

アモルファス磁性体を用いた熱アシストスピン注入技術の開発と MRAM への応用 (052106002)

Thermally assisted spin transfer switching in amorphous magnetic alloys and its application to MRAM

研究代表者

加藤剛志 名古屋大学 大学院工学研究科

Takeshi Kato, Graduated School of Engineering, Nagoya University

研究期間 平成 17 年度～平成 19 年度

本研究開発の概要

ユビキタスコンピューティング環境で、携帯情報機器などの小型化、高性能化に必須の高密度磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)を開発するために、スピン注入による磁化反転の臨界電流の減少を検討する。本研究では、比抵抗の高いアモルファス磁性材料に熱とスピン注入を用い、より低い電流密度でナノ磁性体のスピン反転を実現する技術の確立を目指す。さらに磁気特性を制御したアモルファス磁性体の磁化ダイナミクスを計測し、磁気特性による磁化反転時間の制御を行なう。また、アモルファス磁性体を用いたスピン注入素子の磁化反転時間を計測し、超高速スイッチングの可能性を検討する。

Abstract

Reduction of the critical current density of the spin transfer writing has been discussed in order to develop ultrahigh density magnetic random access memories opening prospect of small sized and high functional mobile applications. This research aims to confirm thermal and current induced switching in amorphous magnetic alloys for establishing the technology of low current density spin transfer switching. Moreover, the increase of the switching speed of the amorphous alloys has been discussed by measuring the magnetization dynamics of the amorphous alloys.

1. まえがき

スピンエレクトロニクスデバイスの一例である磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)は、SRAM 並みの高速性、DRAM なみの高集積度の可能性をもち、さらに電源を切っても不揮発なため、これらのメモリを置き換えるユニバーサルメモリとして期待される。現在 16 Mbit MRAM が Freescale 社から供給されるようになった。今後記憶容量を増大しギガビットクラスの MRAM が実現されれば DRAM を置き換え、電源を投入すると瞬時に立ち上がるインスタントオンのコンピュータが可能になる。さらに高密度・大容量化されれば磁気ディスクを置き換え、高速動作可能なコンピュータシステムも可能になるとして期待されている。この MRAM の高密度化のための技術として熱アシスト磁化反転やスピン注入磁化反転が提案されているが、熱アシスト磁化反転ではこれを可能にする有効な材料、素子構成が、スピン注入磁化反転では低い反転電流密度と高い熱安定性の両立が研究課題となっている。本研究では希土類-遷移金属(RE-TM)アモルファス材料への熱アシスト磁化反転、スピン注入磁化反転を検討し、これを融合した熱アシストスピン注入磁化反転への展開を図ることを目的とする。さらにこれらの技術に重要となる RE-TM 膜の磁化ダイナミクス計測を行い、RE-TM 材料における超高速磁化反転の可能性を検討する。

2. 研究内容及び成果

2.1 RE-TM 膜への熱アシスト書き込み

RF マグネトロンスパッタ法により熱酸化膜付き Si 基板上に SiN (10 nm) / TbFe (80 nm) / SiN (10 nm) を成膜し、電子ビーム露光と電子サイクロトロン共鳴 Ar プラズマを用いたイオンエッチングにより電流が集中するような狭窄構造を微細加工した。作製したパターンに 100 Oe の磁界中で電流パルス(パルス幅 5 – 1000 nsec)を印加し熱磁気書き込みを行った。電流パルスの印加後の磁区形

状を磁気力顕微鏡(MFM)により観察することで磁化反転の有無を確認した。

図1は種々の素子サイズに加工した TbFe 膜に熱アシスト書き込みを行った際の反転に必要なパワー密度、エネルギー密度の電流パルス幅依存性を示している。反転に必要なパワー密度はパルス幅の増大とともに減少する。これはパルス幅が短くなることで Curie 温度まで上昇するためにより多くの電力を必要とすることを意味する。しかしながらそのパワー密度は 10 nsec 程度でも 2 mW/μm²程度と十分実現可能なパワー密度で高速の熱アシスト磁化反転が可能であることを示している。次に反転に必要なエネルギー密度は、パルス幅が 30 nsec 程度以下で、ほぼ一定値 20 pJ/μm²と非常に小さな値となる。シミュレーションにより、これは基板などへの熱放出の影響が小さくなり、系が断熱的になるためと分かった。なお、反転に必要なパワー密度、エネルギー密度が素子寸法にあまり依存せず、RE-TM 膜を用いた熱アシスト磁化反転が高密度 MRAM 実現に有効な手法であることを示している。

