

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 24日現在

機関番号：17102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860045

研究課題名（和文） 純スピン流のダイレクト制御技術の開発

研究課題名（英文） Development of control method for pure spin-current

研究代表者

家形 諭 (YAKATA SATOSHI)

九州大学・稲盛フロンティア研究センター・特任助教

研究者番号：00585929

研究成果の概要（和文）：強磁性/非磁性/強磁性の面内スピバルブ構造を作製し、純スピン流の生成、制御を目的として研究を行った。初年度は面内スピバルブ構造を作製し、界面を Ar ミリングによってクリーニングすることにより、純スピン流生成効率の高効率化および最適化を行い、次年度はスピン吸収体(NiFe 合金などの強磁性体)を構造体内に配置することによりスピン流が制御できること、およびスピン吸収体におけるスピン緩和時間の違いがスピン吸収量の違いとして現れることを示した。

研究成果の概要（英文）：

We prepared ferromagnet /Non-ferromagnet/ ferromagnet Lateral spin-valve (LSV) structure and succeeded to improve in spin-current generation. We also succeeded to control pure-spin current by placing spin-absorber (ferromagnetic metal such as NiFe alloy) in LSV.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物性・結晶工学

キーワード：スピエレクトロニクス，純スピン流，非局所スピバルブ

1. 研究開始当初の背景

電子の電荷を用いたエレクトロニクスデバイスに対し、電荷に加えて、電子のスピンを用いた分野をスピントロニクスとよぶ。さらに近年では、電荷を用いないで電子のスピンのみを用いることで、超低消費電力を実現する高機能デバイスを

実現するための研究開発が盛んに行われている。

2. 研究の目的

本研究が目指すのは、スピデバイス動作において最も重要な物理量であるスピン流の簡便な三次元空間分布の検出技術を確認し、その検出法を利用して、世界

初となるスピンのゲート変調技術を開発することである。走査プローブ顕微鏡を用いて開発するスピン流検出法は、高い空間分解能を有しており、面内スピバルブ素子中のスピンの可視化を可能にする。さらに、スピン軌道相互作用の電界制御技術を面内スピバルブ素子に接触した微細磁性薄膜に適用することで、スピン軌道相互作用を介した新奇で低消費電力なスピンの電界制御技術を開発する。

本研究では面内スピバルブ素子を作製し、

- ①スピン流生成の高効率化
- ②スピン吸収体を用いたスピンの制御を目的として行った。

3. 研究の方法

本研究では電子ビーム蒸着装置を用いて金属薄膜を作製し、電子線描画装置を用いて Py/Cu/Py 非局所スピバルブ構造を作製した。作製された素子を用いてスピン流を注入し、スピニングナルの検出を行った。

4. 研究成果

図1に作成されたスピバルブ構造の SEM 像を示す。I+, I-端子より電流を印加し、Cu 電極内にスピン流を生成する。生成されたスピン流は V+,V-端子より電圧として検出され、スピニングナルとよばれる。

