

Magneto-transport and microstructure properties of $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Ga}_{0.5}\text{Ge}_{0.5})/\text{Cu}$ lateral spin valves

Ikhtiar^{1,2}, S. Kasai¹, A. Itoh^{1,3}, Y.K. Takahashi¹, T. Ohkubo^{1,3}, S. Mitani^{1,2}, and K. Hono^{1,2}

¹ Magnetic Materials Unit, National Institute for Materials Science, Tsukuba 305-0047, Japan

² Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8577, Japan

³ Department of Materials Science and Technology, Tokyo University of Science, Tokyo 125-8585, Japan

As the areal density of hard disk drives (HDDs) has been expected to go beyond 2 Tbit/inch² for the next 10 years¹⁾, very narrow read heads with reliable performance would be strongly desired. With regards to this issue, lateral spin valves (LSVs) have been proposed to be one of candidates for very narrow read head applications. Since the two ferromagnetic layers in LSVs are laterally separated, very narrow shield-to-shield spacing is expected to be realized in this structure. However, as for all-metallic LSVs with ohmic contacts, the output voltage is much smaller than that of vertical magnetoresistive devices such as current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance (CPP-GMR) and magnetic tunnel junctions (MTJ). Based on one dimensional spin diffusion model²⁾, one of the recipes to effectively enhance the output voltage of LSVs is to utilize highly spin polarized ferromagnets. In this meeting we will present our recent effort on the development of all-metallic LSVs utilizing $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Ga}_{0.5}\text{Ge}_{0.5})$ (CFGG) Heusler alloy exhibiting high spin polarization.

The starting multilayer stack of MgO (001) sub./Cr (1nm)/Ag (10nm)/CFGG (20nm)/Cu (20nm)/ MgO (2nm) was prepared by ultra-high vacuum magnetron sputtering system. After the deposition of CFGG film, the whole stack was annealed at 500°C to promote the B2 ordered structure of the CFGG film. The multilayer stack was then microfabricated into LSV devices with sub-micron scale dimension of CFGG ferromagnetic wires and Cu metallic channels. The scanning transmission electron microscopy observation on a representative LSV device confirmed the clean interface of CFGG/Cu contacts. At room temperature, a very large non-local spin signal (ΔR_s) of 17.3 mΩ was observed for a LSV device with center-to-center CFGG wires distance of 350 nm (Fig. 1). The fitting based on one dimensional model (Fig. 2) suggests that both high spin polarizations of CFGG film (P_F) and CFGG/Cu interfaces (P_I) contribute to the large non-local spin signals observed in this system.

References

- 1) “Status and Outlook”, *ASTC Fall 2013 Meeting*, Biltmore Hotel, Santa Clara, California, September 27, 2013.
- 2) S. Takahashi and S. Maekawa, *Phys. Rev.B*, 67, 052409 (2003).

Acknowledgements

This work was partly supported by NEDO “Strategic Innovation Program for Energy Conservation Technologies” and Grant-in-Aid for Scientific Research (A) (Grant Nos. 22246091 and 25249087).

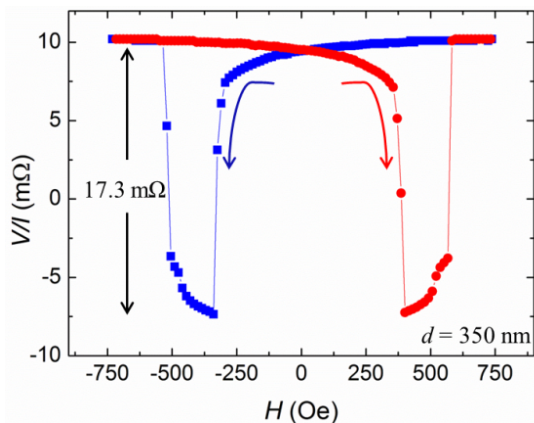


Figure 1. The non-local resistance change (V/I) of a LSV device exhibiting spin signal of 17.3 mΩ at room temperature.

