

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23651150

研究課題名(和文)純スピン流の局所注入による多ビット情報書き込み技術の創出

研究課題名(英文) Innovative multiple-bit information writing using local pure spin current injection

研究代表者

木村 崇 (Kimura, Takashi)

九州大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80360535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：電子デバイスの高機能化に伴う情報量の増大は著しく、磁気記録装置の需要が年々増加している。ナノサイズの強磁性薄膜における多磁区構造と局所的な純スピン流注入を用いた革新的マルチビット磁気記録技術を考案し、その実現のために必要な磁気渦構造の旋回方向、及び渦数の制御技術、巨大な純スピン流を生成する多端子スピン流注入技術、及び純スピン流注入による局所領域磁化反転などの要素技術の開発に成功した。これらの要素技術を結集により、革新的マルチビット書き込み技術の展開が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have proposed an innovative way for writing multi-bit informations in a nano-sized magnetic dot and developed its elemental techniques. First, we have demonstrated that a multi vortex states can be stabilized in a nano-sized magnetic triangle. Secondly, we have developed a method for generating giant pure spin current by using multi-terminal spin injection. Finally, we have demonstrated a partial magnetization switching of the magnetic dot by pure spin current injection. By combining these techniques, a novel multi-bit information writing will be developed.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス

キーワード：純スピン流 多値メモリ 磁気記録

1. 研究開始当初の背景

電子デバイスの高機能化に伴うデジタル情報量の増大は著しく、ハードディスクなどの磁気記録装置の需要が年々増加している。このような磁気記録装置における次世代の記録方式として、孤立したナノ磁性体に、1ビット情報を書き込むパターンドメディア方式が注目されている。また、ナノ磁石の不揮発性とスピン依存伝導特性を利用して、省エネルギーなメモリや演算回路などを実現するスピンエレクトロニクスデバイスが注目されており、ナノ磁石を用いた応用研究が、低炭素社会実現のためのグリーンエレクトロニクスに貢献するとして、近年盛んに研究されている。

前述のスピンデバイスにおいては、単一のナノ磁石に1ビット情報を記憶するのが基本である。この場合、素子の微細化と共に、スピン方向を安定させるための磁気エネルギーが小さくなり、最終的には、熱擾乱によりスピンが不安定となる微細化限界に到達する。このような熱擾乱問題の解決策がいくつか研究されているが、書き込み電力が大きくなる、スピン伝導特性が悪くなる等の問題があり、すべての課題を克服できる技術は、提案すらなされていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、強磁性体をサブミクロンサイズに加工して人工的に創出した多磁区構造を用いて、複数の情報(多ビット化)を書込・記憶させる革新的磁気記録技術を開発することである。

申請者が考案した純スピン流(電気の流れを伴わないスピンの流れ)の局所的注入技術を用いた書き込みアーキテクチャは、多磁区構造を形成しているナノ磁性体の一部の磁区構造のみを選択的かつ低消費電力で反転させる技術が可能となり、限界が近づきつつある磁気記録技術に大きなブレークスルーを引き起こすと期待される。

3. 研究の方法

本研究では磁気記録層に、ドット形状にナノ加工したNiFeを用いた。NiFeドットは電子線描画とリフトオフ法により作製し、磁区構造は、磁気力顕微鏡を用いて観察した。

また、局所純スピン流注入を実現する構造として、横型スピンバルブ素子により非局所スピン注入法を用いた。ここで、細線構造からなる面内スピンバルブ素子(図1a)とピラー型の注入源と検出端子を有するナノピラー型のスピンバルブ素子(図1b)を用いて、純スピン流の生成効率や生成強度などを評価した。

