

Kapitel 1

Einleitung

1.1. Zielstellung und Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projektes „Ferromagnetische Bauelemente“ am Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS Dresden. Das Projekt hat die Entwicklung unterschiedlicher Mikrosysteme zum Ziel, die auf einer neuartigen Technologie zur CMOS-kompatiblen Fertigung integrierter Mikrosolen mit planaren ferromagnetischen Kernen beruhen. Dabei wird eine ferromagnetische Permalloyschicht so zwischen die beiden Metallisierungsebenen eines double-metal CMOS-Prozesses abgeschieden und strukturiert, daß mit den Leitbahnen und Vias der beiden Metallisierungsebenen planare Solen mit einem ferromagnetischen Kern realisiert werden. Die Beschreibung dieser Technologie und der damit realisierbaren Applikationen ist Gegenstand dieses Kapitels.

Wissenschaftlicher Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Analyse, Optimierung und Charakterisierung der mit dieser Technologie gefertigten neuartigen integrierten Solen mit ferromagnetischem Kern bis hin zur Entwicklung geeigneter Testverfahren für die Produkte auf Wafer- und Bauelementebene. Im Mittelpunkt steht dabei die Applikation als integrierter Fluxgate-Sensor. Methodisches Hilfsmittel zur Beschreibung der Wirkungsweise des Sensors ist die Modellbildung. Im Kapitel 2 wird daher mit analytischen und numerischen Methoden die Funktionsweise des Sensors aus feld- und signaltheoretischer Sicht modelliert. Zuerst wird die Magnetisierung des Kerns durch ein homogenes Feld und das Feld der integrierten Solen analytisch mit dem Summationsverfahren bzw. einer erweiterten Spiegelungsmethode unter Annahme linearer Verhältnisse berechnet. Das dem Sensor zugrundeliegende Modulationsverfahren an der nichtlinearen $B(H)$ -Kennlinie ferromagnetischer Materialien - das Fluxgate-Prinzip - und die daraus resultierenden Sensorkennlinien werden ebenfalls für vereinfachte Verhältnisse vollständig analytisch abgeleitet. Nach der analytischen Betrachtung der grundlegenden Effekte werden mit dem FEM-Paket ANSYS die Feldverhältnisse für nichtlineare Kerneigenschaften berechnet. Durch eine an die FEM-Rechnungen gekoppelte Signalverarbeitung können die einzelnen Sensorkennlinien simuliert werden. Die Verifikation und Optimierung der Simulationen erfolgt durch Vergleich mit Meßergebnissen. Aufbauend auf die Modellrechnungen wird schließlich das Design des Sensors hinsichtlich Meßbereich und Linearität optimiert.

Nach Meßbereich und Linearität wird in Kapitel 3 die Sensorauflösung betrachtet. Die Analyse der Sensorsignale führt zum Barkhausen-Rauschen als den die Sensorauflösung limitierenden Effekt. Für die beobachteten Signale wird über ein vereinfachtes Modell der Zusammenhang zwischen der Sensorauflösung und dem Sensoranregungsstrom hergeleitet. Als Grundlage für eine weitere elektrische Analyse werden mit magnetooptischen Methoden die das Barkhausen-Rauschen hervorrufenden Domänenwandbewegungen in den ferromagnetischen Kernen der integrierten Spulen untersucht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse über die Ursachen des Rauschprozesses sind ausschlaggebend für die Wahl und Ableitung der elektrischen Charakterisierungsmethoden für die Sensorauflösung. Abschließend werden die verschiedenen Spulenkonfigurationen hinsichtlich ihres Rauschverhaltens untersucht und Möglichkeiten zur Verbesserung des Auflösungsverhalten diskutiert.

Obwohl in der Literatur bereits zahlreiche Entwicklungen von Mikrosystemen beschrieben wurden, stellt der Test von Mikrosystemen oft Neuland dar. Strategie der Mikrosystementwicklung am IMS ist die enge Anlehnung an einen Standard-CMOS-Prozess. Entsprechend wird für das Testkonzept eine Ergänzung der für den Standardprozeß vorhanden Meß- und Prüftechnik angestrebt. Grundlage ist die zuvor durchgeführte Analyse und Modellierung des Sensorverhaltens. Zur Ergänzung der Inline-Meßtechnik werden zwei Verfahren zur magnetischen Charakterisierung der Permalloyschicht nach der Schichtabscheidung diskutiert. Die am IMS vorhandenen Strukturen zur Parametererfassung für den CMOS-Prozeß werden um spezielle Teststrukturen für die Sensortechnologie ergänzt. Ein Hauptanliegen dieser Arbeit sollte die Entwicklung von Verfahren zur magnetischen Charakterisierung der Sensoren im Waferverbund sein. Dafür wird eine spezielle Probecard beschrieben, mit der an einem kommerziellen Waferprober sowohl der Sensortest als auch magnetische Parametermessungen an Teststrukturen möglich sind. Abgeschlossen wird das Kapitel mit der Beschreibung eines Testers für aufgebaute Sensoren.

Damit wird in dieser Arbeit parallel zur Technologieentwicklung das Produkt, hier am Beispiel integrierter Fluxgatesensor, hinsichtlich seiner Eigenschaften analysiert und optimiert. Es werden Meß- und Testverfahren entwickelt, die unter Produktionsbedingungen die in der Spezifikation angegebenen Eigenschaften garantieren können und die Möglichkeit einer gezielten und effizienten Kontrolle und Optimierung der Technologie geben.