

Abb. 3.26: Rauschen von U_{2f} mit Lock-in Verstärker für $I_{Exc} = 2.83 \text{ mA}$

Diese Effekte machen es schwierig mit vertretbarer Meßzeit ein reproduzierbares Kriterium für die Sensorauflösung zu erhalten.

3.4. Ausblick

Ein möglicher Ausweg für die Fertigung ist die Messung des Klirrfaktors (engl. Total Harmonic Distortion = THD) des Sensorsignals bei Anregung mit einem harmonischen Wechselfeld. Dieses Verfahren wird u.a. in /BOL 90/ als Methode zur Charakterisierung der magnetischen Eigenschaften von Übertragerkernen angegeben. Der Klirrfaktor THD ist definiert als Verhältnis des Effektivwertes der Oberschwingungen zum Effektivwert der Gesamtschwingung

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U} \quad (3.28)$$

des Sensorausgangssignals bei Anregung mit einem harmonischen Magnetfeld. Die THD kann als ein Grenzwert für die Sensorauflösung gesehen werden. Das Meßverfahren zeichnet sich durch seine Schnelligkeit gegenüber den anderen Methoden aus und kann zur Fertigungsüberwachung der Sonden eingesetzt werden. Die Frequenz des anregenden Wechselfeldes liegt bei 1...10 Hz deutlich unter der Grenzfrequenz der Sonde. Die Amplitude entspricht dem geforderten Meßbereich (z.B. 160 A/m). Dieses Verfahren wird auch mit Erfolg zur Einstellung des Erregerstromes der Sonde FGS1 eingesetzt. Der Grund für den steilen Anstieg der THD in Abb. 3.27 oberhalb 5 mA sind Übersteuerungseffekte in den Spulentreibern des Ansteuer-ASICs.

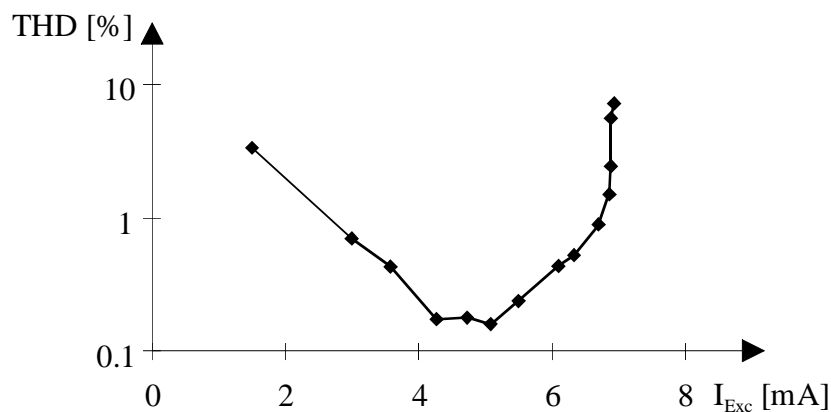


Abb. 3.27: THD-Analyse an FGS1-Sonde für $\hat{H}_0 = 150 \mu\text{T}$

Bis hierher wurden die Methoden zur Charakterisierung der Sensorauflösung beschrieben. Die Domänenwandbewegung im Kern und die damit verbundenen Effekte sind dabei limitierend. Zurecht stellt sich nun die Frage, wie die Sensorauflösung verbessert werden kann.

Erster und sicher wichtigster Schritt ist die definierte Einstellung der induzierten Anisotropie des Kernmaterials. Eine Neuordnung der spontanen Magnetisierung und damit eine definierte Einstellung der Kristallanisotropie kann durch Erwärmen des Materials über die Curietemperatur T_C hinaus und anschließendes Abkühlen unter Magnetfeld erreicht werden. Messungen ergaben für das derzeit verwendete Kernmaterial ein $T_C > 800 \text{ K}$, so daß eine Magnetfeldtemperatur bei $550 \text{ }^\circ\text{C}$ und mehr notwendig wäre. Am Ende des CMOS-Prozesses nach Abscheidung der Metallisierung sind jedoch Temperungen mit Temperaturen über 450°C kritisch. Wird eine Magnetfeldtemperatur unterhalb der Curietemperatur vorgenommen, kann zwar die Vorzugsrichtung eingestellt werden, jedoch erfolgt keine vollständige Neuordnung des Materials. Liegen hier für ganzflächig abgeschiedene Schichten noch Erfahrungen aus der Literatur vor, so muß für die strukturierten Sensorkerne zusätzlich der Einfluß der aus der Kerngeometrie resultierenden Formanisotropie auf den Erfolg der Temperung geklärt werden. Erste Versuche mit einem auf DC-Heizung umgestellten Ofenrohr zeigten keinen Einfluß auf die Sensoreigenschaften.