4. 研究成果

純スピン流で制御する多磁区構造の候補として検討しているマルチ磁気渦構造に関

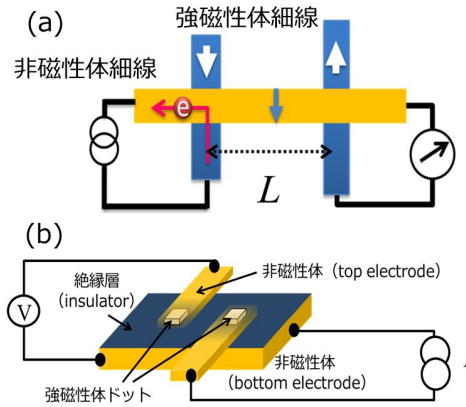


図1 (a)従来型純スピン流デバイスと(b) ナノピラー型純スピン流デバイスの模式図

して、高精度な制御技術を開発した。大きさがミクロンからサブミクロンのサイズの磁性体ドット中でスピンの渦上に回転した磁気渦構造が安定化することが知られている。この系において、ある一定の磁場領域で、スピン流に対する応答が可逆的に変化し、また、その変位強度が磁性体のサイズで調整可能であるため、系統的实验が可能である。この磁気渦構造を多磁区化(多渦化)することで、局所純スピン流注入による系統的实验が可能と考え、多角形状のナノ磁性体を用いて、磁気渦のマルチ化に関する実験を行った。申請者は、既に、パーマロイ微小ドットを用いることで、正奇数角形では、単一磁区構造からの磁気渦形成過程において、特定の面内方向に着磁するだけで、高精度にカイラリティ(渦の旋回方向)が制御できる技術を確立している(図2.a)。本技術を発展させ、二等辺三角形に拡張することで、磁気渦のマルチ化を試みた。図2bの磁気力顕微鏡像に示すように、磁界の角度がある領域では、カイラリティの異なる2つの磁気渦が生成されていることが確認できる。興味深いのは、印加磁界の方向による、磁気渦のカイラリティと数が制御できる点である。

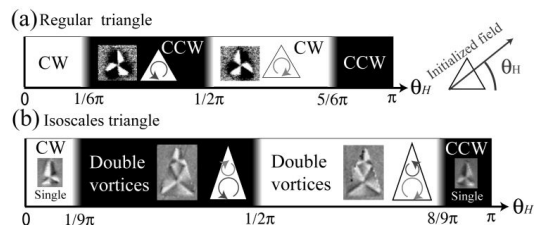


図2. 正三角形(a)と二等辺三角形(b)における残留多磁区状態の磁界印加方向依存性

次にスピン注入による磁区構造制御に必要な、純スピン流の生成法、及びその巨大化について検討した。強磁性/非磁性のオーミック接合は、トンネル接合に比べて格段に大きな許容電流密度を持つが、スピン流の生成効率が小さくなるため、大きなスピン流を生

成するためには、何らかの改善が必要である。そこで、横型スピンドバイス構造の柔軟性を利用したスピンドバイス生成源の多端子化と純スピンドバイス流の特徴であるスピンドバイス流の合成技術を実現し、生成スピンドバイス流の限界を打破、及び巨大スピンドバイス流の創出を行った。図3に示すような生成スピンドバイス端子を4つまで増大させる新構造を提案し、また、実際に NiFe 電極を用いた多端子素子を試作し、最大生成スピンドバイス流が約4倍大きくなることを実証した。

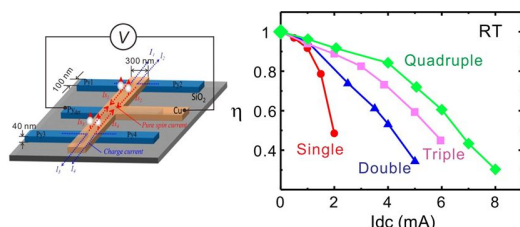


図4. 四端子スピンドバイス注入法による高効率な純スピンドバイス流生成

次に局所純スピンドバイス流注入による磁区構造制御を実現するために、ナノピラー素子を作製した。ここで、注入端子、検出端子には、CoFeAl を用いて作製し、高効率なスピンドバイス生成と検出を試みた。また、検出端子のドットサイズは、150 nm × 150nm 程度であり、多磁区構造を形成しやすいように、縦と横の長さを同じにした。作製した素子のスピンドバイス信号曲線を図に示す。5mΩの明瞭なスピンドバイス信号が得られており、室温において高効率にスピンドバイス流が注入できていることを示唆している。

