

Aktivteil eines Schreib-/Lesekopfes mit integriertem Mikroaktor (SLIM) für Festplattenspeicher

Active Part of a Read/Write Head with an Integrated Microactuator for Hard Disk Drives (HDD)

H. Saalfeld, Institut für Mikrotechnologie, An der Universität 2, 30823 Garbsen, saalfeld@imt.uni-hannover.de
D. Dinulovic, Institut für Mikrotechnologie, An der Universität 2, 30823 Garbsen, dinulovic@imt.uni-hannover.de
H.H. Gatzten, Institut für Mikrotechnologie, An der Universität 2, 30823 Garbsen, gatzten@imt.uni-hannover.de

Kurzfassung

Voraussetzungen für fortschrittliche Hard Disk Drive (HDD) Schreib-/Leseköpfe sind eine minimale Flughöhe und eine perfekte Spurfolge. Durch die Verwendung von Mikrosystemtechnik wurde ein kostengünstiger Schreib-/Lesekopf mit integriertem Mikroaktor (SLIM) entwickelt, welcher sowohl eine Anpassung der Flughöhe als auch eine hochgenaue Spurfolge ermöglicht. Dieser Beitrag beschreibt den Entwurf, die Simulationen und den Fertigungsprozess des SLIM-Aktivteils. Ferner stellt er technologische Verbesserungen durch eine Prozessumstellung vor und beschreibt die Nutzung im Gesamtsystem.

Abstract

Preconditions for advanced Hard Disk Drive (HDD) recording heads are a minimal flying height and a perfect track following. By applying Micro Electro-mechanical Micro Systems (MEMS) technology, a Slider with an Integrated Microactuator (SLIM) enabling both flying height adjustment and track following in a cost competitive way was created. This paper describes the design, the simulation, the fabrication process for the system's magnetics and emphasizes the technology enhancements achieved after a process redesign. It also provides evaluation results of the completed system.

1 Einleitung

Schlüsselanforderungen für eine optimale Aufzeichnungsdichte in Festplattenspeichern sind eine minimale Flughöhe und eine perfekte Spurfolge des Schreib-/Lesekopfes. Solch ein Schreib-/Lesekopf enthält einen Flugkörper, der auf einem dynamischen Luftlager dicht über der rotierenden Datenplatte gleitet und in den ein dünnfilmtechnisch gefertigtes Schreib-/Leseelement integriert ist. Um eine optimale Spurfolge zu erzielen, ist eine zweite Aktorstufe wünschenswert, welche die Frequenzlimitierung des konventionellen Tauchspulenpositionierers (erste Aktorstufe) kompensiert. Dieser Beitrag beschreibt die Entwicklung des Aktivteils für einen kostengünstigen Schreib-/Lesekopf mit integriertem Mikroaktor (SLIM). Das Gesamtsystem gestattet sowohl eine Einstellung der Flughöhe als auch eine hochpräzise Spurfolge [1].

2 SLIM-Entwurf

Der elektromagnetische Mikroaktor ist im Flugkörper des Schreib-/Lesekopfes integriert. Die Abmessungen entsprechen hierbei dem herkömmlichen „Pico“-Format (1.240 μm x 990 μm x 300 μm). **Bild 1** stellt einen kommerziellen Flugkörper dem SLIM-Flugkörper gegenüber. Der Aufbau des Systems erfolgt auf zwei getrennten Wafern. Auf dem oberen Wafer befindet sich der mikrome-

chanische Teil des Systems. Er enthält einen als Läufer dienenden Montagebalken, der an zwei Blattfedern aufgehängt ist und ein Chiplet trägt. Auf dem Chiplet befindet sich das Schreib-/Leseelement. Der untere Wafer ist Träger der Mikromagnetik in Form von zwei Statoren. Bei gleichmäßiger Erregung beider Statoren senkt sich der Montagebalken und das daran montierte Chiplet ab, was einer Einstellung der Flughöhe gleichkommt. Eine ungleichmäßige Erregung bewirkt eine Rotation, wodurch eine hochgenaue Spurfolge erreicht wird. Ein Abstandhalter verbindet Mikromechanik und Mikromagnetik miteinander [2].