- ①スピン流生成の高効率化

Py/Cu 界面のスピンコンダクタンスを大きくすることが、スピン流の効率化を行うための一つのアプローチである。そのため、Py 蒸着後、真空チャンバー内に

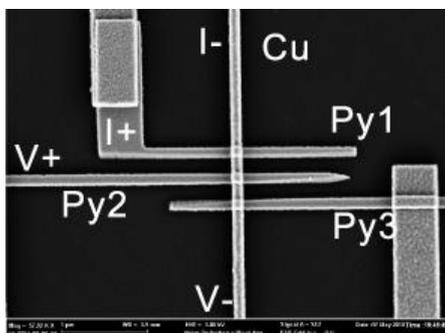


図1 Cu/Py/Cu スピバルブ構造の SEM 像

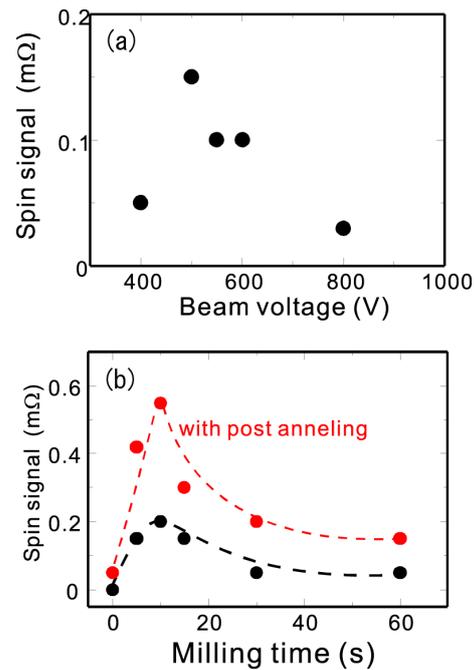


図2 (a)スピニングナルの Ar ビーム電圧依存性 および(b) Ar ビーム照射時間依存性。

て Ar イオンミリングによって Py 表面をミリングし、その後大気開放せずそのまま Cu 蒸着を行った。

イオンミリング電圧および時間に依存したスピニングナルの測定を行った結果を図2に示す。スピニングナルは、ビーム電圧および時間に依存して増大し、ある強度または時間を越えると、減少する傾向を示した。これはミリングによって、Py/Cu 界面の酸化物などの不純物が取り除かれ、スピンコンダクタンスが増大したと考えられる。長時間または高い電圧の Ar イオンに晒された場合、界面において欠陥を生じてしまうため、スピニングナルが減少してしまうことが考えられる。次に、熱処理を施すことにより、スピニングナルを増加させることを試みた。4 × 10⁻⁶ Pa の真空下において試料を 300 度で 1 時間加熱し、その後室温および低温 (77K) においてスピニングナルの測定を行った。その結果、熱処理前に比べて、スピニングナルはおよそ 2 倍以上増加した。ミリング時間が短い場合、または長い場合においても熱処理によるスピニングナルの増大効果がみられたことから、熱処理の寄与は界面の欠陥の除去だ

けでなく、その他の寄与が考えられる。**Cu** の電気抵抗を熱処理前後で比較した結果、熱処理によってコンダクタンスの値が 1.5 倍程度増加した。そのため、熱処理によって **Cu** 内のスピンコンダクタンスが増加し、結果スピニングシグナルの増大へと寄与したと考えられる。今後材料においても最適化を行うことにより、スピニングシグナルはさらに増大することができると考えられる。

②スピン吸収体を用いたスピン流の制御
スピン蓄積の多いところと少ないところへスピンが流れる現象が、スピン流である。そのためスピン蓄積の多い場所または少ない場所を人為的に作り出すことにより、スピン流のながれを制御することが可能になる。その一つのアプローチがスピン吸収体を配置する手法である。図 1 に示す SEM 像の **Py1** をスピン流生成電極、**Py2** をスピン吸収体、**Py3** をスピニングシグナル検出電極として用いた。得られたスピニングシグナルの結果を図 3 に示す。**Py2** のスピン吸収体がない場合に比べ、吸収体がある時にはスピニングシグナルは大きく減少した。これは **Py1** で生成されたスピン流が **Cu** 電極をとおり **Py3** へと拡散する途中において **Py2** へその一部が吸収されたためであると考えられる。また **Py2** の厚さを厚くするにしたがい、スピニングシグナルは減少していることから、スピン吸収体が **Cu** に接触する表面積が大きくなるにつれて吸収効率があがることがわかった。**Py2** へスピン流が吸収され

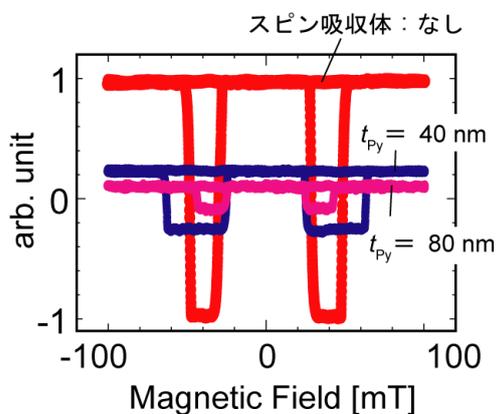


図 3 スピニングシグナルのスピン吸収体膜厚依存性。

る原因は **Py** 内におけるスピン緩和が **Cu** のそれと比較して大きいためであり、スピン蓄積量の勾配が生じるためである。またこの結果はスピン吸収体を配置することによりスピン蓄積の勾配を人為的に作り出し、スピン流のながれを制御できることを示す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

①M. Miyata, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada, and T. Kimura, "Formations of magnetic vortices in a chain array of triangle Py dots and an isosceles triangle Py dot", *J. Appl. Phys.*, 111, 2012, 07B902

②S. Yakata, M. Miyata, S. Honda, H. Itoh, H. Wada, and T. Kimura, "Chirality control of magnetic vortex in a square Py dot using current-induced Oersted field", *Appl. Phys. Lett.*, 99, 2011, 242507

③S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata, and T. Kimura, "Transport properties of pure spin currents in a polycrystalline Gd wire", *IEEE Trans. Magn.*, 47, 2011, pp. 2750-2752

④M. Miyata, S. Nonoguchi, S. Yakata, H. Wada, and T. Kimura, "Static and dynamical properties of a magnetic vortex in a regular polygonal nanomagnet", *IEEE Trans. Magn.*, 47, 2011, pp. 2505-2507

⑤M. Miyata, S. Yakata, T. Kimura, and H. Wada, "Control of Magnetic Vortex Chirality in a Regular Pentagonal Permalloy Nanomagnet Using In-plane Magnetic Field", *J. Magn. Soc. Jpn.*, 35, 2011, 216-219.