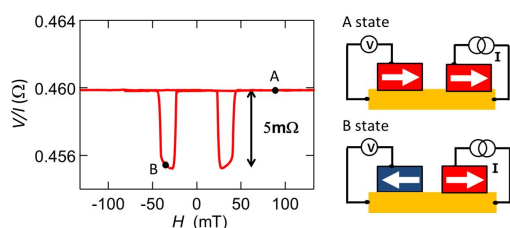


図5. CoFeAl/Cu ナノピラー型スピンドバイスバルブ素子における非局所スピンドバイス信号と各抵抗値における磁化状態の模式図

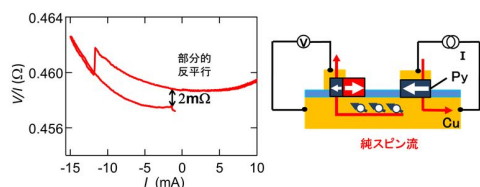


図6. 巨大純スピンドバイス流注入下におけるスピンドバイス信号の変化とその磁化状態の模式図

更に、スピンドバイス注入磁化反転を誘起するために、巨大スピンドバイス流を注入し、その状態における非局所電圧の変化を測定した。図に示すように、-12mA 付近で 2 mΩの不連続な信号変化が観測された。これは、検出端子の磁性体ドットの磁区構造変化を示唆しており、また、信号変化が、完全に反平行に対応する 5 mΩに比べ小さい為、単磁区状態から磁気渦などの多磁区状態に変化したものを考えられる。

以上のように、ナノ磁性体ドットの多磁区構造を用いたマルチビット記録、巨大な純スピンドバイス流を生成させるための多端子スピンドバイス生成技術、及び純スピンドバイス流注入による局所領域磁化反転などの成果が得られ、これらの要素技術を結集により、革新的マルチビット書込技術の展開が期待できる。

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5件)

1. 木村 崇, 応用物理, 金属ナノ構造における純スピンドバイス流の高効率制御, 第83巻 第3号, pp. 213~216, (2014), 査読有

<http://www.jsap.or.jp/ap/2014/03/ob830213.xml>

2. S. Yakata, T. Tanaka, K. Kiseki, K. Matsuyama and T. Kimura: "Wide range tuning of resonant frequency for a vortex core in a regular triangle magnet."Scientific Reports 3, 3567 (2013). 査読有 doi:10.1038/srep03567

3. C. Mu, S. Hu, J. Wang and T. Kimura: "Thermo-electric effect in a nano-sized crossed Permalloy/Cu junction under high bias current."Appl. Phys. Lett. 103, 132408 (2013). 査読有 <http://dx.doi.org/+10.1063/1.4822330>

4. T. Matsunaga, K. Furukawa, Y. Kanda, M. Hara, T. Nomura and T. Kimura: "Detection of edge magnetic state by a ballistic bend resistance measurement."Appl. Phys. Lett. 102, 252405 (2013). 査読有

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4812729>

5. T. Nomura, S. Nonoguchi and T. Kimura: "Efficient inducement of bistable spin Hall effect using in-plane-magnetized V-shaped ferromagnetic wire."Appl. Phys. Lett. 101, 082403 (2012). 査読有

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4747219>

6. S. Nonoguchi, T. Nomura and T. Kimura: "Nonlocal spin transports in nanopillar-based lateral spin valve."Appl. Phys. Lett. 100, 132401 (2012). 査読有

<http://dx.doi.org/10.1063/1.3698092>

〔学会発表〕(計8件)

1. Takashi Kimura, Highly efficient thermal spin injection using CoFeAl injector, EMN fall meeting, Orland USA, 2013.12.08 (Invited)

2. Takashi Kimura, Generation of large spin current in metallic nanostructures and its application Energy Materials Nanotechnology (EMN) east meeting, Beijing, China, 2013.09.05 (Invited)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

木村 崇 (Takashi, Kimura)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：80360535

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし