

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分
平成28年3月28日現在

純スピン流注入による磁気相転移の選択的制御と
革新的ナノスピndeデバイスへの応用

Selective control of magnetic transition using
pure spin current injection and development
of innovative nanospin devices

課題番号：25220605

木村 崇 (KIMURA TAKASHI)

九州大学・大学院理学研究院・教授



研究の概要

本研究では、純スピン流注入技術を駆使して、金属-絶縁体転移現象を低消費電力、且つ選択的に誘起する技術を開発する。電荷を持たない純スピン流は、強相関電子系に効率的に吸収され、選択的な相転移を可能にする。相転移に起因する電子状態の変化を純スピン流注入により選択的に制御することで、革新的ナノスピndeデバイスの創成が可能となる。

研究分野：総合理工

キーワード：純スピン流、スピン注入、電界誘起相転移、

1. 研究開始当初の背景

磁石の不揮発特性とスピン依存伝導現象を絡めて電子デバイスを動作させるスピントロニクスは、さまざまな点で魅力的なポテンシャルを有しており、次世代のナノエレクトロニクス・デバイスの最有力候補の一つである。スピndeデバイスの主役は、強磁性トンネル接合であり、近年の目覚ましい関連技術の進展により、現在では、室温で抵抗変化100%を超える素子の量産が可能になっている。しかし、抵抗変化100%とは言え、抵抗が2倍になる程度であり、半導体トランジスタなどのようにゲート電圧で電気抵抗が数桁変化する素子と比べると、スピndeデバイスの抵抗変化率は、まだまだ圧倒的に小さい。そのため、最新のスピndeデバイスの回路アーキテクチャにおいても、トランジスタは欠くことのできない存在となっている。その結果、スピンRAMなどでは、不揮発記憶効果により低消費電力化が可能であるが、集積度の限界は、トランジスタの微細化限界で決まってしまうのが現状である。

一方で、近年、ある種の金属酸化物に電界を印加すると電気抵抗が大きく変化する抵抗スイッチング現象が知られており、抵抗変化型メモリやメモリストタなどの次世代のナノエレクトロニクスの観点からも大いに期待されている。この抵抗変化メカニズムに関しては、十分な解明はなされおらず、素子特性のばらつきなどの高精度な制御が困難となっている。ここで、このようなスイッチング現象を示す酸化物が GdOx, NiO, Co-doped

TiO など磁性を持つ原子で構成されている場合が多いため、代表者らは抵抗スイッチング現象において、スピンが何らかの役割を果たしていると考え、スピン注入法により、スピン構造を制御すれば、相転移を効果的に引き起こすことが可能ではないかと着想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スピン間の相互作用により生み出される相転移現象を解明し、それらを用いて、高効率に大きな電気抵抗変化を引き起こす革新的スピndeデバイスを創出することである。具体的には、代表者のシーズ技術である高効率・純スピン流制御技術を、更に高度化することで、高効率な巨大・純スピン流の生成技術を確立し、更に、磁性酸化物などの電氣的絶縁性を示す物質へのスピン注入技術を開発する。これらの技術を用いて、スピン流による巨大な有効磁界を磁性酸化物や反強磁性体などの強相関電子系に作用させることで、金属-絶縁体転移やメタ磁性転移などの相転移現象を選択的に引き起こす技術を開発する。また、金属酸化物における電界誘起相転移現象に伴うスピン構造の変化を解明し、スピン注入相転移を効果的に引き起こすことができるスピン配向状態や素子構造を探求する。本技術により、スピndeデバイスの更なる高密度化・高性能化のみならず、メモリストタなどの革新的ナノデバイスの創成が可能となる。

3. 研究の方法

代表者が既に確立している純スピンの流制御技術を更に高度化し、磁性酸化物への高効率なスピン注入技術を確認する。それと同時に、スピン注入下のナノ磁性酸化物における高感度な磁気相転移現象の観測技術を確認する。これらの要素技術を確認した後、スピン注入誘起の相転移現象を用いたナノ磁気メモリやスピンメモリスタなど、革新的なスピンドバイスの試作と高性能化を目指す。