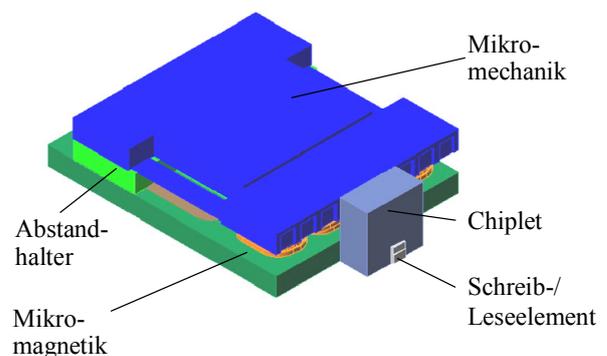


Bild 1 SLIM-Flugkörper für Festplattenspeicher

3 Aktordesign und Simulationen

Der elektromagnetische Mikroaktor wird mittels der Finiten-Elemente-Methode (FEM) unter Zuhilfenahme der Software ANSYSTM Multiphysics simuliert und optimiert [3]. Die technologischen Aspekte der dünnfilmtechnischen Fertigung werden hierbei berücksichtigt. Wichtige Parameter für die Fertigung sind das Aspektverhältnis und der Flankenwinkel der galvanisch abgeschiedenen Strukturen. Der resultierende Mikroaktor besteht aus zwei Teilsystemen, jedes mit zwei doppellagigen Spiralspulen für die magnetische Flusszeugung und einem U-förmigen weichmagnetischen Kern zur Flussführung. Während der Simulation des Aktorsystems wird die magnetische Kraft für unterschiedliche Erregerströme in Abhängigkeit vom Luftspalt berechnet. Bei einem Luftspalt von 2,5 μm und einem Erregerstrom von 200 mA erzeugt ein Teilsystem des Aktors den Simulationen zufolge eine magnetische Kraft von etwa 400 μN . Die Gesamtmaße eines Teilsystems betragen hierbei 438 μm x 282 μm x 61 μm (Länge x Breite x Höhe). Die zwei doppellagigen Spiralspulen weisen je fünf Windungen pro Spulenlage auf. Der weichmagnetische Kern ist aus einer unteren Flussführung und Polen zusammengesetzt. Die untere Flussführung hat eine Höhe von 20 μm , und die Höhe der Pole beträgt 40 μm . Der weichmagnetische Rückschluss, der auf dem Federsystem gefertigt wird, weist eine Höhe von 10 μm auf.

4 Fertigung des Mikroaktors

4.1 Prozessgrundlagen

Die Fertigung des Aktorsystems erfolgt dünnfilmtechnisch unter Reinraumbedingungen. Im Vergleich zu konventionellen Fertigungsprozessen werden hierbei durch die Anwendung neuer Fertigungstechniken und Materialien sehr kleine physikalische Abmessungen erreicht. Da die Kraft des Systems bezogen auf den zur Verfügung stehenden Platz maximal sein soll und proportional zum Volumen ist [4], kommt als Technologie HARMST (High Aspect Ratio Micro Structure Technology) zum Einsatz, wobei hier meist eine Kombination aus UV-Tiefenlithografie und Galvanik angewendet wird. Die Erregerspulen, welche zur Erzeugung des magnetischen Flusses dienen, werden mittels Cu-Galvanik hergestellt. Für die Fertigung der weichmagnetischen Kerne und Rückschlüsse kommt NiFe45/55 zur Anwendung. Dieses Material weist eine Sättigungsflussdichte B_s von 1,6 T mit einer hohen relativen Permeabilität μ_r auf und hat sich für die Anwendung in Aktoren als geeignet herausgestellt [5, 6]. Das gesamte System wird zum Schutz der empfindlichen Strukturen in dem fotosensitiven Epoxidharz SU-8TM eingebettet. Um sowohl eine konstante Schichtdicke als auch eine ebene Oberfläche zu gewährleisten, kommt CMP (Chemisch-Mechanisches Polieren) zum Einsatz. Als elektrische Isolationsschichten zwischen den beiden Spulenlagen bzw. zwischen den Spulen und den unteren Flussführungen kommen mittels eines PECVD-Verfahrens (Plasma Enhanced