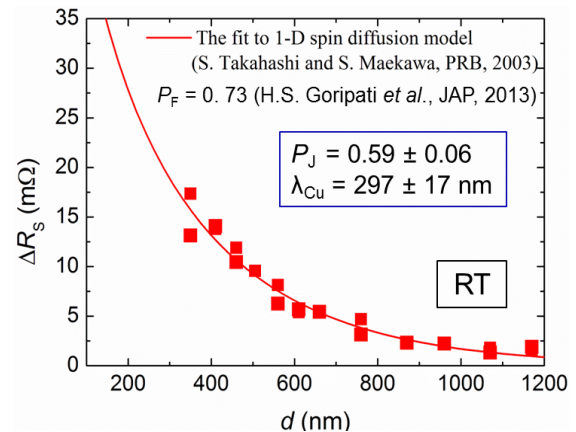


Figure 1. The non-local spin signals (ΔR_s) as a function of CFGG-wires distances measured at room temperature. The red line corresponds to the best fit based on one dimensional spin diffusion model.

Co₂(FeMn)Si ホイスラー合金を用いたスピン蓄積 MR センサーの高出力特性

白鳥 聡志、橋本 進、高岸 雅幸、上口 裕三、岩崎 仁志、山田 健一郎
東芝 研究開発センター

Non-local spin-valves using Co₂(FeMn)Si Heusler alloy with large output
S. Shirotori, S. Hashimoto, M. Takagishi, Y. Kamiguchi, H. Iwasaki, and K. Yamada
Corporate R&D Center, Toshiba Corporation

背景

再生ヘッドには TMR 効果を用いたスピバルブ型素子が用いられているが、低抵抗化に加えて、厚い反強磁性層を伴うため 20 nm 以下のシールド間隔(RG)の実現が課題である。一方、スピントロニクス分野ではピン層とフリー層を平面配置してスピン拡散を利用したスピン蓄積型 MR 素子 (non-local-spin-valves, NLSV) が注目を集めており、15 nm 以下の RG が可能である。しかし、メタル系 NLSV に関する既報告の出力は大変小さく(<20 μ V)¹⁾、再生ヘッドへの適応は困難である。1次元モデル²⁾によると NLSV の出力は微細化により急上昇する。そこで本研究では、50nm 級に微細化したホイスラー合金 NLSV 素子の出力特性を調べた。

実験方法

磁性層に(110)配向の多結晶 Co₂(Fe_{0.4}Mn_{0.6})Si (以下、CFMS)を用い、400°C で 1 時間のポストアニールを行った³⁾。その後、ナノインプリント法と Ar イオンミリングを用いて 2 本の磁性細線(CFMS1, CFMS2)を形成し、非磁性層の Cu を成膜し、磁性細線と同様の方法で非磁性細線を形成した。2 本の磁性細線幅、磁性細線間幅、非磁性細線幅はいずれも同じ幅 (W) で、50 nm から 150 nm とした。ここで、CFMS1 細線から Cu 細線にスピン偏極電流を注入し、純スピン流が Cu 細線で拡散伝搬されることによって、CFMS2 細線との間でスピン信号が得られる。磁性細線方向に磁場を印加して、室温での非局所 MR 測定を行った (図 1)。

実験結果

図 2 に W と 1mA 当たりの出力 ΔV の関係を示す。W=150nm では、 $\Delta V = 15 \sim 20 \mu$ V であり、単結晶ホイスラー合金 NLSV の出力と概ね一致する^{1), 4)}。W を 50 nm に狭めると、約 40 倍の 0.7 mV の出力が得られた。2 mA まで電流を印加することで最大 1.2 mV の出力が得られた。この実験結果は Cu のスピン拡散長(λ_N)を 200nm とした際の一次元モデル²⁾と良い一致を示した。1次元モデルから、W = 10 nm では 10 mV 級の出力が予想され、NLSV は狭 RG および狭トラック幅再生に適する。

本研究の一部は、戦略的省エネルギー技術革新プログラム (NEDO)の援助により実施した。

参考文献

- 1) Y. K. Takahashi, et al., Appl. Phys. Lett. **100**, 052405 (2012)
- 2) S. Takahashi et al., Phys. Rev. B **67**, 052409 (2003).
- 3) 長谷他、日本磁気学会学術講演会予稿集 3pC-1 (2013)
- 4) S. Sakuraba et al., Digests of 58th MMM, BP-13 (2013)

