

Peter Kimmel

**Präparation lateral strukturierter
magnetischer Schichten mittels
Laser-Interferenz-Lithographie**

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 1997 Diplomica Verlag GmbH
ISBN: 9783832414177

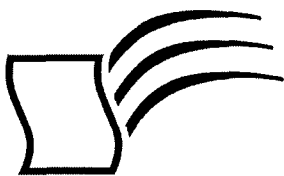
Peter Kimmel

Präparation lateral strukturierter magnetischer Schichten mittels Laser-Interferenz-Lithographie

Peter Kimmel

Präparation lateral strukturierter magnetischer Schichten mittels Laser-Interferenz-Lithographie

**Diplomarbeit
an der Universität Kaiserslautern
November 1997 Abgabe**



Diplomarbeiten Agentur
Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke
und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k
22119 Hamburg

agentur@diplom.de
www.diplom.de

ID 1417

Kimmel, Peter: Präparation lateral strukturierter magnetischer Schichten mittels Laser-Interferenz-Lithographie / Peter Kimmel - Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 1999
Zugl.: Kaiserslautern, Universität, Diplom, 1997

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR
Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg
Printed in Germany



Diplomarbeiten Agentur

Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

<http://www.diplom.de> bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit

Ihr Team der *Diplomarbeiten Agentur*

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey –
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —
und Guido Meyer GbR —————

Hermannstal 119 k —————
22119 Hamburg —————

Fon: 040 / 655 99 20 —————
Fax: 040 / 655 99 222 —————

agentur@diplom.de —————
www.diplom.de —————

Inhaltsverzeichnis

0. Einleitung	3
1. Vorstellung der lithographischen Verfahren	6
1.1 Einführung und konventionelle Methoden	6
1.2 Die holographische Lithographie	7
1.3 Aufbau und Verarbeitung der Photolacke	13
2. Einrichtung des Reinraums und Aufbau der Laser-Interferenz-Lithographie	18
2.1 Der Reinraum	18
2.2 Komponenten der Laser-Interferenz-Lithographie	22
2.3 Leistungsmessung	29
3. Herstellung von Photolackstrukturen und Messung ihrer Topographie	31
3.1 Vorbehandlung der Proben	31
3.2 Arbeit mit der Photochemie, Ermittlung der richtigen Lack-Verdünnung	32
3.3 Funktionsprinzip des Rasterkraftmikroskops	36
3.4 Ergebnisse	42
3.5 Versuche mit einem zweiten Photolack	52
4. Trockenätzen der resistbeschichteten Metallfilme	56
4.1 Überblick über die gebräuchlichen Ätzverfahren	56
4.2 Die Plasmastrahlquelle	60
4.3 Ergebnisse sowie Möglichkeiten zur Detektierung des Ätzstopps	63
5. Magnetische und elastische Charakterisierung der erzeugten Streifen	72
5.1 Auswirkungen der Strukturierung	72
5.2 Instrumentation	72
5.2.1 Magneto-optischer Kerr-Effekt	72
5.2.2 Die Brillouin-Lichtstreuung	74
5.3 Das Ummagnetisierungsverhalten	75
5.3.1 Domänen und Ummagnetisierungsmechanismen	75
5.3.2 Magnetische Anisotropien in dünnen Filmen	77
5.3.3 Experimentelle Ergebnisse und Diskussion	78
5.4 Die strukturinduzierte uniaxiale Anisotropie	84
5.5 Zonenfaltungseffekte der Oberflächenphononen auf korrigierten Si(111)- Oberflächen	86
6. Zusammenfassung und Ausblick	88
Literaturverzeichnis	91

