Verringerung des GMI-Effekts zur Folge hat. Eine Torsionsbelastung ist dagegen, wenn sie nicht zu groß ist, teilweise reversibel. Außerdem werden Matteucci-, Wiegand- und GMI-Effekt untereinander verglichen. Die absolut gemessenen Werte zeigen dabei keinerlei Korrelationen. Vergleicht man die Effekte jedoch im Verlauf des externen Magnetfeldes so existieren Korrelationen bezüglich der Orte von Maxima und Minima der unterschiedlichen Effekte. Im letzten Teil wird gezeigt, dass der Wiegand-Effekt der beschichteten Kupferdrähte die Größenordnung von industriell gefertigten Drähten erreicht.

Im zweiten Teil wird die Konstruktion und Vermessung eines Torsionssensors beschrieben. Als Material kommt dabei ein amorpher ferromagnetischer Metallstreifen zum Einsatz. Zunächst wird gezeigt, dass mit solchen Metallstreifen prinzipiell Torsionsmessungen möglich sind. Danach wird der optimale Messbereich des Sensors mit der größten Empfindlichkeit bestimmt. Schließlich werden Untersuchungen bezüglich des Hystereseverhaltens gemacht.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	X
1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
2.1. Magnetismus	3
2.1.1. Grundbegriffe, Einheiten und Definitionen	3
2.1.2. Atomarer Magnetismus	5
2.1.3. Makroskopische Klassifikation von Stoffen	8
2.1.4. Ferromagnetismus	10
2.1.5. Antiferro- und Ferrimagnetismus	11
2.1.6. Domänen, Blochwände und Néelwände	12
2.1.7. Hystereseeffekte	16
2.2. Magnetische elektrodynamische Effekte	19
2.2.1. Der Matteucci-Effekt	20
2.2.2. Der Wiegand-Effekt	20
2.2.3. Der GMI-Effekt	21
2.3. Elektrolytisches Galvanisieren	21
3. Magnetische Effekte an beschichteten Kupferdrähten	25
3.1. Probenherstellung	25
3.1.1. Reinigung der Drähte	25
3.1.2. Herstellung des Elektrolyts	26
3.1.3. Beschichtung der Kupferdrähte	27
3.1.4. Technischer Aufbau der Beschichtungszelle	28
3.1.5. Zusammenfassender Überblick	30
3.1.6. Struktur der beschichteten Drähte und Bestimmung der Schicht- masse	31
3.2. Experimenteller Aufbau und Datenerfassung	32
3.2.1. Der GMI-Messplatz	32
3.2.2. Der Matteucci- und Wiegand-Messplatz	33
3.3. Ergebnisse und Diskussion	37

3.3.1.	Abhängigkeit der Oberflächenstruktur und des GMI-Effekts von der Molybdän-Konzentration	37
3.3.2.	Einfluss externer Magnetfelder während der Beschichtung auf die Symmetrie der GMI-Effekt-Kurve	41
3.3.3.	Der Matteucci-Effekt bei konstantem und variierendem dH/dt	44
3.3.4.	Auswirkung mechanischer Belastung des Drahtes auf den GMI-Effekt (Zug- und Torsionsbelastung)	47
3.3.5.	Vergleich von Wiegand-, Matteucci- und GMI-Effekt	52
3.3.6.	Der Wiegand-Effekt an verschiedenen Drahttypen	58
4.	Torsionssensoren aus amorphen ferromagnetischen Streifen	60
4.1.	Schematischer Aufbau der Sensoren und ihre Wirkweise	60
4.1.1.	Aufbau des Sensors	60
4.1.2.	Wirkweise des Sensors	61
4.2.	Sensorherstellung	63
4.3.	Experimenteller Aufbau und Datenerfassung	65
4.4.	Ergebnisse und Diskussion	67
4.4.1.	Bestimmung des optimalen Messbereichs	67
4.4.2.	Untersuchung auf Hystereseeffekte	70
5.	Zusammenfassung und Ausblick	72
	Literaturverzeichnis	75
A.	Anhang	XI