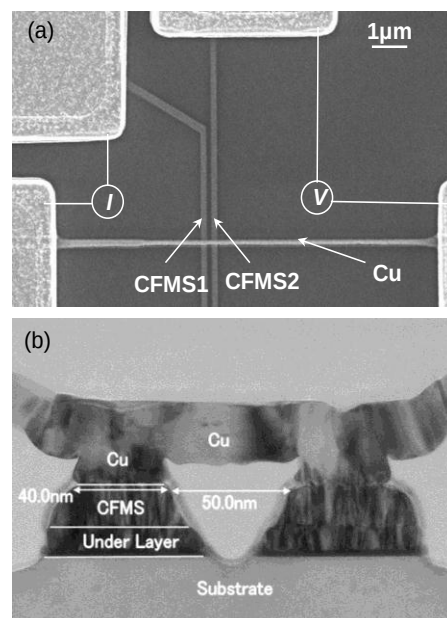


図 1 (a)NLSVs の平面像(W = 150 nm)
(b)NLSVs の断面 TEM 像(W = 50 nm)

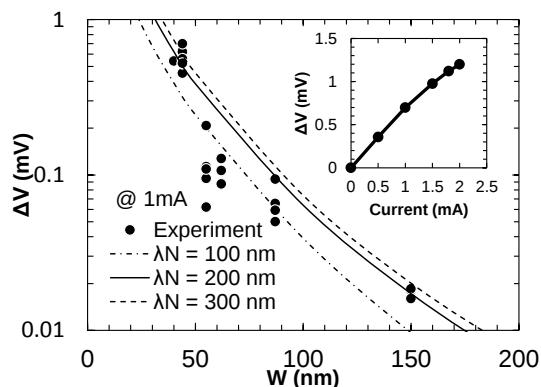


図 2 出力のデバイスサイズ W 依存性と注入電流依存性(挿入図)

SMR-MAMR 用ヘッドの高周波記録電流への応答解析

片山拓人、金井靖、吉田和悦¹、Simon J. Greaves²、村岡裕明²
(新潟工科大、¹工学院大、²東北大)

High-frequency response analysis of SMR-MAMR head

T. Katayama, Y. Kanai, K. Yoshida¹, S. J. Greaves², H. Muraoka²
(Niigata Inst. of Tech.,¹Kogakuin Univ.,²Tohoku Univ.)

はじめに

高周波アシスト磁気記録(MAMR)方式は、高周波発振素子(STO)から発生する高周波磁界を主磁極からの記録磁界に重畳し、高異方性媒体への記録を容易にする¹⁾。STOには磁界強度ともに、記録ヘッドのコイル電流が反転しても安定した発振が求められる。我々は安定したSTOの発振磁界を得るために、STOを挿入する主磁極-トレーリングシールドギャップ(MP-TS gap)を垂直記録媒体に対して傾ける構造(Tilted-STO)により、STOに加わる面内磁界を小さくし、安定した発振を得ることを示した²⁾。本報告では、Tilted-STOで記録ヘッドのコイル電流を1-2 GHzとしてマイクロマグネティック解析を行った。その結果、記録ヘッドの寸法を小さくすることでMP-TS gap磁界のコイル電流への追従性が良くなり、2 GHzの記録電流に対しても安定したSTOの発振が得られたので報告する。

計算モデルと計算条件

Fig.1に示すようにSTOは、高周波発振層(FGL)とスピン注入層(RL)の二層構造からなり、垂直磁気記録媒体に対して30度傾けた。注入電流密度は、 3.0×10^8 A/cm²としRLからFGLへ流れることを想定した。記録ヘッドコイルの起磁力を0.4 AT_{0p}とし、ヘッドABSから11 nmの位置で磁界を観測した。また、Table1に記録ヘッドおよびSTOの諸元を示す。

計算結果

Fig.2にコイル電流を1GHzおよび2 GHzとしたときの記録磁界、MP-TS gap磁界およびSTOによる発振磁界の応答を示す。1 GHzではFull model、Half modelとも安定した発振が得られたが、2 GHzではFull modelはMP-TS gap磁界のコイル電流への応答が悪く、STOの発振は不安定である。一方、Half modelはMP-TS gap磁界のコイル電流への追従性が良好であり、安定したSTOの発振を得た。さらに、Half modelでは、コイル記録電流の反転時に、STOの発振磁界が安定するまでの時間が短く、高い周波数での記録が可能と思われる。

参考文献

- 1) J.-G. Zhu, X. Zhu, and Y. Tang: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, no. 1, pp.125- 131 (2008).
- 2) T. Katayama, Y. Kanai, K. Yoshida, S. J. Greaves, and H. Muraoka: *INTERMAG EUROPE*, CR-19 (2014).