0. Einleitung

Das Studium der Eigenschaften von nanostrukturierten magnetischen Filmen hat in den letzten Jahren ein zunehmendes Interesse erfahren, vor allem im Hinblick auf künftige neue Anwendungen in Form magnetischer Speicher oder Sensoren. Ein Ziel ist die Verkleinerung der Leseköpfe von Festplatten, bei denen zur Zeit Flächen mit mehreren Mikrometern Ausdehnung zur Speicherung eines Bits beschrieben werden müssen. Das Volumen der weltweit ausgelieferten magnetischen Festplatten-Speicherkapazität steigt um ca. 40 % jährlich, alle drei Jahre verdoppelt sich die Speicherdichte [Si95]. Ein neues Konzept zum Erzielen höherer Speicherdichten ist etwa die von Chou et al. vorgeschlagene sogenannte „Quantendisk“, bei der jedes Bit durch eine separate Einzeldomäne repräsentiert wird. Die Definition der Bitpositionen schon beim Herstellungsprozeß würde neben dem Vorteil kleinerer Schreib-/Leseköpfe deren präzisere Positionierung erlauben und würde den Einfluß durch Nachbarbits wegen des nichtmagnetischen Materials zwischen diesen 1-Bit-Inseln reduzieren. Eine weitere zentrale Anwendung werden MRAMs sein (magnetisches Random-Access-Memory), deren Entwicklung jetzt von mehreren führenden Herstellern magnetischer Speicher intensiv in Angriff genommen wird. Für eine weitere Verkleinerung der Strukturen müssen jedoch zunächst detaillierte Untersuchungen verschiedenster Probengeometrien und der dabei neu auftretenden Phänomene durchgeführt werden, wobei periodische Strukturen niedriger Dimensionalität mit Ausdehnungen von etwa 5 μm bis hinunter zu atomaren Größenordnungen von Interesse sind. Neben Drähten (Streifen) und Inseln (kleinen scheibenförmigen Flächen) werden dabei auch gezielt Probenbereiche mit ferromagnetischen Säulen oder mit kurzen Streifen hergestellt, wodurch sich definierte Magnetisierungsrichtungen und Domänenformen erzeugen lassen.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Aufbau eines interferenzlithographischen Verfahrens, mit dem Streifen- und Inselstrukturen mit einer Periodizität bis hinab zu 176 nm großflächig (homogen bis 1 cm^2) erzeugt werden können.

Die Fragestellungen, die an solchen Strukturen geklärt werden sollen, lassen sich thematisch in mehreren Gruppen zusammenfassen. So ist es etwa wichtig, die Entmagnetisierungseffekte zu kennen, die im Vergleich zum kontinuierlichen ferromagnetischen Film neu auftreten. Deren Kenntnis erlaubt z. B. die Bestimmung der Feldstärken zum sicheren Schreiben eines Bits. Weiterhin sind Kopplungsphänomene zwischen den magnetischen Inseln von Interesse. Sie können zur Modifikation der Magnetisierung in magnetischen Objekten führen, die sowohl an

isolierten als auch an nahe benachbarten Streifen bzw. Inseln zu untersuchen ist. Beim Studium des Ummagnetisierungsverhaltens werden insbesondere die Koerzitivfelder untersucht, deren Vergrößerung infolge einer Strukturierung im Mikrometerbereich bereits bekannt ist. In der vorliegenden Arbeit werden diese Untersuchungen auf den Sub- μm -Bereich ausgedehnt. Für potentielle Speicheranwendungen ist die Zunahme von H_c eine erwünschte Eigenschaft, weil sie zu höherer Stabilität gegenüber zufälliger oder durch Nachbarbits bedingter Ummagnetisierung führt. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist schließlich die Dynamik, also das zeitliche Verhalten des Ummagnetisierungsvorgangs. Die dynamische Kopplung im Gegensatz zur oben erwähnten statischen Kopplung ist ebenfalls zu untersuchen, sie führt zu kollektiven Anregungen (Spinwellenanregungen).

Die Bestimmung magnetischer Anisotropien ermöglicht Rückschlüsse sowohl auf die Symmetrie des Systems als auch auf magnetisch wirksame symmetriebrechende Mechanismen, wie sie unter anderem durch die Strukturierung induziert werden. Als Modellsystem wird meist Permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ -Legierung) wegen seiner praktisch vernachlässigbaren intrinsischen Anisotropie verwendet, so daß gemessene Effekte direkt der Strukturierung zuzurechnen sind.