Chemical Vapor Deposition) hergestellte Si_3N_4 -Schichten zur Anwendung. Diese Schichten bieten im Gegensatz zu SU-8TM bereits bei einer Dicke von nur 250 nm eine ausreichende elektrische Isolation und tragen daher signifikant zu einer Reduktion der Bauhöhe bei. Im Vergleich zu SU-8TM kann durch die Verwendung von Si_3N_4 die Bauhöhe von ursprünglich 90 μm auf 61 μm reduziert werden. Des Weiteren weisen mittels des PECVD-Verfahrens abgeschiedene Si_3N_4 -Schichten eine exzellente Kantenabdeckung und geringe Schichtspannungen auf. **Bild 2** stellt den elektromagnetischen Mikroaktor von SLIM schematisch dar.

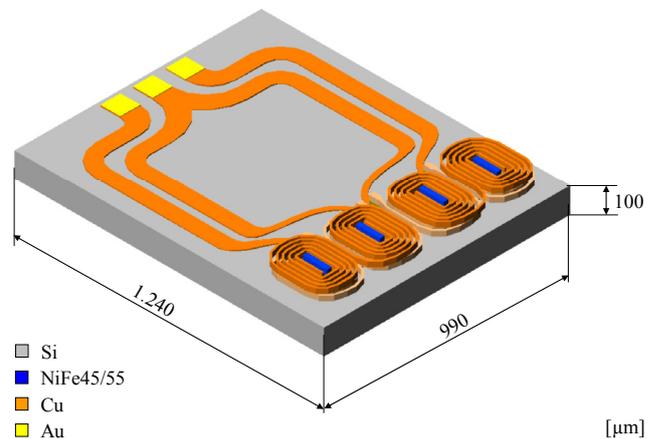


Bild 2 Schematische Darstellung des Mikroaktors

4.2 Fertigungsfolge

Die Fertigung des Mikroaktors lässt sich in 15 Maskenschritte bzw. 47 Prozessschritte unterteilen und wird unter Verwendung eines 525 μm dicken SiO_2 -Wafers durchgeführt. Zu Beginn wird eine 50 nm dicke Cr-Haftschrift und eine 200 nm dicke Au-Startschicht mittels Kathodenzerstäubung abgeschieden. Im Anschluss werden in vier Fotolithografie- bzw. Galvanikschritten die Ni-Justiermarken, die unteren Flussführungen aus NiFe45/55, die Cu-Zuleitungen und die Cu-Vias (Kontakte zwischen Zuleitungen und Spulen) gefertigt. Für die Fotolithografieprozesse kommt ein positiver Fotolack zum Einsatz. Anschließend wird die Cr/Au-Startschicht mittels IBE (Ion Beam Etching) entfernt.

Als Nächstes werden die unteren Flussführungen in SU-8TM eingebettet und mittels CMP planarisiert. Im Anschluss wird eine 250 nm dicke Si_3N_4 -Schicht unter Verwendung des PECVD-Verfahrens abgeschieden und diese im Bereich der Pole und Vias mittels IBE strukturiert.

Die folgenden Fertigungsschritte dienen der Erzeugung der unteren Spulenlage und des ersten Teils der Pole. Hierzu wird als Erstes wieder eine Cr/Au-Startschicht abgeschieden. Als Nächstes erfolgt die Strukturierung eines Positivresists mittels Fotolithografie, gefolgt von einem Cu-Galvanikschritt. Nach der galvanischen Abscheidung der unteren Spulenlage wird der Lack gestrippt und die Startschicht mittels IBE entfernt. Für die Fertigung des ersten Teils der Pole werden eine 50 nm dicke Cr-Haftschrift und eine 400 nm dicke NiFe45/55-Startschicht abgeschieden und anschließend eine

Fotolackmaske für die galvanische Abscheidung strukturiert. Nach der galvanischen NiFe45/55-Abscheidung wird die Fotomaske gestrippt und die Startschicht mittels IBE entfernt. Im weiteren Verlauf werden die untere Spulenlage und der erste Teil der Pole in SU-8TM eingebettet und mittels CMP planarisiert.

