

## スピントルク応用磁性ナノワイヤの研究

### An application study of magnetic nanowire using spin torque transfer effect

栗野博之<sup>a</sup>, 池田浩太郎<sup>a</sup>, Duc The Ngo<sup>a</sup>, Do Bang<sup>a</sup>

Hiroyuki Awano<sup>a</sup>, Kotaro Ikeda<sup>a</sup>, Duc The Ngo<sup>a</sup>, Do Bang<sup>a</sup>

<sup>a</sup>豊田工業大学

<sup>a</sup>Toyota Technological Institute

アモルファス構造で結晶粒界を持たない垂直磁化膜 TbFeCo 合金を用いて磁性細線メモリやスピロジックの基礎検討を行った。TbFeCo 磁性細線における磁壁駆動臨界電流密度  $J_c$  は  $4 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$  と従来タイプ(Co/Ni 多層膜:  $3 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$  や FeNi 面内磁化合金  $1 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ )に比べて小さい事が判った。これを用いてスピロジックを提案し、原理実験結果を示した。

Basic examination of a magnetic nano-wire memory and spin logic was studied using the perpendicular magnetized amorphous TbFeCo alloy. The critical current density for driving domain wall is  $4 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ . It is very small value compared with the standard type (Co/Ni multilayer nano-wire :  $3 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$  and FeNi in-plane magnetized nano-wire :  $1 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ ). Using the TbFeCo nanowire, a new current drive spin logic was proposed and the principle experimental result was shown..

**背景と研究目的** : 伝導電子のスピントルクを用いたスピントロニクスが盛んに研究されている。IBMはSi基板に深いトレンチ穴を掘りそこにFeNi面内磁化膜からなる磁性細線を3次元配置した Racetrack memory[1] を提案している。しかし、この磁壁駆動に必要な臨界電流密度 $J_c$ は $1 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ と大きな値でこの改善が求められている。そこで、NEC/京大グループは垂直磁化Co/Ni磁性細線で磁壁を薄くする事によって電流密度を $3 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ にまで低減した[2]。我々は、磁壁移動の妨げとなる結晶粒界を持たない低磁化のアモルファスTbFeCo磁性細線で磁性細線を作り、電流密度を更に $4 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ まで低減

した[3, 4]。ここでその結果報告とこの材料を使った電流駆動型スピロジックを試作した。

**実験** : 磁性細線はリフトオフ法にて作成した。作成した試料のSEM写真を図1に示す。磁性細線幅は300nm~1500nmまで作成した。各細線は2本ずつ作成しており、記録磁区作成及び記録磁区移動の再現性も確認できるようにデザインした。磁性膜にはアモルファスTbFeCo膜を超高真空マグネトロンスパッタ装置にて作成した。電流による磁壁移動の実験のため、まず初めに保磁力以上の外部磁界を印加して試料を1方向に着磁し、左側の電極にパルス電流を

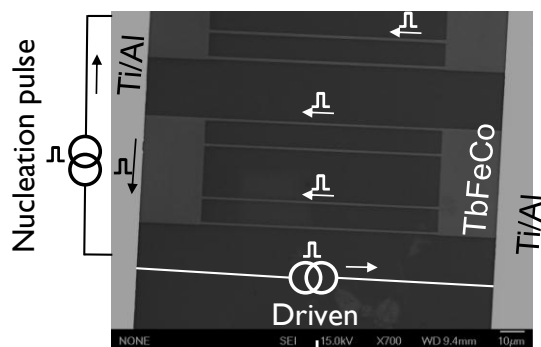


Fig.1. SEM image of the fabricated sample.

