

Current induced domain wall motion in TbFeCo alloys with various magnetizations

M. Quinsat, S. Nakamura, T. Shimada, Y. Ootera, H. Morise and T. Kondo
Corporate R&D Center, Toshiba Corporation, Kawasaki 212-8582, Japan.

Reducing the threshold current J_{th} of domain wall (DW) motion induced by spin transfer torque in perpendicularly magnetized nanowires is of technological importance, especially when only small current sources are available to drive the DW devices. In Co/Ni multilayers in which $J_{th} \sim 40 \text{ MA/cm}^2$, it has been shown that J_{th} is determined solely by the intrinsic energy difference between Neel and Bloch DW configurations [1]. By using materials having lower magnetization (M_s) than Co/Ni multilayers, e.g. amorphous TbFeCo ferrimagnetic alloy, smaller energy difference is expected [2]. In Tb alloys, J_{th} of 5 MA/cm^2 has been reported [3], while the influence of extrinsic DW pinning [4] has been shown [5].

In this report, we discuss the role of M_s on J_{th} in wires made of amorphous Tb alloys of various compositions, in which M_s range between 35 and 150 emu/cm^3 . To avoid etching damages to the magnetic materials, we directly deposited 9 nm thick Tb alloys wires on $2 \mu\text{m}$ wide Alumina bridges; we expect the properties of wire's films unaltered from the ones of plain films. We then measured DW velocities v - J (Fig.1), from which we extracted the current corresponding to the onset of DW motion by current J (Fig.2).

With the same fabrication method for the Co/Ni and Tb alloys wires, we obtained current values similar to literature (Fig.1). In Tb alloy wires, we obtained decrease of J_{th} when decreasing the M_s (Fig.2). Independent measurements of the DW pinning-strength a_H from v - H dependence, suggest that decrease of a_H may also contribute the observed reduction of J_{th} .

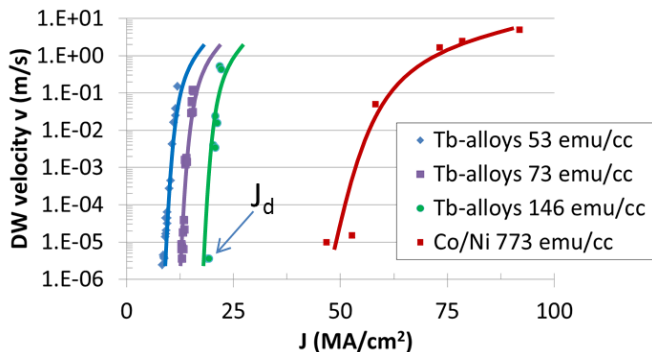


Fig.1: DW velocity vs. applied current J for Tb-alloys and Co/Ni multilayers wires (trend lines to guide the eye only).

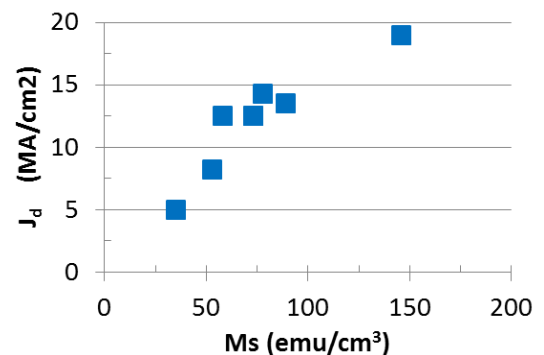


Fig.2: Onset current J_d obtained from v - J characteristics vs. M_s in Tb alloys.

Reference

- 1) T. Koyama, D. Chiba, K. Ueda, K. Kondou, H. Tanigawa, S. Fukami, T. Suzuki, N. Ohshima, N. Ishiwata, Y. Nakatani, K. Kobayashi, and T. Ono, Nature Materials 10, 194 (2011).
- 2) G. Tatara and H. Kohno, PRL 92, 086601 (2004).
- 3) D.-T. Ngo, K. Ikeda, and H. Awano. Appl. Phys. Express, 4, 093002 (2011).
- 4) S.-W. Jung, W. Kim, T.-D. Lee, K.-J. Lee, and H.-W. Lee., APL 92, 202508 (2008).
- 5) S. Li, H. Nakamura, T. Kanazawa, X. Liu, and A. Morisako. IEEE Trans. on Mag. 46, 6 (2010)

Co/Ni 細線における電流誘起磁壁移動実験

田浦皓士, 田中輝光, 松山公秀
(九州大学)

Measurement of current-induced domain wall shift in Co/Ni wire

K. Taura, T. Tanaka and K. Matsuyama
(Kyushu Univ.)

はじめに

垂直磁気異方性を有する Co/Ni 細線における電流誘起磁壁移動はレーストラックメモリ¹⁾などへの応用が期待され、近年、盛んに研究されている。本研究では、細線の一部に軟磁性薄膜と Co/Ni 人工格子膜とを交換結合させた ECC 構造部を設けて、これを簡易的な磁壁導入方法として利用し、Co/Ni 細線の電流誘起磁壁移動実験を行った。

実験方法

ガラス基板上に Ti/Au を下地層として Co/Ni 人工格子膜(Glass sub./Ti(5 Å)/Au(750 Å)/[Co(2 Å)/Ni(8 Å)]₈)を形成した。Co/Ni 上部に Co(20 Å)を成膜することで交換結合(ECC)部を作製した。電極および導体線部には Ti(5 Å)/Au(1000 Å)を蒸着法により形成し、リフトオフ法によりパターンを形成した (Fig. 1)。細線部の線幅は 20 μm である。膜厚方向外部磁界により ECC 部の磁化を局所的に反転させることで、細線部と ECC 部との境界近傍に磁壁を設定した。細線部にレーザーを照射し、極 Kerr 効果を利用して磁壁の移動を確認した。測定に用いたレーザーの有効半径は 5 μm である。

実験結果

Kerr 出力の変化は磁化の方向の変化によって生じるが、本研究のように磁場を印加し、さらに電流を流すような場合には磁気余効による磁化反転を考慮する必要がある。そこで磁壁移動による Kerr 出力の変化を検出するために、電流の向きを変えて Kerr 出力を測定し、その差分をとることで、スピン移行トルクによる磁壁移動を評価した。Fig. 2 に Kerr 出力の差分と印加電流との関係を示す。印加磁界 -795 Oe の場合、電流値が 21 mA 以下の場合には Kerr 出力に差が生じていないことから磁壁の移動は生じていないと考えられる。一方、電流値 21 mA で大きな差分出力が得られていることから、電流方向に依存した電流閾値で磁壁の移動が生じたと推測される。本研究では Co/Ni 細線の下部に下地層として Au を用いているため、電流の大部分は下地の Au 層を流れていると考えられるが、電気抵抗率と膜厚から単純計算すると電流密度 $5.5 \times 10^9 \text{ A/m}^2$ の電流が Co/Ni 部分に流れていると推測される。これは報告例のあるディピニング電流値よりもかなり小さな値であり、印加磁界によりディピニングがアシストされた結果であると推測される。また、さらに大きな電流の場合には、電流印加によるジュール熱に起因する磁気余効の影響が大きくなるため、磁壁移動による差分出力が小さくなったと考えられる。印加磁界が -740 Oe の場合には磁界によるディピニングのアシスト効果が小さくなるため磁壁が移動する電流閾値が 30 mA に増加している。逆に印加磁界が 690 Oe の場合には差分出力が観測されていないことから、逆磁区が形成できていない又は電流閾値が測定範囲外の大きな値になっていると推測される。

参考文献

- 1) S. S. P. Parkin, M. Hayashi, and L. Thomas, Science 320,190 (2008).

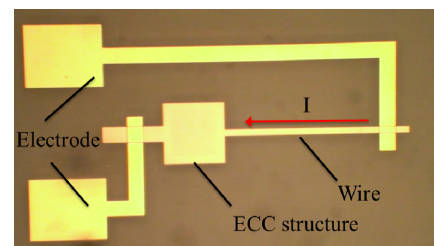


Fig.1 Experimental setup of current-induced domain wall shift in Co/Ni wire.

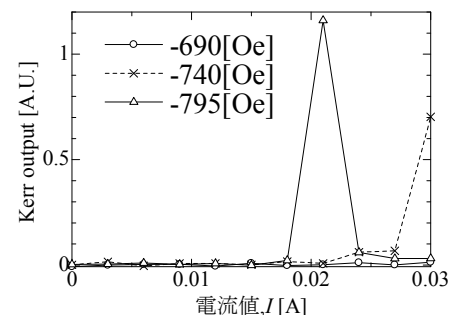


Fig.2 Differential voltage for Kerr output measured at -690, -740 and -795 Oe of reverse field.