4. これまでの成果

純スピンの生成効率を10倍以上向上させることに成功し、また、新たに熱スピン注入によっても高効率にスピン流が生成できることを実証し、同技術を拡張したワイヤレスで選択的にスピン注入も実証した。

相転移の検出に関して、特殊環境下での評価手法の開発、及び超高感度な磁場測定法の確立に成功した。また、純スピンの注入効果に関して、超伝導体においてはスピン流を完全にブロックする絶縁体になるため注入ができないこと、逆に電気的絶縁体に関しては、磁性を持つ成分が存在すると、スピン流を効果的に注入できることを実証した。

更に、電界誘起相転移において、強磁性電極を用いることで、効果的な相転移が誘発可能であることを見出した。また、相転移前後において、交換磁気異方性が変化することを明瞭に観測した。これらの事実は、相転移現象において、スピン注入が効果的に機能したことを示唆している。

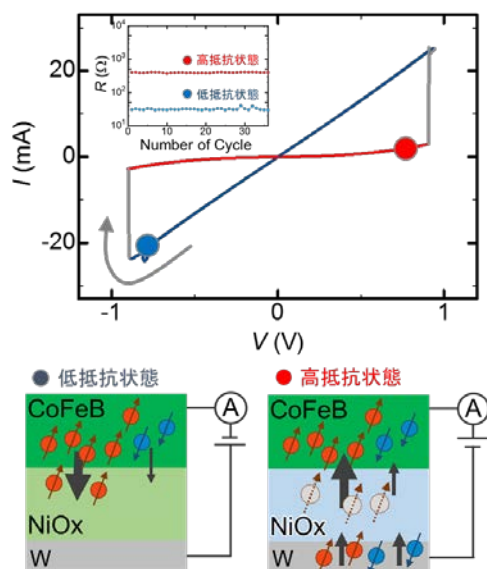


図1. 強磁性電極を用いた電界誘起相転移現象の実験結果と概念図

5. 今後の計画

本技術の実用化を目指すには、より大きな抵抗変化や磁気相転移に関しては、まだまだ改善の余地があると考えている。特に、交換磁気異方性の制御に関しては、もっと大きな変化を誘起できる可能性もある。これらの改善のために、他の候補物質へのスピン注入効果を評価するとともに各種物質において、磁気相転移や圧力誘起相転移特性などを評価し、より効果的にスピン注入相転移を引き出せる物質・構造を探索する。

本研究により開発された技術は、スピンは原子移動を伴わないため、繰り返し動作に対する耐久性も優れている。当初予定の三端子スピンスイッチやナノ磁界発生装置のみならず、スピンを用いたメモリスタやニューロモーフィックデバイスなどの革新的なナノデバイスの創生を試みる。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

代表的査読付き論文

M. Kawakita, K. Okabe, and *T. Kimura "Laterally configured resistive switching device based on transition-metal nano-gap electrode on Gd oxide." *Appl. Phys. Lett.* 108, 023101 (2016).

K. Yamanoi, Y. Yokotani, and *T. Kimura "Heat dissipation due to ferromagnetic resonance in a ferromagnetic metal monitored by electrical resistance measurement." *Appl. Phys. Lett.* 107, 182410 (2015).

S. Hu, and T. Kimura "Significant modulation of electrical spin accumulation by efficient thermal spin injection." *Phys. Rev. B* 90, 134412 (2014).

S. Hu, H. Itoh, and T. Kimura "Efficient thermal spin injection using CoFeAl nanowire." *NPG Asia Mater.* 6, e127 (2014).

K. Ohnishi, Y. Ono, T. Nomura, and T. Kimura "Significant change of spin transport property in Cu/Nb bilayer due to superconducting transition." *Sci. Rep.* 4, 6260 (2014).

等、20編以上

国際会議招待講演10件以上 (Intermag 等)

受賞：木村崇：革新的純スピン流制御法の開発とナノスピンドバイスの応用，日本学術振興会賞 (2014年2月)

IUMRS-ICA2014にて、Best poster award (2件)，Intermag2015にて、best poster award

ホームページ等

研究室：<http://ssp.phys.kyushu-u.ac.jp/>
先導的学術研究拠点：
<http://ssp.phys.kyushu-u.ac.jp/qnsp/>