

課題番号 : F-13-TT-0030
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名 (日本語) : スピン偏極キャリアを利用する排他的論理和ゲート動作の作製
 Program Title (English) : Fabrication of EXOR gate consisting of two magnetic electrodes with anti-parallel magnetization
 利用者名(日本語) : 酒井 政道¹⁾, 兼平 冬馬²⁾
 Username (English) : M. Sakai¹⁾, T. Kanehira²⁾
 所属名(日本語) : 1) 埼玉大学大学院理工学研究科物質科学部門, 2) 豊田工業大学工学研究科先端工学専攻
 Affiliation (English) : 1) Division of Material Science, Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, 2) Dep. of Advanced Science and Technology, Graduate School of Engineering, Toyota Technological Institute

1. 概要 (Summary)

排他的論理和 (EXOR) ゲートは、2進数の足し算、情報検索機、情報の暗号化・復号化、液晶表示器における電界制御などに使用されており、NAND や NOR のような万能ゲートと共に並んで汎用的な論理演算ゲートである。我々は、従来とは全く異なる原理によって動作する EXOR ゲートを理論的に提案している [1]。それは、自由電子のもつスピン軌道相互作用とスピン偏極度との結合性を利用して、単一の電流チャネル領域で、論理演算プロセスを完結させるものであり、これを使えば、原理上、MOS トランジスタの数を、従来技術の約 10 分の 1 にすることが出来る。そのような素子作製には、(I) スピン注入用強磁性電極の反平行磁化着磁、(II) 高 μS 値非磁性導体の開発 (μ はキャリア移動度、 S は磁場換算にしたスピン軌道相互作用の強さ)、(III) 素子チャネル長の短小化、と云う 3 段階を経る必要がある。本年度の目標は、第 1 段階として、互い空間的に近接する、2 つの強磁性ソース電極の磁化方向を互いに反平行にすることである。

2. 実験 (Experimental)

作製した強磁性電極及び非磁性導体チャネルパターンを模式的に Fig. 1 に示す。表面酸化した Si 基板にアニソールで 1:1 に希釈した ポジレスト (ZEP 520A7) を塗布し、電子線描画装置 (日本電子製 JEOL6500F 及び東京テクノロジー製 Beam Draw) を利用して微細パターンを作製した。スパッタリング・電子線蒸着装置 (アルバック製) による Tb₂₆Fe₆₆Co₈ 細線 (厚さ 128 nm) 及び保護層 Pt (厚さ

2 nm) の形成後、ZDMAC によりリフトオフを行った。Tb₂₆Fe₆₆Co₈ 細線成膜と同時に磁化特性評価用に Tb₂₆Fe₆₆Co₈ 膜を同じ厚さで成膜し、その極 Kerr 効果をプローブ光波長 690 nm によって測定した。

こうして作製した近接した 2 本の Tb₂₆Fe₆₆Co₈ 電極の磁化方向を互いに反平行にするには、以下の手順による。(1) 2 本の Tb₂₆Fe₆₆Co₈ 電極共に面直方向に同じ向きに磁化させておく (平行磁化着磁)。(2) この状態で極 Kerr 効果顕微鏡撮影する。(3) 保磁力 (約 0.5 kOe) 以下の外部磁場を (1) の着磁方向に対して逆向きに印加する。(4) レーザー光 (波長 407 nm、照射パワー密度約 6×10^{10} W/m²) を片側の Tb₂₆Fe₆₆Co₈ 電極に沿って照射掃引加熱する。(5) 自然冷却後に、再び、極 Kerr 効果顕微鏡撮影する。(6) 加熱前後の極 Kerr 効果顕微鏡画像を差分処理することによって、反平行に着磁したかを判定する。

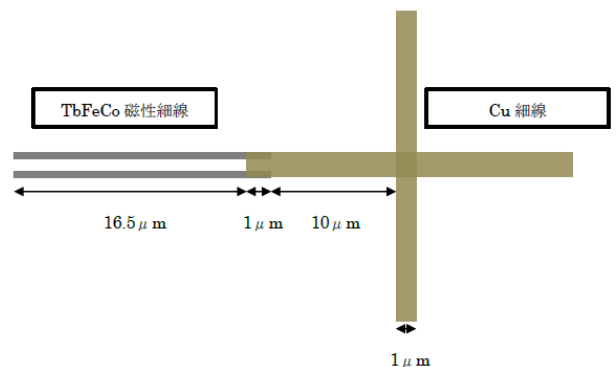


Fig. 1 : Schematic illustration of the two magnetic electrodes with nonmagnetic channel fabricated.

