

3D GMR Magnetfeld-Sensoren

*Ronald Lehdorff¹, Claudia Glenske¹, Tsung-I Yin¹,
¹Sensitec GmbH, Hechtsheimer Str. 2, 55130 Mainz*

Zusammenfassung

Wir präsentieren hier die Funktionsweise und Optimierung von 3D Magnetfeld-Sensoren basierend auf dem GMR-Effekt. Die Optimierung erfolgte im Hinblick auf den erforderlichen Messbereich und wichtige Kenngrößen wie Hysterese und Signalrauschen. Zu diesem Zweck wurden einerseits Veränderungen am GMR Schichtsystem vorgenommen als auch die weichmagnetischen Flussführungen unter Zuhilfenahme von FEM Simulationen angepasst. Es konnten unter anderem die Messbereiche $+1,2\text{mT}$ und $+2,4\text{mT}$ erzielt, sowie das Signalrauschen auf weniger als $0,3 \mu\text{T}$ verbessert werden.

Keywords: magnetische Sensoren, GMR, 3D

Die Erfassung aller drei Raumkomponenten des magnetischen Feldes ist in verschiedenen Anwendungsfeldern von Interesse. Im Massenmarkt dominiert der elektronische Kompass. Hier werden aufgrund ihres Preisvorteils vorwiegend Hallensoren eingesetzt, obgleich auch andere Technologien verfügbar sind (AMR, GMR, TMR, Fluxgates, etc.). Diese Bauteile bieten digitale Schnittstellen und Baugrößen von teilweise nur noch $1,2\text{mm} \times 1,2\text{mm}$. Sie sind allerdings oft in ihrer Geschwindigkeit auf etwa 100Hz eingeschränkt. Mögliche Anwendungen im Industriebereich sind beispielsweise die Positionserkennung beweglicher Objekte, aber auch der Nachweis von Strömen in kompakten Leistungselektroniken [1]. Speziell im letzten Fall sind eine geringe Baugröße und eine hohe Bandbreite sehr wichtig, um im Package Stromspitzen erkennen und darauf reagieren zu können. Eine geringe Baugröße von weniger als 1mm^2 und eine analoge Schnittstelle liefern die passenden Randbedingungen und lassen eine individuelle Verarbeitung der Signale zu. Viele weitere Anwendungen auch in den Bereichen Verkehrsüberwachung oder weiße Ware stehen offen.

GMR Effekt

Der Riesenmagnetowiderstand oder GMR Effekt (giant magnetoresistance) entsteht in Schichtstapeln aus ferromagnetischen und nichtmagnetischen metallischen Schichten mit Dicken im Nanometerbereich. In seiner

technologischen Umsetzung als sogenannte Spinvalve-Struktur wird eine ferromagnetische Schicht durch „Pinning“ mittels einer antiferromagnetischen Schicht in ihrer magnetischen Ausrichtung festgehalten, während die Magnetisierung einer weiteren ferromagnetischen Schicht dem äußeren Magnetfeld frei folgen kann. Zwischen den beiden ferromagnetischen Schichten befindet sich eine metallische Zwischenschicht (siehe Abb. 1). Diese Struktur ändert ihren elektrischen Widerstand abhängig vom Winkel zwischen den beiden Magnetisierungen. Bei paralleler Ausrichtung liegt typischerweise ein niedriger Widerstand vor, bei entgegengesetzter Ausrichtung ein hoher (siehe Abb. 2).

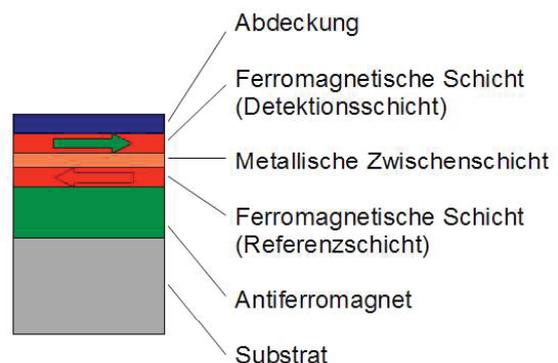


Abb. 1: Schematische Darstellung eines GMR Spinvalve Schichtstapels.