Als Nächstes erfolgt die Abscheidung einer weiteren Si₃N₄-Schicht, welche als vertikale Isolation zwischen den Spulenlagen dient, unter Verwendung des PECVD-Verfahrens. Um die obere Spulenlage und den zweiten Teil der Pole fertig zu stellen werden nach der Strukturierung der Si₃N₄-Schicht mittels IBE die gleichen Prozessschritte wie für die untere Spulenlage und den ersten Teil der Pole durchgeführt. Anschließend erfolgt die Einbettung der oberen Spulenlage und des entsprechenden Teils der Pole in SU-8TM, gefolgt von einer Planarisierung mittels CMP.

Als Nächstes wird eine abschließende Si₃N₄-Schicht abgeschieden und diese im Bereich der Pads, welche für die elektrische Kontaktierung benötigt werden, strukturiert. Für die Abscheidung der Pads wird zunächst wieder eine Cr/Au-Startschicht aufgebracht und anschließend ein positiver Fotolack für die galvanische Abscheidung strukturiert. Im weiteren Verlauf werden die Cu-Kontaktpads galvanisch verstärkt. Zur Anwendung kommen hierbei die Materialien Ni (Diffusionssperre) und Au (Material fürs Drahtbonds). Abschließend wird die Fotomaske gestrippt und die Startschicht mittels IBE entfernt.

4.3 Optimierung der Fertigung

Nach der Prozessentwicklung während des ersten Fertigungsdurchlaufs können die Prozesse während eines zweiten Durchlaufs erheblich verbessert werden. Insbesondere sporadisch aufgetretene Ablösungen der Si₃N₄-Schichten sind damit vollständig eliminiert. Dies gelingt durch die Umstellung auf eine von 100°C auf 150°C erhöhte Abscheidetemperatur, welche die Haftung der Si₃N₄-Schichten verbessert, und eine vor der Abscheidung durchgeführte Thermobehandlung der SU-8TM-Einbettungen, welche das im Fotolack enthaltene Restlösemittel und ggf. bereits aufgenommene Luftfeuchtigkeit entfernt. Des Weiteren erfolgt eine Verbesserung der Fotolithografie- und Galvanikprozesse hinsichtlich des Flankenwinkels bzw. der Abscheidequalität. Außerdem konnte bezüglich des CMP-Prozesses eine genauere Referenz für den Abbruch der Planarisierung geschaffen werden. Um dies zu erreichen, wird im Gegensatz zum ersten Fertigungsdurchlauf während der zweiten Charge die Cu-Strukturen als Referenz verwendet. Da sich Kupfer deutlich gleichmäßiger galvanisch abscheiden lässt als NiFe, kann die zusätzlich ausschließlich für den CMP-Prozess aufgebrauchte Strukturhöhe von 5 µm auf 2 µm reduziert und somit die Toleranz der Bauhöhe auf ± 1 µm gesenkt werden.

Die größte Herausforderung des ersten Fertigungsdurchlaufs resultiert allerdings aus einem nicht optimalen Maskendesign zur Strukturierung der ersten und zweiten Si₃N₄-Schicht, was eine niedrige Ausbeute an funktionierenden Systemen zur Folge hatte. Es kommt zu Kurzschlüssen

zwischen den Zuleitungen, verursacht durch Startschichtreste an den SU-8TM-Kanten nach dem Ionenstrahlätzprozess. In **Bild 3** sind die alten Fotolithografiemasken den neuen, verbesserten Masken zur Strukturierung der ersten und zweiten Si₃N₄-Schicht gegenübergestellt.