流して電流磁界を発生させ、磁性細線の左端に記録磁区を形成。次に、左右電極にパルス電流を印加して磁壁を動かす。この磁壁の移動は極 Kerr 偏光顕微鏡で観察した。

### 結果、および、考察：

図 2(a)には保磁力以上の外部磁界で初期化した磁性細線幅 800nm サンプルの偏光顕微鏡像を示す。この初期化した試料の左側の電極上から下に電流を印加し、電流磁界で磁性細線左端に記録磁区を作成する。次に左右に長い磁性細線の右側からパルス電流を印加すると記録磁区が電動電子のスピントルクの作用で右側に移動する。この状態を示したのが図 2(b)である。2本の磁性細線は同じ太さであり記録磁区は同距離移動していることが判る。更に、もう一つ記録磁区を追加して2発目のパルス電流で磁区を動かしたのが図 2(c)である。1発目の記録磁区も2発目の記録磁区も同じ距離だけ右側にシフトしているのが判る。この結果はメモリ機能の原理検証に相当しており、最低限の機能を確認したことになる。また、この  $J_c$  は  $4 \times 10^6 \text{ A/m}^2$  まで低減しており、従来型磁性細線の  $J_c$  よりも小さな値となっている。この原因として伝導電子散乱源となる結晶粒界の影響やフェリ磁性 TbFeCo による低飽和磁化の影響と考えられる。この低  $J_c$  の TbFeCo 磁性細線を使って新しい電流駆動型スピンロジックを提案し、原理実験で動作確認できた。

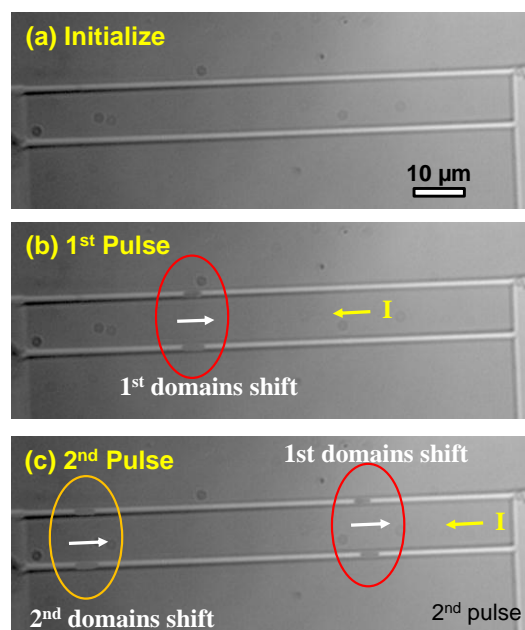


Fig.2. Polar Kerr optical microscope image of two TbFeCo nanowires of 800nm width. (a) Initialized by external magnetic field, (b) domains are shifted by 1<sup>st</sup> pulse injection. (c) four domains are shifted by 2<sup>nd</sup> pulse injection.

### 論文発表状況・特許出願

- [1] D-T. Ngo, K. Ikeda, and H. Awano ; Appl. Phys. Express, 093002 (2011) (Paper)
- [2] Hiroyuki Awano, Duc The Ngo, and K. Ikeda, 56th Annual Conference on MMM 2011 GD-14 (2011) (口頭発表)
- [3] H. Awano, S. Terasaki, N. Watanabe, and Duc The Ngo, MORIS 2011 (P104), (2011)
- [4] 兼平冬馬、高橋良彰、池田浩太郎、粟野博之、ドク テンゴ 第 35 回日本磁気学会学術講演会 (27p-B6), (2011) (口頭発表).

### 参考文献

- [1] Stuart.S.P. Palkin Masamitu Hayasi, Luc Thomas Science 320, 190-194 (2008).
- [2] T. Koyama, G. Yamada, H. Tanigawa, S. Kasai, N. Ohshima, S. Fukami, and T. Ono, Appl. Phys. Express 1, 101303 (2008).
- [3] D. Ngo, N. Watanabe, S. Terasaki, and H. Awano ; GC-03, Intermag 2011 Taipei, (2011)
- [4] D-T. Ngo, N. Watanabe, T. Kato, S. Iwata, and H. Awano ; P4, MORIS 2011 Nijmegen, (2011)
- [5] D-T. Ngo, K. Ikeda, and H. Awano ; Appl. Phys. Express, 093002 (2011)