Der GMR Effekt entsteht an den Grenzflächen zwischen den Schichten, was dazu führt, dass die magnetischen Schichten deutlich dünner ausgeführt werden können

als beim anisotropen Magnetowiderstand (AMR) während gleichzeitig auch noch die erzielbare Widerstandsveränderung beim GMR größer ist. Je dünner eine magnetische Schicht ist, desto leichter lässt sie sich aber durch äußere Magnetfelder beeinflussen. Daher können mit GMR Schichten Magnetfeldsensoren mit deutlich größerer Signalsteilheit erzeugt werden.

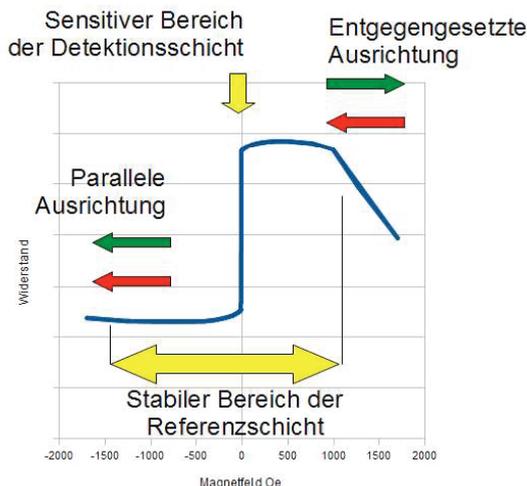


Abb.. 2: Typischer Widerstandsverlauf eines GMR Spinvalve Schichtstapels im äußeren Magnetfeld mit Indikation der Magnetisierungen in Detektions- und Referenzschicht.

Weichmagnetische Flussführungen

Die GMR Spinvalve Schichten haben eine einheitliche Empfindlichkeitsrichtung auf dem ganzen Wafer auf dem sie abgeschieden und im Magnetfeld ausgelagert wurden. Um damit aber einen Sensor zu erzeugen, der alle drei Raumrichtungen des Magnetfeldes nachweisen kann, muss man weitere magnetische Strukturen auf dem Wafer erzeugen, die den magnetischen Fluss einfangen und umleiten.

In Abbildung 3 ist das Konzept schematisch dargestellt. Das weichmagnetische Material in Form zweier unregelmäßiger Trapeze fängt den horizontal einfallenden Magnetfluss ein, da es durch seine hohe Suszeptibilität dem Magnetfluss einen geringeren Widerstand entgegengesetzt als die umgebende Luft. Im schmalen Spalt zwischen den Trapezen tritt der Magnetfluss auf dem kürzesten Weg über und weist dabei eine um etwa 90° gedrehte Richtung auf im Vergleich zum äußeren Feld.

Derartige Strukturen werden galvanisch in photolithographisch hergestellte Masken abgeschieden. Das Nickel-Eisen kann dazu in Schichtdicken von 3-15µm mit

Strukturbreiten in einem ähnlichen Bereich abgeschieden werden.

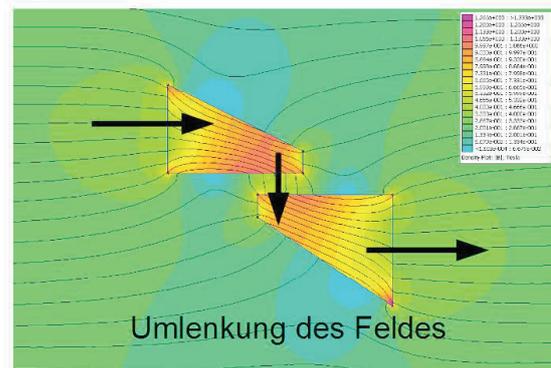


Abb.. 3: Konzept zur Umlenkung des Magnetflusses mittels weichmagnetischer Strukturen (hier unregelmäßige Trapeze). Der Magnetfluss wird durch Feldlinien (schwarz) und Farbschattierungen für die Amplitude dargestellt (abgestuft von blau = gering bis rot = hoch). Abbildung erzeugt mittels FEMM [2].