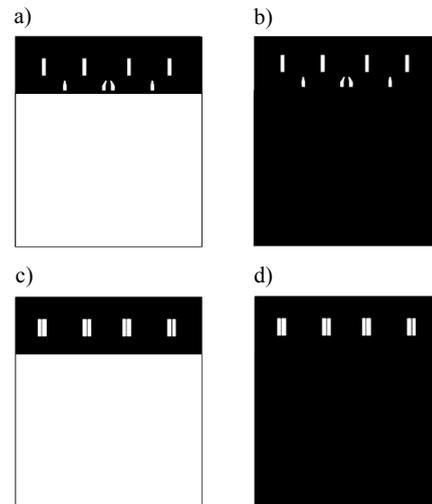


Bild 3 Fotolithografiemasken zur Si₃N₄-Strukturierung

Bild 3a und Bild 3c stellt das veraltete Maskendesign mit einer Öffnung zur Strukturierung der Schicht über dem gesamten Bereich der Zuleitungen dar. Durch die Vergrößerung der entsprechenden Isolationsfläche (schwarze Fläche in Bild 3) im Bereich der Zuleitungen, kann das Auftreten von Kurzschlüssen über die Zuleitungen effektiv vermieden werden. Nach der Implementierung der verbesserten Fotolithografiemasken (Bild 3b und 3d) konnte mit der zweiten Charge eine deutlich höhere Ausbeute an funktionsfähigen Systemen erreicht werden. In **Bild 4** ist der fertige SLIM-Aktivteil als lichtmikroskopische Aufnahme (Bild 4a) und Rasterelektronenmikroskop- (REM-) Aufnahme (Bild 4b) dargestellt.

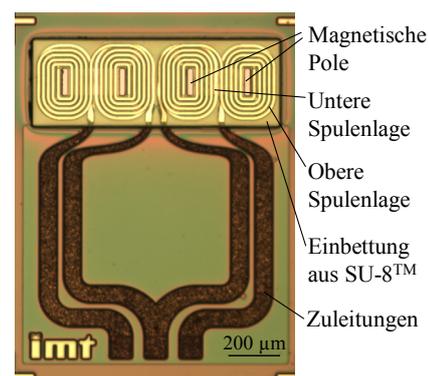


Bild 4 Lichtmikroskopische Aufnahme des Mikroaktor nach Fertigungsabschluss

4.4 Systemintegration

Nach der Fertigung der Aktivteile werden diese einzeln und zum Gesamtsystem montiert. Dieser Schritt erfolgt auf Streifenniveau, ein Streifen enthält dabei zwei Zeilen mit je zehn Aktivteilen. Die Herstellung der Si-

Mikromechanik erfolgt durch die TU Berlin [2], die Vereinzelung der Flugkörper und die zur Herstellung eines kompletten Kopfes notwendigen Schritte durch die Leibniz Universität Hannover. **Bild 5** zeigt einen Ausschnitt eines SLIM-Kopfes, bestehend aus dem Aktivteil und einem Federsystem. Die erste Serie von SLIM-Systemen hat noch keine Luftlagerfläche, wie sie zum Einsatz auf einer rotierenden Festplatte notwendig ist und eignet sich deshalb nur für statische Tests.

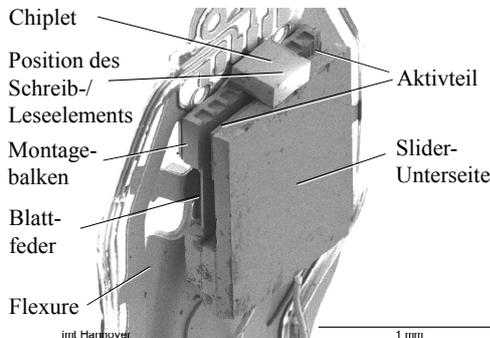


Bild 5 Rasterelektronenmikroskop- (REM-) Aufnahme eines SLIM-Kopfes

5 Evaluation

Zur Evaluierung der Funktionsfähigkeit wurde das vom Mikroaktor generierte magnetische Feld mit Simulationsergebnissen verglichen. Das von den Polen des noch unmontierten SLIM-Aktivteils erzeugte Feld wurde mittels SHPM (Scanning Hall Probe Microscopy) als Funktion des Erregerstroms und des Abstands von den Polen ermittelt. Im Rahmen der SHPM-Messungen kam ein miniaturisierter Hall-Sensor zum Einsatz, welcher eine hochauflösende Messung des magnetischen Feldes über den Polen erlaubte. Die Messungen wurden in Kooperation mit der University of Colorado, Colorado Springs und der Colorado State University in Fort Collins durchgeführt. Die Feldmessungen zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Simulationen. Eine detaillierte Beschreibung der Analyse ist in [7] zu finden.