Korrugationen im kleinsten Maßstab lassen sich durch Schichtwachstum auf vizinalen Unterlagen erreichen, d. h. auf Substraten, deren Schichtnormale wenige Grad von einer Hauptsymmetrierichtung abweicht. Strukturen ab etwa 50 nm Ausdehnung bis hin zu makroskopischen Dimensionen können mit Elektronenstrahlolithographie erzeugt werden, die zur Herstellung magnetischer Strukturen das verbreitetste Verfahren darstellt. Es handelt sich jedoch um eine sehr zeitaufwendige Methode, da zur magnetischen Charakterisierung solcher Proben mit den uns zur Verfügung stehenden Methoden Bereiche nahezu in Quadratmillimeter-Größe beschrieben werden müssen. Ein schnelles, jedoch technologisch anspruchsvolles Verfahren ist die Röntgenlithographie. In der Regel muß Synchrotronstrahlung verwendet werden, und die Herstellung der Masken gestaltet sich noch als schwierig. In jüngster Zeit gewinnen auch Rastersondenverfahren zur Herstellung kleinster Strukturen an Bedeutung.

Seit langem ist die Möglichkeit bekannt, nanostrukturierte Gitter mit Hilfe der sog. holographischen Lithographie, die wir begrifflich exakter im folgenden als Laser-Interferenzlithographie (LIL) bezeichnen, herzustellen. Hierbei werden zwei kohärente ebene Wellenfronten des Laserlichts zur Überlagerung gebracht, der Aufbau ist ähnlich dem einer holographischen Belichtung. Für die Strukturierung magnetischer Filme ist das Verfahren bisher nur selten verwendet worden, obwohl so effizient große Bereiche sowohl mit Streifengittern als auch mit Inselgittern (bei Doppelbelichtung unter rechtem Winkel) belichtet werden können. Periodi-

zitäten zwischen einigen Mikrometern und 100 nm können erzielt werden, so daß ein weiterer Bereich magnetischer Strukturierungsabmessungen abgedeckt wird. Die eingesetzten Lasertypen sind der He-Cd-Laser oder, wie in dieser Arbeit, der Argon-Ionenlaser. Beide besitzen Linien im Empfindlichkeitsbereich von Standard-Photolacken (300–470 nm Wellenlänge) und haben genügend große Kohärenzlänge.

Bei den besten zur Zeit hergestellten magnetischen Strukturen werden in der Regel verschiedene Trockenätztechniken (Plasmaätzungen) wie das Ionenstrahlätzen und das reaktive Ionenätzen gemeinsam und in Kombination mit der sog. Lift-off-Technik in mehreren Schritten angewendet. Sogar naßchemische Prozesse können im Bereich unter 1 μm Periodizität eingesetzt werden, wegen ihrer isotropen Ätzcharakteristik jedoch nur als Ergänzung der vorgenannten Techniken. Sowohl Naßprozesse als auch diejenigen Plasmaätzungen, die überwiegend auf chemischen Reaktionen beruhen, zeichnen sich dabei durch eine hohe Selektivität aus, d. h. sie ätzen das gewünschte Material mit einer wesentlich höheren Abtragsrate als die Ätzmasken oder das Substrat. Häufig wird die Photolackmaske zunächst in eine ätzresistente Maske aus Chrom oder Titan transferiert, bevor dann die Ätzung des darunterliegenden Metallfilms beginnt.

Im 1. Kapitel der vorliegenden Arbeit werden die Grundlagen zur Laser-Interferenzlithographie skizziert, deren experimentelle Seite zusammen mit der Einrichtung eines Reinraums im 2. Kapitel beschrieben wird. Periodische Streifen- und Inselstrukturen, die mit dem neu aufgebauten Lithographiestand hergestellt worden sind, werden im 3. Kapitel vorgestellt. Ihre Abbildung erfolgte mit einem Rasterkraftmikroskop. Im 4. Kapitel wird der Transfer der Photolackgitter-Strukturen in ferromagnetische Filme behandelt, die mit Molekularstrahl-Epitaxie hergestellt werden. Der Transfer ist mit einer vorhandenen Ionenstrahl-Ätzanlage durchgeführt worden. Verschiedene Methoden zur Kontrolle des Ätzprozesses werden in diesem Kapitel evaluiert. Abschließend erfolgt im 5. Kapitel die Charakterisierung der Proben mit Hilfe magnetischer Untersuchungsmethoden, wobei insbesondere strukturinduzierte Änderungen des Ummagnetisierungsverhaltens in leichter und schwerer Richtung untersucht worden sind. Für die Aufnahme der Ummagnetisierungskurven bei verschiedenen Streifenperiodizitäten und -breiten wird der magneto-optische Kerr-Effekt eingesetzt, zur Untersuchung von Spinwellen und möglichen Quantisierungseffekten dient die Brillouin-Lichtstreuung.