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig. 2に、 $Tb_{26}Fe_{66}Co_8$ 膜の極 Kerr 効果の測定結果を示す。磁化反転と共に Kerr 回転角の符号が反転するので、磁化の向きを判定するには、検光子を通して実像を観察すればよいことが分かる。ヒステリシスループが歪んでいるのは、磁化の面直成分の他に面内成分が混入した為であるが、その原因としては、100 nm以上の厚い膜の磁気特性が基板側と表面側とでは異なることが挙げられる。

Fig. 3に空間的に近接して成膜した2本の $Tb_{26}Fe_{66}Co_8$ 電極の極 Kerr 効果顕微鏡画像のレーザー照射前後の差分画像を示す。レーザー照射した左側の細線のみ黒色でし、その周囲部分は灰色になっていることが分かる。これは左側の細線のみ反対方向に磁化し、右側の磁性細線の磁化方向はレーザー照射前後で変化していないことを意味する。

以上のことから、約1 μm 隔てて隣接する2本の $Tb_{26}Fe_{66}Co_8$ 細線における磁化を、面直方向に、互いに反対向きに着磁することが技術的に可能であることが判明し、第1段階の目標を達成することが出来た。

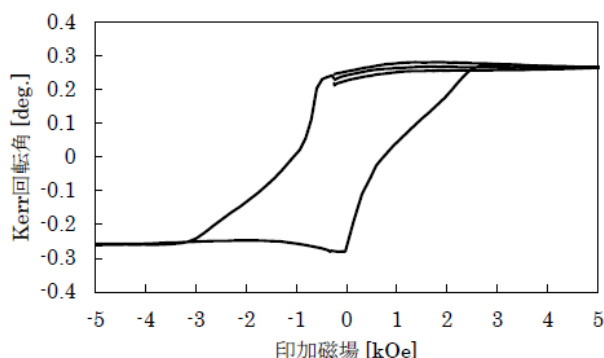


Fig. 2 : Hysteresis curve of the polar Kerr effect in $Tb_{26}Fe_{66}Co_8$ film

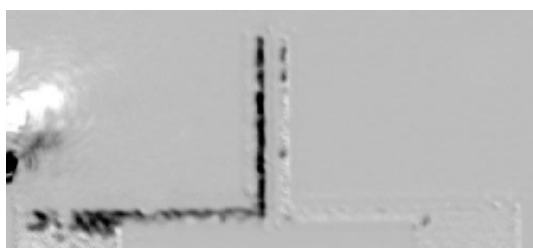


Fig. 3: Polar Kerr effect image induced by laser illumination onto the left part of electrodes.

4. その他・特記事項 (Others)

参考文献

[1] M. Sakai, K. Kakizaki, S. Hasegawa, A. Kitajima, A. Oshima, and H. Awano, "A design of spin polarization analyzer using transverse-longitudinal correlation in resistivities induced by spin-orbit interaction", *Jpn. J. Appl. Phys.* **52** (2013) 013004-1~7.

謝辞

本研究は、A-STEP フィージビリティスタディステージ探索タイプ「スピン偏極した電子及び正孔を利用する排他的論理和ゲート動作の実証研究」(2013年8月~2014年3月, 研究責任者・酒井政道)、および科学研究費(挑戦的萌芽研究)「電流注入型スピン偏極度計のデザインと擬似 XOR ゲートへの応用」(2012~2014年度, 研究代表者・酒井政道)の援助の下に実施されたものである。

共同研究者: 栗野博之教授

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) 酒井政道, "スピンプラライザー/アナライザーから構成する論理演算ゲート", *JST 発 新技術説明会資料集 pp.41-45* (第1回情報通信技術分野/社会基盤分野/ナノ・材料分野 2014年3月6日).

6. 関連特許 (Patent)

(1) 酒井政道, 長谷川繁彦, 北島 彰, 大島明博, "スピン偏極度測定方法及び測定メータ、並びにこれを用いた論理演算ゲート及び信号暗号復号化方法", 特願 2011-282394, 出願日 2011年12月22日.