Abbildungsverzeichnis

2.1. Darstellung von Feldlinien	4
2.2. Feldlinien um einen stromdurchflossenen Leiter	5
2.3. Magnetismus auf makroskopischer Ebene	8
2.4. Verschiedene Formen des kollektiven Magnetismus	9
2.5. Darstellung magnetischer Momente in einem Antiferromagneten	11
2.6. Darstellung magnetischer Momente in einem Ferrimagneten	11
2.7. Domänen	12
2.8. Magnetisierung für verschiedene Kristallrichtungen bei Fe, Ni und Co	12
2.9. Vorzugsrichtung von Eisen und Nickel	12
2.10. Wandarten zwischen magnetischen Domänen	13
2.11. Energieformen einer ferromagnetischen Probe	14
2.12. Schematische Darstellung des Entmagnetisierungsvorgangs	15
2.13. Hysteresekurve	16
2.14. Schematische Darstellung der Wandverschiebung	17
2.15. Barkhausensprung an einer Störstelle	17
2.16. Reversible und irreversible Prozesse während der Magnetisierung einer Probe	17
2.17. Hysteresekurve eines hart- und eines weichmagnetischen Materials	18
2.18. Schematische Darstellung des Matteucci-Effekts	20
2.19. Schematische Darstellung des Wiegand-Effekts	20
2.20. Schematische Darstellung des GMI-Effekts	21
2.21. Allgemeine Darstellung der chemischen Elektrolyse	22
2.22. Darstellung von verschiedenen Elektrolysemethoden	23
3.1. Aufbau der Elektrolyseapparatur	28
3.2. Stopfen und Probenhalter	29
3.3. Verschiedene Probenhalter für die Beschichtung der Kupferdrähte	30
3.4. Aufbau eines beschichteten Kupferdrahtes	31
3.5. Messaufbau zur Bestimmung des GMI-Effekts	32
3.6. Typische GMI Messkurve	32
3.7. Schematischer Aufbau des Matteucci- und Wiegand-Messplatzes	33
3.8. Verschiedene Probenhalter zur Messung des Wiegand- und Matteucci-Effekts	34
3.9. Verschiedene Spulentypen, um das anregende Magnetfeld zu erzeugen	35

3.10. Datenerfassungsmöglichkeiten des Speicheroszilloskops	36
3.11. REM-Aufnahmen der Drähte	38
3.12. Mo-Konzentration in der Schicht in Abhängigkeit von der Na_2MoO_4 - Konzentration in der Lösung	39
3.13. Maximaler GMI-Effekt in Abhängigkeit von der Na_2MoO_4 -Konzentration in der Lösung	39
3.14. Maximaler GMI-Effekt in Abhängigkeit von der Frequenz für unter- schiedliche Mo-Konzentrationen	40
3.15. GMI-Effekt in Abhängigkeit vom externen Magnetfeld für unterschied- liche Mo-Konzentrationen	41
3.16. Erzeugung externer Magnetfelder während der Beschichtung	42
3.17. Bestimmung der Asymmetrie von GMI-Kurven	43
3.18. Asymmetrien der GMI-Kurven von Drähten die unter verschiedenen Magnetfeldern beschichtet wurden	44
3.19. Beispiel eines Messbildes für den Matteucci-Effekt bei konstantem und variierendem dH/dt	45
3.20. Matteucci-Spannung bei konstantem und variierendem dH/dt	45
3.21. Abstand vom Nulldurchgang des Magnetfeldes und Entstehungsfeld des Matteucci-Peaks bei variierendem dH/dt	46
3.22. GMI-Effekt unter Zugspannung	47
3.23. GMI-Effekt in Abhängigkeit vom Magnetfeld bei 1MHz unter Zug- spannung	48
3.24. GMI-Effekt bei einer Torsion bis zu 360°	49
3.25. GMI-Effekt bei sehr starken Torsionen von bis zu 1080°	50
3.26. Reversibilität des GMI-Effekts nach einfacher Verdrillung	51
3.27. Vergleich von Wiegand- und Matteucci-Effekt	52
3.28. Vergleich von Wiegand- und Matteucci-Effekt in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld	53
3.29. Vergleich von Wiegand- und GMI-Effekt	54
3.30. Vergleich von Wiegand- und GMI-Effekt in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld (1)	54
3.31. Vergleich von Wiegand- und GMI-Effekt in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld (2)	55
3.32. Vergleich von Matteucci- und GMI-Effekt	56
3.33. Vergleich von Matteucci- und GMI-Effekt in Abhängigkeit vom äuße- ren Magnetfeld (1)	56
3.34. Vergleich von Matteucci- und GMI-Effekt in Abhängigkeit vom äuße- ren Magnetfeld (Draht 9)	57
3.35. Wiegand-Effekt an Aichi-, Impuls-, beschichtetem Kupfer- und Wie- ganddraht	58
3.36. Wiegand-Effekt an Aichi-, Impuls-, beschichtetem Kupfer- und Wie- ganddraht (normiert auf das Gewicht des Wirkmaterials)	59
4.1. Schematischer Aufbau des Torsionssensors	60