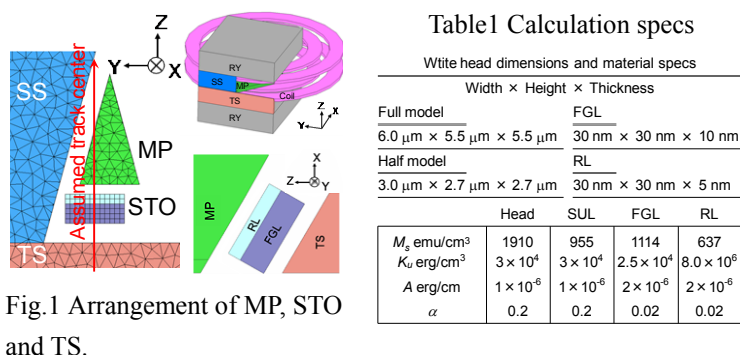


Fig.1 Arrangement of MP, STO and TS.

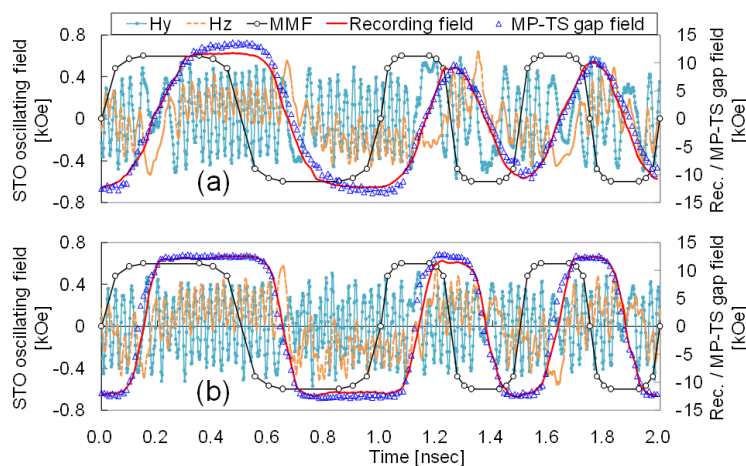


Fig.2 Head field and STO oscillation responses to switching of coil current. (a) Full model. (b) Half model. Note: Responses between - 8 nsec to 0 nsec are not shown.

TMR ヘッドから発生する磁化揺らぎノイズに関する研究

遠藤 恭, 樊 鵬, 山口正洋 (東北大工)

Study on the magnetization fluctuation noise in TMR read heads with various stripe heights

Yasushi Endo, Peng Fan, Masahiro Yamaguchi (Tohoku Univ.)

はじめに HDD の大容量化にともない、磁気記録媒体における記録ビットサイズの低減と、再生用磁気ヘッドの微細化が要求されている。なかでも、ヘッドの微細化を進めるうえで面積抵抗 (Resistance area product : RA) の低減が課題であり、RA の低いヘッドでは高い出力を得るために電流密度が増加する可能性がある。しかしながら、高電流密度下では、熱による磁化揺らぎノイズ (マグノイズ) に加えて、スピントルクによる不安定な磁化揺らぎが発生し、ノイズが著しく増大する恐れがある¹⁾。

これまでに、我々は素子サイズおよび RA およびの減少にともないマグノイズに対するスピントルクの影響が深刻な問題となりうることを報告した²⁾。本研究では、より小さな素子サイズかつ低 RA の TMR ヘッドから発生するマグノイズの電流密度依存性を詳細に検討し、ノイズがヘッドの S/N 比を劣化させる臨界電流密度について検討した。

実験方法 試料は MgO 絶縁層をもつ TMR ヘッドである。素子サイズに関しては、トラック幅 36 nm と固定し、ストライプ高さを 15~45 nm と可変させた。また、RA は $0.9 \Omega \cdot \mu\text{m}^2$ である。このヘッドには永久磁石が具備されており、そのバイアス磁界の方向は参照層の磁化方向と直交している。外部磁界はヘッドの面内ストライプ高さ方向に印加し、その強度を 0–1800 Oe の範囲で変化させた。バイアス電流はヘッドの膜面直に流し、電流密度を $0 - 6.8 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$ の範囲で変化させた。外部磁界を参照層の磁化方向と反平行に印加した場合を正と定義する。また、電流密度に関してはバイアス電流を自由層から参照層に流した場合を正と定義する。外部磁界の強度と極性、また電流密度の大きさと向きを変化させてヘッドから生じるノイズのスペクトルを 0.1–20 GHz の周波数範囲で計測した²⁾。