Nach einer ersten erfolgreichen Fertigung des SLIM-Gesamtsystems mit funktionierenden Mikroaktoren wird die Funktionalität dieses Systems mittels Laser-Doppler-Vibrometrie- (LDV-) Messungen einem Funktionstest unterzogen. **Bild 6** zeigt ein Beispiel der so gewonnenen Messergebnisse [8].

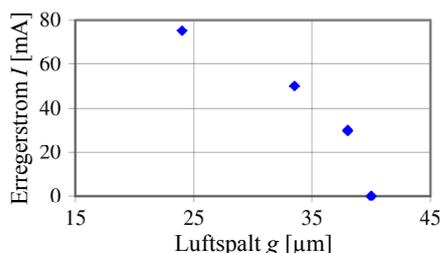


Bild 6 LDV-Messung des Aktorluftspalts bei variiertem Bestromung (Blattfedern: $500 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$)

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Ein elektromagnetischer Mikroaktor für Festplattenköpfe konnte unter Verwendung von HARMST dünnfilmtechnisch gefertigt werden. Die Applikation eines organischen Werkstoffs (SU-8^{TM}) als laterales Isolationsmaterial und eines anorganischen Werkstoffs (Si_3N_4) als vertikales Isolationsmaterial ermöglichte ein kompaktes Aktordesign. Obwohl der erste Fertigungsdurchlauf funktionierende Systeme lieferte, bestand Potenzial für technologische Verbesserungen. Im Rahmen des zweiten Fertigungsdurchlaufs wurden die Dünnfilmprozesse optimiert. Durch SHPM-Untersuchungen konnte die Funktionsfähigkeit des Aktivteils und durch LDV-Messungen des Gesamtsystems nachgewiesen werden.

Nächster Schritt ist die Fertigung von Bauteilen mit Luftlagerflächen. Diese sind dann in der Lage, im Flugzustand auf einer Datenplatte getestet zu werden.

7 Literatur

- [1] Gatzen, H.H.: Schreib-/Lesekopf mit integriertem Mikroaktor (Read-Write head with integrated micro actuator) Dt. Patent 10260009
- [2] Gatzen, H.H.; Freitas, P.; Obermeier, E.; Robertson, J.: A slider with an integrated microactuator (SLIM) for second stage actuation in hard disc drives. IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 44, Nr. 11, S. 3726-3729, 2008
- [3] Dinulovic, D.; Saalfeld, H.; Celinski, Z.; Field, S.B.; Gatzen, H.H.: Integrated electromagnetic second stage micro actuator for a hard disk recording head. IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 44, Nr. 11, S. 3730-3733, 2008
- [4] Ruffert, C.; Gatzen, H.H.: Fabrication and Test of Multi Layer Micro Coils with a High Packaging Density. in HARMST07, Besançon, France, Book of Abstracts, S. 245-246, 2007
- [5] Wurz, M. C.; Dinulovic, D.; Gatzen, H.H.: Investigations on the Permeability of Electroplated and Sputtered Permalloy. in Proc. 8th Int. Symp. Magn. Mater., Processes Devices, S. 525-536, 2004
- [6] Gatzen, H.H.: Magnetic Materials in Thin Film Sensors and Actuators. in Proc. 8th Int. Symp. Magn. Mater., Processes Devices, S. 457-470, 2004
- [7] Dinulovic, D.; Saalfeld, H.; Celinski, Z.; Field, S.B.; Gatzen, H.H.: Evaluation of an Electro-magnetic Micro Actuator Using Scanning Hall Probe Microscopy Measurements. Journal of Applied Physics, Vol. 105, 07F119, 2009
- [8] Dinulovic, D.; Pape, F.; Saalfeld, H.; Kurniawan, W.; Obermeier, E.; Gatzen, H.H.: Operating Range Optimization of a MEMS Type Slider with an Integrated Microactuator (SLIM) for Second Stage Actuation in Hard Disk Drives. in INTERMAG09, Sacramento, California, USA, 2009, (eingereicht)