Sensorlayout

Die Sensoren vom Typ GA757 weisen drei Wheatstonebrücken auf, die jeweils orthogonale Komponenten des äußeren Magnetfeldes nachweisen sollen. Die Brücken, welche die Komponenten parallel zur Chipfläche nachweisen (x und y), sind sehr ähnlich und weisen runde Flussführungen auf. Die Brücke für die senkrechte Komponente (z) hingegen weist einfache rechteckige Flussführungen auf (vgl. Abbildung 4). Es ist so schon einfach ersichtlich, dass die Eigenschaften der x- und y-Brücke sehr ähnlich sein werden, während die z-Brücke etwas abweicht. Dies hat sich auch bewiesen.

Ziele der Entwicklung

Die generelle Funktionalität der 3D GMR Magnetfeld-Sensoren wurde bereits nachgewiesen [3]. Die weitergehenden Aktivitäten hatten einige Verbesserungen zum Ziel:

- 1) Anpassung des Messbereiches,
- 2) Verringerung der Hysterese,
- 3) Verringerung des Signalrauschens,
- 4) Verbesserung der Orthogonalität der verschiedenen Signale,
- 5) Unterdrückung von Querfeldeinflüssen.

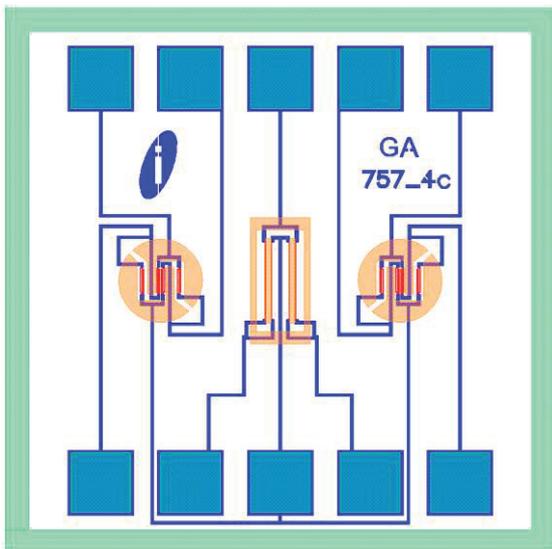


Abb.. 4: Sensorlayout GA757. Die GMR Streifen sind rot, Verdrahtung blau und Flussführungen braun dargestellt.

Die ersten drei Punkte der Liste wurden durch Anpassungen am GMR Schichtstapel adressiert. So wurde zum Beispiel die Dicke der Detektionsschicht (vgl. Abbildung 2) so weit angehoben, bis der erwünschte Messbereich erzielt wurde. Diese Anpassung beruht auf der Auswirkung der Formanisotropie. Sie bewirkt, dass sich die Magnetisierung in dickeren Streifen schwerer Auslenken lässt als in dünnen. Dies folgt in etwa der Gleichung [4]:

$$H_k \propto t/w$$

Dabei steht H_k für das Magnetfeld, das zur vollen Auslenkung der Magnetisierung erforderlich ist, t für die Dicke der magnetischen Schicht und w für die Breite des GMR Streifens.