⑥M. Miyata, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada, and T. Kimura, "Formations of magnetic vortices in a chain array of triangle Py dots and an isosceles triangle Py dot", *J. Appl. Phys.*, 111, 2012, 07B902

⑦S. Yakata, M. Miyata, S. Honda, H. Itoh, H. Wada, and T. Kimura, "Chirality control of magnetic vortex in a square Py dot using current-induced Oersted field", *Appl.*

Phys. Lett., 99, 2011, 242507

⑧S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata, and T. Kimura, "Transport properties of pure spin currents in a polycrystalline Gd wire", IEEE Trans. Magn., 47, 2011, 2750-2752

⑨M. Miyata, S. Nonoguchi, S. Yakata, H. Wada, and T. Kimura, "Static and dynamical properties of a magnetic vortex in a regular polygonal nanomagnet", IEEE Trans. Magn., 47, 2011, 2505-2507

⑩M. Miyata, S. Yakata, T. Kimura, and H. Wada, "Control of Magnetic Vortex Chirality in a Regular Pentagonal Permalloy Nanomagnet Using In-plane Magnetic Field", J. Magn. Soc. Jpn., 35, 2011, 216-219

〔学会発表〕(計15件)

① K. Nakada, S. Yakata, T. Kimura, "Noise-induced Synchronization in Spin Torque Nano Oscillators" 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2011年11月3日, USA, Arizona

② M. Miyata, S. Yakata, H. Wada, T. Kimura, "Magnetic properties of double vortices stabilized in isosceles triangular ferromagnetic dots" 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2011年11月3日, USA, Arizona

③ K. Nakada, S. Yakata, T. Kimura, "Stochastic state transition of a spin torque nano oscillator" International Conference on Solid State Devices and Materials, 2011年9月30日, Japan, Aichi

④宮田真彦, 鬼石宏平, 家形諭, 和田裕文, 木村崇, "多角微小強磁性体中に安定化する磁気渦の動的特性"第35回日本磁気学会学術講演会, 2011年9月27日, Japan, Niigata

⑤ S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata and T. Kimura, "Efficient manipulations of pure spin currents using V-shape ferromagnetic wires" 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), 2011年8月3日, Japan, Matsue

⑥ S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata and T. Kimura, "Pure spin current injection into polycrystalline Gd" 6th International

School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), 2011年8月3日, Japan, Matsue

⑦M. Miyata, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura, "Control of vortex chirality using DC current injection" 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), 2011年8月5日, Japan, Matsue

⑧M. Miyata, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura, "Electrical detection of vortex core polarity in a polygonal nanomagnet" 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), 2011年8月5日, Japan, Matsue

⑨S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata and T. Kimura, "Transport properties of pure spin currents in a polycrystalline Gd wire" International Magnetic Conference 2011 (Intermag2011), 2011年4月26日, Taiwan, Taipei

⑩M. Miyata, S. Nonoguchi, S. Yakata, H. Wada, and T. Kimura, "Static and dynamic properties of a magnetic vortex in a regular polygonal nanomagnet" International Magnetic Conference 2011 (Intermag2011), 2011年4月26日, Taiwan, Taipei

⑪ S. Yakata, Y. Ando and T. Kimura, "Optimization of cleaning condition of Permalloy/Cu interface for efficient spin injection" IEEE TENCON2010, 2010年11月22日, Fukuoka

⑫M. Miyata, S. Yakata, M. Hara, H. Wada and T. Kimura, "Control of vortex chirality in polygonal nanomagnets" IEEE TENCON2010, 2010年11月22日, Fukuoka

⑬野々口誠二, 安藤裕一郎, 家形諭, 木村崇, "純スピンの注入により誘導されるループ電流とその検出"第66回日本物理学会年次大会, 2011年3月26日, 新潟

⑭宮田真彦, 家形諭, 木村崇, 和田裕文, "多角微小強磁性体の高周波磁化特性"第66回日本物理学会年次大会, 2011年3月26日, 新潟

6. 研究組織
(1) 研究代表者

家形 諭 (YAKATA SATOSHI)
九州大学・稲盛フロンティア研究センター・特任助教
研究者番号：00585929