実験結果 素子サイズ $36 \times 15 \text{ nm}^2$ の TMR ヘッドにおいて、電流密度を $+1.3 \times 10^{11}$ および $+6.8 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$ に固定し、外部磁界を変化させたときのノイズスペクトルの一例を Fig. 1 に示す。電流密度が $+1.3 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$ の場合、外部磁界 0 Oe のとき、8.2 GHz 付近にピークが観測された。外部磁界を $+1800 \text{ Oe}$ まで増加させると、ピークの位置は低周波側へ移動するものの、その強度は減少した。このピークは主に自由層から発生するマグノイズによると考えられる。一方、電流密度が $+6.8 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$ の場合、8.2 GHz 付近で観測されたピークは外部磁界 $+800 \text{ Oe}$ 付近で急峻となり、さらに外部磁界を増加させるとその強度は減衰した。この結果は、マグノイズがスピントルクの影響により増大したものと推察される。

マグノイズのスピントルクによる影響を明確にするために、外部磁界 $+800 \text{ Oe}$ 印加したときに観測された 7.2 GHz 付近のピークに着目して、そのピーク強度と半値幅を電流密度の大きさと向きに対してまとめた。Fig. 2 に示すように、電流密度の方向を負から正へ反転させてその大きさを増加させていくと、ピーク強度は著しく増大し、その半値幅は線形的に減少した。これらの挙動からもマグノイズがスピントルクの影響により増大したことを理解できる。また、ヘッドに流す電流密度をさらに増加させるとピークの半値幅がゼロとなり、その閾値 (臨界電流密度) を超えると自由層の磁化の定常的な歳差運動が起こり、ノイズが著しく増大することが予測できる¹⁾。したがって、ピークの半値幅の電流密度に対する変化を利用して半値幅がゼロとなる臨界電流密度を求めたところ、約 $+1.5 \times 10^{12} \text{ A/m}^2$ であった。この値は、これまでの報告に比べて一桁高く、素子サイズの低下により形状異方性が強くなっていることによると考えられる。

以上の結果から、この臨界電流密度近傍から、マグノイズの増大がトルクの影響を受けて顕著となり、ヘッドの S/N 比をより劣化させる可能性がある。

謝辞 本研究は情報ストレージ研究推進機構(SRC)の協力のもとで行われた。

参考文献 1) S. Petit *et al.*, Phys. Rev. B, **78**, 184420 (2008)., 2) Y. Endo *et al.*, IEEE Trans. Magn., **49**, 3745 (2013)他。

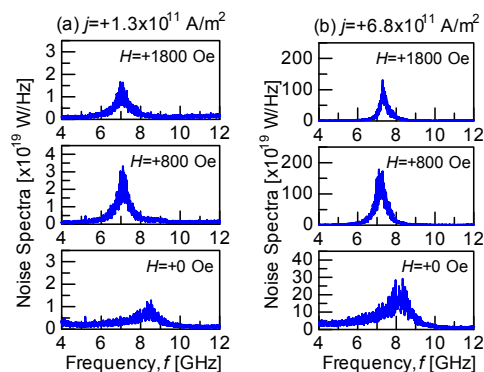


Fig. 1. Noise spectrum in the TMR head with a size of $36 \times 15 \text{ nm}^2$ as a function of positive magnetic field with $j = +1.32 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$ [(a)] and $+6.76 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$ [(b)].

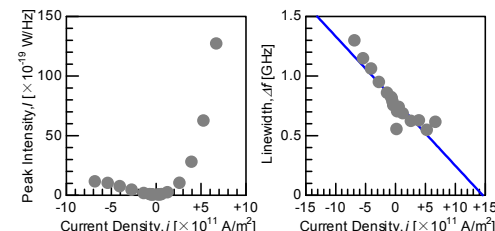


Fig. 2. Peak intensity I and line-width Δf of the strong noise spectral peak in the TMR head as a function of j with $H = +800 \text{ Oe}$. Solid line represents the linear function obtained from the least square fitting to the data of the line-width.