垂直磁気異方性を持つ磁性細線に生成した

バブル磁区の電流下での挙動

田中雅章, 住友翔, 足立紀子, 金沢大樹, 本多周太*, 壬生攻, 栗野博之**
(名古屋工業大学, *関西大学, **豊田工業大学)

Current-induced dynamics for magnetic bubble domains in perpendicularly magnetized wires

M. A. Tanaka, S. Sumitomo, N. Adachi, H. Kanazawa, S. Honda*, K. Mibu, H. Awano**
(Nagoya Institute of Technology, *Kansai University, **Toyota Technological Institute)

はじめに

垂直磁気異方性を有する強磁性細線中の磁区や磁壁は、伝導電子によるスピントランスファートルクによりその位置を移動させることができ、スピントロニクスデバイスへの応用が試みられている[1]。我々はフェリ磁性体の希土類(RE)–遷移金属(TM)合金 TbFeCo 細線上に生成したバブル磁区の電流印加による形状の変化が、TbFeCo 細線の飽和磁化の大きさに強く依存することを見出した[2]。強磁性細線に非磁性金属が隣接する場合、電流印加時の磁壁の振る舞いは伝導電子によるスピントルクだけでなく、様々な方向のトルクを受ける。この原因は非磁性金属側からのスピンホール効果の影響やラッシュバ効果などが関係していると考えられている。本研究では TbFeCo の組成を調整して、飽和磁化及び磁化を支配する元素を変えた場合のバブル磁区の挙動を調べた。

実験方法

酸化膜付き Si 基板上に電子線描画装置を用いたリフトオフ法とスパッタリング法を用いて、線幅数十 μm の TbFeCo/Pt 構造または TbFeCo/Ta 構造の細線を作製した。TbFeCo は、その組成を変えることで、飽和磁化を変えた。また Tb の磁化が dominant な RE dominant 試料と Fe, Co の磁化が dominant な TM dominant 試料を用意した。細線全体の磁化を上向きに飽和させた後、下向き磁場中で細線の中心をレーザーで加熱して細線上にバブル磁区を生成した。細線に直流電流を流し、バブル磁区の様子をカー光学顕微鏡で観察した。

実験結果

図 1(a)に Pt/TbFeCo/Pt 構造の TM dominant 試料に磁化方向下向きのバブル磁区を生成し、面直方向に 100 Oe の磁場を印加しながら $5.7 \times 10^{10} \text{ A/m}^2$ のパルス電流を 10 回印加した結果を示す。初期位置からバブル磁区が中心軸に対して左に傾きながら変形していることがわかる。また、バブル磁区の磁化方向を上向きにすると右に傾きながら変形することが確認できた。一方、図 1(b)に RE dominant 試料を用いると TM dominant 試料と変形方向が左右反対になることもわかった。これらの結果は、スピン偏極電流のスピントランスファートルクだけでは説明できず、スピンホール効果などが影響していると考えられる。

参考文献

- 1) D. Chiba *et al.*, Appl. Phys. Express, **3**, 073004 (2010).
- 2) M. A. Tanaka *et al.*, Appl. Phys. Express, **8**, 073002 (2015).

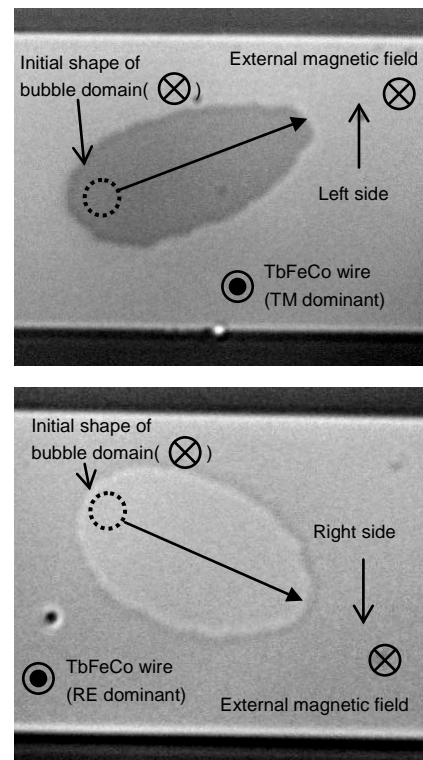


Fig. 1 Kerr images of current-induced dynamics of bubble domains in TbFeCo wires; (a) TM dominant. (b) RE dominant.