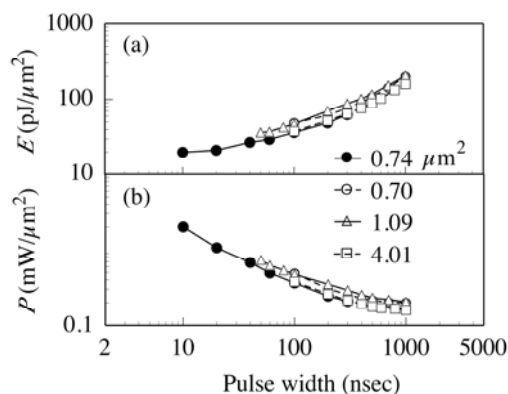


図1 種々のサイズに微細加工した TbFe 膜への熱アシスト反転に必要な(a)エネルギー密度、(b)パワー密度の電流パルス幅依存性

2.2 RE-TM 膜を用いたスピン注入素子

Tb₁₁(Co₉₀Fe₁₀)₈₉(5 nm) / CoFeB(1 nm) / Cu(3 nm) / CoFeB(1 nm) / Tb₁₅(Co₉₀Fe₁₀)₈₅(20 nm)の構成のスピン注入素子を作成し、この素子にパルス幅 100 msec の電流パルスを印加し、印加後の抵抗値を測定した結果を図 2 に示す。なお、測定中の印加磁界は 4.2 kOe であり、上下磁性層の磁化を平行にする方向に印加し、スピン注入磁化反転をアシストさせている。初期状態では高抵抗状態 (1.866 Ω) であったが、18 mA 程度の電流パルスを印加することで低抵抗状態 (1.862 Ω) に遷移した。見積もられる電流密度は $J = 8 \times 10^7$ A/cm² 程度と CoFeB 系スピン注入素子と同程度であった。しかしながら、TbCoFe の抵抗率から概算した素子にかかる電力密度は 6 mW/μm² 程度であり、2.1 節からこの磁化反転は熱による効果が非常に大きいことを意味している。

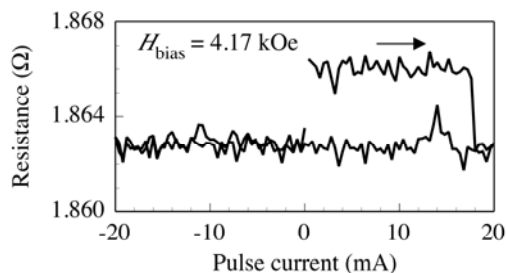


図 2 120 nm x 180 nm に微細加工した Tb₁₁(Co₉₀Fe₁₀)₈₉ (10 nm) / CoFeB (1 nm) / Cu (3 nm) / CoFeB (1 nm) / Tb₁₅(Co₉₀Fe₁₀)₈₅ (20 nm) のパルス電流印加による磁化反転

2.3 RE-TM 膜の磁化ダイナミクス評価

本課題で作製した超短パルスファイバレーザを用いた pump-probe 光学系を用いて GdFeCo(30 nm)の磁化ダイナミクスを測定し、有効 g 係数、有効ダンピング定数の Gd 組成依存性を調べた。さらに有効 g 係数 g_{eff} 、ダンピング定数 α_{eff} の評価に從來から用いられる強磁性共鳴 (FMR) 測定との比較も行った。pump-probe 法および FMR 法で測定した g_{eff} 、 α_{eff} 、歳差運動周波数 f の Gd 組成依存性を図 3 に示す。角運動量補償組成を C_A 、磁化補償組成を C_M として図中に示した ($C_A : c = 23.8$ 、 $C_M : c = 25.2$)。ここで、角運動量補償組成 C_A は Gd と FeCo の g 係数をそれぞれ $g_{\text{Gd}} = 2.0$ 、 $g_{\text{FeCo}} = 2.16$ として求めた。また、図中の実線は $g_{\text{Gd}} = 2.0$ 、 $g_{\text{FeCo}} = 2.16$ と仮定した有効 g 係数の計算値である。pump-probe による結果を黒丸で、FMR による結果を白丸で示した。pump-probe の測定結果より、 g_{eff} 、 α_{eff} は C_A 付近で増加がみられ、 f は TM-rich 側から C_M に近づくにつれ増加した。また、 g 値は C_A 、 C_M 付近以外で計算値とよくあっている。 g_{eff} 、 α_{eff} の C_A での増加は、Gd と TM の各副格子の g 値が異なると仮定した時、角運動量補償組成で g 値が分散することから定性的に説明できる。今回測定した GdFeCo 膜の有効 g 係数 g_{eff} 、有効ダンピング定数 α_{eff} は最大でそれぞれ $g_{\text{eff}} = 3.8$ 、 $\alpha_{\text{eff}} = 0.4$ であり、一般的な強磁性材料の g 係数 (2 程度)、ダンピング定数 (0.1 以下) に比べて非常に大きい。つまり RE-TM 膜では角運動量補償による高速磁気デバイス開発が可能であることを示すことができた。