Ausweg wäre möglicherweise eine Abscheidung der Kernlegierung unter Magnetfeld. Allerdings ist der Einbau einer geeigneten Magnetisierungsvorrichtung in eine Standardbedampfanlage für 150 mm - Wafer aufwendig und stellt die Nutzbarkeit der Anlage für andere Prozeßschritte in Frage. Durch den Abstand zwischen den Kernen und der übrigen abgeschiedenen Schicht auf der Opferschicht könnte es allerdings bereits bei der Abscheidung zur einer störenden Formanisotropie kommen.

Perspektivisch sollte auf 3- oder 4-komponentige Legierungen und damit auf Magnetron-Sputtern übergegangen werden. Derartige Prozesse befinden sich derzeit noch in Entwicklung und sind für 150 mm - Wafer kommerziell nicht verfügbar. Dabei ist unklar, ob eine definierte Einstellung der Kristallanisotropie möglich und bei generell verbesserten magnetischen Eigenschaften notwendig ist.

Ein zweiter Punkt ist die Optimierung des Schichtstapels. Ziel ist die Vermeidung der Bildung von Legierungen mit schlechteren magnetischen Eigenschaften an den Grenzflächen des Kerns und Verunreinigungen, die zu der in Abb. 3.10 gezeigten Haftung von Domänenwänden führen

können. Erste Untersuchungsergebnisse für ganzflächig abgeschiedene Schichten sind in Kapitel 4.2 zu finden. Vermutlich ist der Einfluß auf das Sensorverhalten aber erst nach einer definierten Einstellung der Kristallanisotropie zu klären.

Gleiches gilt für eine der Domänenkonfiguration angepaßte Kernform. Entsprechende Versuche wurden bereits an bifilaren Sensoren mit abgerundeten bzw. spitzen Kernenden entsprechend des Vorschlags in /MCC 96/ für magnetoresistive Sensoren gemacht. Ein Einfluß auf die Sensorauflösung konnte wegen der undefiniert eingestellten induzierten Anisotropie und der prinzipiellen Nachteile der bifilaren Sensorkonfiguration nicht nachgewiesen werden. Für den optimierten trifilaren Sensor nach Abschnitt 2.6. wurden spitz auslaufende Kernenden als vermutlich optimale Variante auch hinsichtlich der Sensorauflösung gewählt.

Zur Untersuchung der Effekte kann die in Abschnitt 3.2 verwendete Kerr-Mikroskopie mit den elektrischen Analysemethoden dieses Abschnitts gekoppelt werden, indem man Sensoren mit halben Spulen-Pitch (ggf. durch eine modifizierte MET2-Maske) fertigt. Durch die entstehenden Lücken der integrierten Spulen können die Domänenkonfigurationen im Kern beobachtet und mit den elektrischen Resultaten korreliert werden. Entsprechende Vorversuche waren erfolgreich.

Zusammenfassend sind durchaus Möglichkeiten zur weiteren Steigerung der Sensorauflösung gegeben. Dabei ist die gezielte Einstellung der Kristallanisotropie die vordringlichste Aufgabe, ohne die andere Maßnahmen vermutlich wirkungslos bleiben. Allerdings ist die Lösung dieses Problems nicht ohne erheblichen technologischen und damit finanziellen Aufwand möglich. Da mit der derzeit verwendeten Abscheidungstechnologie bereits eine für die Kompaßapplikation ausreichende Sensorauflösung erreicht wird, die den mit der Ansteuer- und Ausleseelektronik möglichen 1mV entspricht, würde der Vorteil vor allem in einer verbesserten Prozeßsicherheit und dem daraus resultierenden verringerten Testaufwand liegen.