電流誘起有効磁場測定における熱の影響

河口真志、森山貴広、水野隼翔、山田貴大、柿塚悠、小山知弘*、千葉大地*、小野輝男
(京都大、*東京大)

Thermal artifacts in the current induced effective fields measurement.

M. Kawaguchi, T. Moriyama, H. Mizuno, K. Yamada, H. Kakizakai, T. Koyama*, D. Chiba*, T. Ono
(Kyoto Univ., *Univ. of Tokyo)

はじめに

近年、強磁性金属多層膜を舞台として電流に誘起される有効な磁場が精力的に研究されている。この有効磁場は、磁化の動力学の観点からはスピンオービットトルクとも呼ばれ、スピン軌道相互作用を起源としていると考えられている。その大きさはアンペールの法則に従って電流によって誘起される古典的なエルステッド磁場に比べて一桁以上の値が報告されている¹⁾。これらを利用して省電力な磁化操作が期待できるため基礎・応用両面で注目を集めている。

この有効磁場を研究するにあたって、様々な測定方法が開発されてきた。その中で最も簡潔で広く行われているものが、電圧を検出する方法である。これらの方法では、磁化の変化が引き起こす抵抗変化を通して間接的に有効磁場の大きさを決定する。しかしながら、直接測定しているものは電圧であるため、有効磁場によるものではない電圧の寄与を拾ってしまう可能性がある。その中で最も注意すべきものは熱起電力による寄与である。有効磁場は電流によって誘起されるため、その測定を行う際に電流を流す必要があり、発熱によって温度勾配が生じる。強磁性体中において温度勾配が存在することで、異常ネルンスト効果による起電力が生じる。この異常ネルンスト効果による起電力は磁化と温度勾配に依存するため、有効磁場による電圧変化と同じような外部磁場・電流依存性を持つ可能性があり、注意深く分離する必要がある。今回、我々は異常ネルンスト効果による起電力の寄与を分離する方法を考案し、測定を行った。本講演ではその結果を報告する。

実験方法

スパッタで製膜されたFeを強磁性層とする金属多層膜を30 μm幅の細線に加工し、電流を流しながら細線幅方向の電圧を測定した。このとき、外部磁場を面内に印加して磁化を面内に飽和させ、外部磁場の方向を回転させて角度依存性を調査した。この測定を異なる電流方向についてそれぞれ行った。得られた電圧から横抵抗を算出し、電流方向の異なる二つのデータの差分をとった。その結果について考察を行い、データをフィッティングすることによって有効磁場の大きさを決定するとともに、フィッティングパラメータの外部磁場強度に対する依存性から有効磁場によるものではない電圧の寄与を決定した。

実験結果

MgO(2.2 nm)/Fe(*X* nm)/Pt(1.7 nm)/Ta(2.2 nm)/GaAs sub.における、異常ネルンスト効果によるものと考えられる起電力と、有効磁場による起電力の比を図1に示す。ここで、符号が負であることは、異常ネルンスト効果を考慮しない場合には有効磁場の大きさが過小評価されることを示している。実験の結果、異常ネルンスト効果による寄与は場合によっては有効磁場の大きさの数十%程度に達することがわかった(図1)。この結果は、電流誘起有効磁場の測定において熱による影響を注意深く取り除く必要があることを示している。

参考文献

- 1) M. Kawaguchi *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **6**, 113002 (2013).

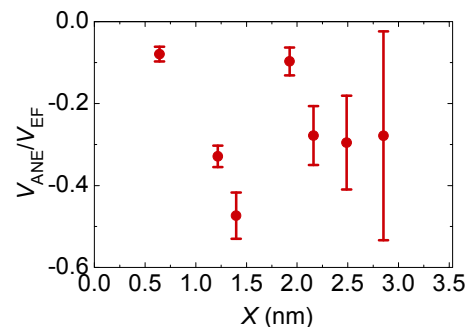


図 1. 様々な試料における異常ネルンスト効果による電圧。外部磁場強度が100 mTの場合における V_{ANE} と有効磁場による電圧 V_{EF} の比。

Pt/Fe 超薄膜における g 因子のスピントルク依存性

水野隼翔、森山貴広、河口真志、永田真己、田中健勝、小山知弘*、千葉大地*、小野輝男
(京大化研、*東大工)

Spin torque dependence of the g -factor in Pt/Fe ultrathin films

H. Mizuno, T. Moriyama, M. Kawaguchi, M. Nagata,

K. Tanaka, T. Koyama*, D. Chiba*, and T. Ono

(ICR, Kyoto Univ., *The Univ. of Tokyo)

はじめに

近年、磁気多層膜の界面における垂直磁気異方性は強い関心もたれ、垂直磁気異方性のメカニズムの解明を目指した研究がなされている。その起源として、界面における局在電子スピンの軌道磁気モーメントの異方性が提案されている[1]。そこで、我々はスピン偏極電流や電界が界面における軌道磁気モーメントの異方性に与える影響に注目し、研究を行っている。 g 因子は、磁化の歳差運動軸方向の軌道磁気モーメントを反映するため、軌道磁気モーメントの異方性の見積りに有用であるという報告[2]を踏まえ、今回、垂直磁気異方性を有する Pt/Fe 超薄膜の g 因子がスピン偏極電流によって受ける影響に関して、強磁性共鳴測定を用いて調査を行った。

実験方法

スピン軌道相互作用の強い系である Pt(3 nm)/Fe(x nm) ($x=0.56-0.86$ nm) 傾斜膜を GaAs sub./Ta(5 nm) 上にスパッタ成膜後、図 1 のように素子加工した。高周波電流 I_{rf} を注入し、外部磁場 H_{ex} を図の方向に印加することで、Fe 層には磁気共鳴由来の直流電圧が発生する。周波数を固定した状態で外部磁場を掃引しながらこの直流電圧を検出することで、Fe 膜における強磁性共鳴を観測した。さらに、直流電流 I_{dc} を加えることで、スピンホール効果により Pt 層から Fe 層へスピン偏極電流が注入される。今回、スピン偏極電流を注入した状態で、共鳴周波数の外部磁場依存性を測定した。

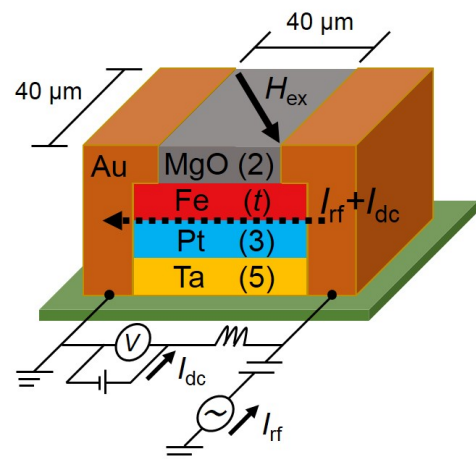


図 1. 測定の概略図

実験結果

直流電流と高周波電流を同時に印加した場合と、高周波電流のみの場合における、共鳴周波数 f の外部磁場依存性をそれぞれ図 2 に示す。両者には共鳴磁場の違いが見られた。キツテル方程式によると、このシフトは g 因子または有効磁場 $4\pi M_{eff}$ 、あるいはその 2 変数が同時に変化しているものと思われる。当日はこれらの変化について、スピントルクによる有効磁場や g 因子の変化、ジュール熱による影響の観点から議論する。

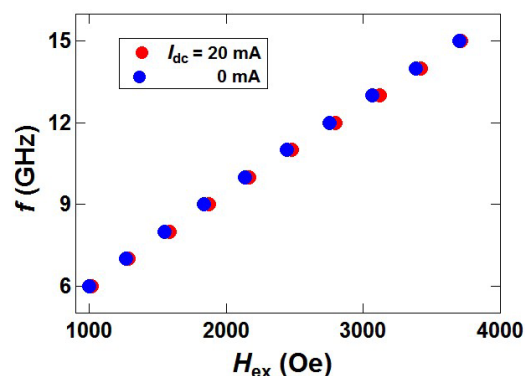


図 2. Fe = 0.86 nm 膜における周波数の共鳴磁場依存性

参考文献

- 1) P. Bruno, Phys. Rev. B **39**, 865 (1989).
- 2) Justin M. Shaw, *et al.*, Phys. Rev. B **87** 054416 (2013).