3. むすび

本研究では RE-TM 膜の磁化ダイナミクスの測定、熱アシスト磁化反転、スピン注入磁化反転の検討を行い、

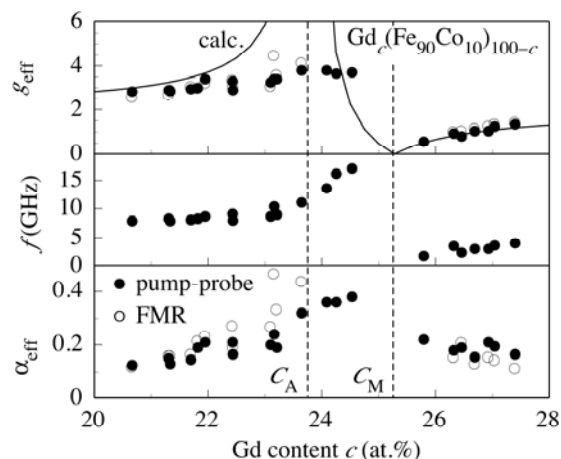


図 3 GdFeCo 膜の有効 g 係数、有効ダンピング定数 α_{eff} 、歳差運動周波数の Gd 組成依存性。黒丸は pump-probe、白丸は FMR 測定の結果

RE-TM 膜が超高速磁化反転を可能とする材料であること、および低電力での熱アシスト磁化反転が可能であり、超高密度 MRAM に適した材料であることを示すことができた。RE-TM 膜のスピン注入磁化反転はその効果を確認するとどまったが、今後材料の変更により低電流密度での磁化反転が可能となるものと考えられる。

【誌上発表リスト】

- [1] L. You, T. Kato, S. Tsunashima, S. Iwata, “Dynamic Heating in Micron- and Submicron-Patterned TbFe Films”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 47, No. 1, pp. 146-149 (2008.1).
- [2] K. Nakazawa, T. Kato, N. Nishizawa, S. Tsunashima, S. Iwata, “Magnetization Dynamics in GdFeCo Films Measured Using a Ultra Short Pulse Fiber Laser”, MORIS 2007 Workshop on Thermal and Optical Magnetic Materials and Devices, (Pittsburgh, USA) (2007.9.24).
- [3] N. Taniguchi, T. Kato, S. Tsunashima, S. Iwata, “Simulation of Thermomagnetic Recording Process for High Density Magnetic Field Modulation Method”, J. Magn. Soc. Jpn., vol. 6, No.2, pp. 596-599 (2006.11).

【申請特許リスト】

- [1] 松本幸治、森河剛、尾崎一幸、綱島滋、岩田聡、加藤剛志、“磁気記録媒体、磁気記録再生装置、および磁気記録媒体の製造方法”、日本、2007.10.16

【受賞リスト】

- [1] 谷口典隆 (研究補助者)、電気学会 A 部門マグネティックス技術委員研究奨励賞、“熱磁気記録過程シミュレーション解析による磁界変調記録の高密度化の検討”、2007.3.15
- [2] 中澤健 (研究補助者)、電子情報通信学会磁気記録研究専門委員会委員長賞、“超短パルスファイバレーザによる GdFeCo 薄膜の磁化ダイナミクス計測”、2008.3.7