Die Ziele 4 und 5 wurden durch Anpassungen der Flussführungen angegangen. Dazu wurden FEM Simulationen mit ANSYS-Maxwell [5] durchgeführt. Zur Unterdrückung von Einflüssen des Magnetfeldes in der Ebene auf die z-Brücke wurde eine Abschirmung in Form eines Rahmens eingefügt. In Abbildung 5 ist ein Simulationsergebnis dargestellt. In der Ebene des Sensors liegt ein Magnetfeld von 1kA/m an. Am Ort der GMR Streifen (Elm 1 bis Elm 4) konnte das Feld um mehr als 50% abgeschwächt werden. Eine Übersteuerung der z-Brücke durch Felder in der Ebene wird damit erfolgreich vermieden.

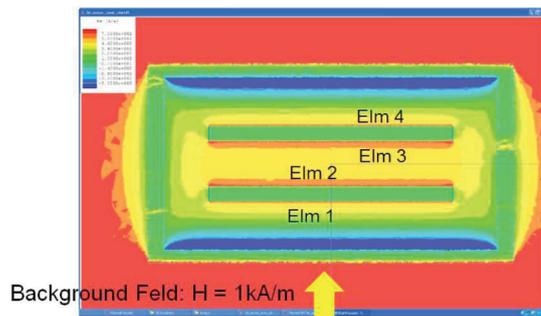


Abb.. 5: FEM Simulation der z-Brücke mit Rahmen zur Abschirmung von Magnetfeldern in der Ebene (90° gedreht im Vergleich zu Abb. 4). Die Magnetfeldstärke ist von blau nach rot ansteigend dargestellt.

Ergebnisse

Durch Variation der GMR Schicht wurden Prototypen für die Messbereiche $\pm 1,2\text{mT}$ und $\pm 2,4\text{mT}$ hergestellt. Die weiteren, wesentlichen Fortschritte waren:

- 1) Verringerung der Hysterese bei kleinen Auslenkungen auf unter 2 Prozent,
- 2) Signalrauschen (rms) kleiner als 1 Promille des Messbereichs (vgl. Abb. 6),
- 3) Orthogonalitätsabweichung geringer als 5 Prozent,
- 4) Querfeldeinfluss auf Sensitivität der z-Brücke kleiner als 5 Prozent.

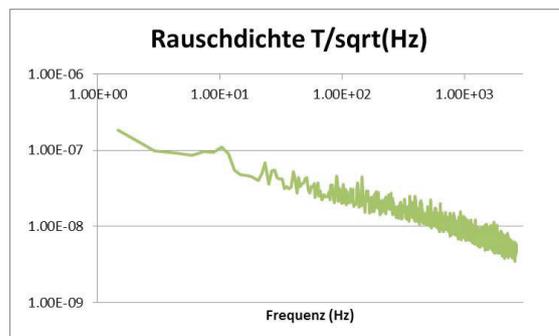


Abb.. 6: Feldrauschdichte der x-Brücke eines GA757 Sensors im Bereich von 1 bis 2600 Hz. Über diesen Bereich integriert ergibt sich ein Rauschuntergrund von 266 nT.

Ausblick

Es stehen Prototypen des GA757 mit dem präsentierten Stand und unterschiedlichen Messbereichen zur Verfügung. Zudem sind momentan noch Untersuchungen im Gange, um Hysterese und Rauschen weiter zu verbessern.

Literaturnachweis

- [1] R.D. Lorenz, et al., "*Integration of GMR's in Power Electronic Package Layout to Achieve Multifunctional Sensing*", 12th Symposium Magnetoresistive Sensors and Magnetic Systems, Wetzlar, 2013
- [2] <http://www.femm.info/wiki/HomePage>
- [3] C. Glenske, U. Loreit, "*New 3D-Magnetic Field Sensors with GMR-Spin Valve Layers*", Tagungsband 10. MR-Symposium, Wetzlar, 2009
- [4] S. Tumanski, "*Thin Film Magnetoresistive Sensors*", CRC Press, ISBN 9780750307024
- [5] <http://www.ansys.com/Products/Electronics/ANSYS-Maxwell>