



熱を利用したスピndeバイスの高精度な評価法の開発 ～新しい省エネデバイスへの応用に期待～

九州大学大学院理学研究院、量子ナノスピnde物性研究センターの木村崇主幹教授、理学府の野村竜也氏（博士3年）らの研究グループは、西安交通大学の研究グループと共同で、熱により巨大なスピnde流の生成が可能である物質 CoFeAl と他の強磁性金属を組み合わせてスピndeデバイスを作製し、これまで困難であった強磁性金属の熱スピnde注入特性を高精度に評価する手法の開発に成功しました。

エレクトロニクスデバイスの更なる高性能化・高機能化の観点から、スピnde角運動量（※1）の流れであるスピnde流を用いたデバイスが注目されています。スピnde流を用いることで、情報の担い手を電荷からスピndeに替え、不揮発性（※2）やジュール熱の最小限化など、消費電力の大幅な低減が期待できると共に、スピndeの方向自由度を用いた多彩な特性をデバイスに付加させることができます。本研究グループは、このようなスピndeデバイスのカギとなる物理量「スピnde流」を更に発展させた電流を伴わないスピnde流「純スピnde流」に着目し、これまでさまざまな制御技術を開発してきました。この純スピnde流を利用することにより、前述の電流による不要なエネルギー損失を排除することが出来、更によりエネルギー効率の良いスピndeデバイスの動作が可能になると期待されています。

本研究で確立された手法を用いることで、あらゆる強磁性金属の熱スピnde注入特性を評価することができます。熱スピnde注入特性は、強磁性金属内部の電子状態を反映しているため、物性研究の新しいツールとしての利用が期待されます。また、より高効率な熱スピnde注入特性を持つ物質の探索が可能となり、熱を活用したスピndeデバイスの性能向上につながるるとともに、現在使用されず捨てられている電子回路上の排熱等を効率的に利用し動作させる新しい省エネデバイスへの応用に期待されます。

本研究は、文部科学省・新学術領域創成型研究「ナノスピnde変換科学」、科学研究費補助金・基盤研究(S)（課題番号:25220605）などの支援のもとに行われ、2017年3月20日（月）に Physical Review B誌の Rapid Communicationに掲載されました。

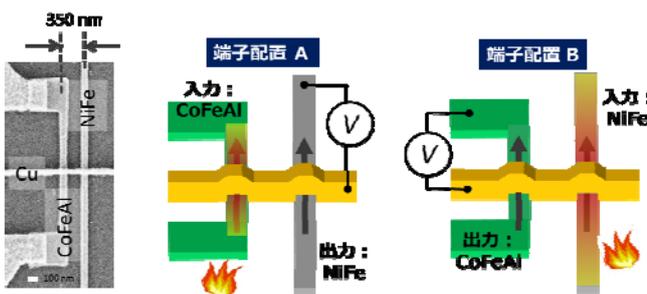


図1. 作製した横型スピndeバルブの電子顕微鏡写真と入力端子と出力端子を入れ替えた二種類の測定端子配置の模式図

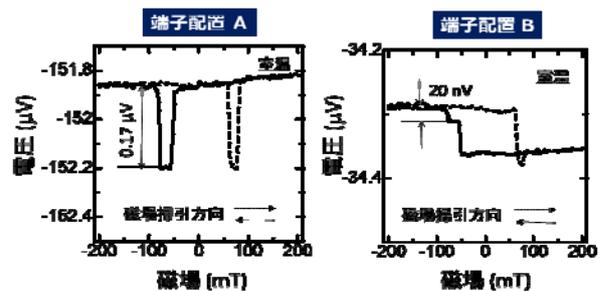


図2. 二種類の端子配置で測定した際の実出力電圧の磁場依存性。端子配置Aでは、170 nVの明瞭なスピnde信号が検出されているが、端子配置Bでは、熱流起因の信号が支配的になっている。

研究者からひとこと：

本現象、熱勾配（単位長さあたりの温度差）が重要で、必ずしも高い温度が必要ではありません。構造もシンプルなため、排熱を効率的に利用できる素子の実現が期待されます。

【お問い合わせ】

大学院理学研究院 物理学部門 / 量子ナノスピnde物性研究センター 主幹教授 木村 崇(きむら たかし)

電話:092-802-4082 FAX:092-802-4107

Mail:t-kimu@phys.kyushu-u.ac.jp

今回、研究グループは、以前に開発した強磁性合金 CoFeAl を用いて、他の強磁性金属（※3）の熱スピン流注入特性を高精度で評価できる手法を開発しました。図1のように、優れた熱スピン注入効率を持つ CoFeAl と熱スピン注入効率が小さい強磁性金属 NiFe を近接して配置し、銅で接続したスピバルブ素子（※4）と呼ばれる構造を作製し、図1右に示すように、入力端子と出力端子を入れ替えた二種類の端子配置で熱スピン注入特性を評価しました。その結果、CoFeAl を入力端子にした場合（端子配置A）は、0.17 マイクロボルトのスピ流による大きな電圧変化が観測されたにも関わらず、NiFe を入力にした場合（端子配置B）は、熱流による電圧変化が支配的となり、スピ流による電圧変化は20 ナノボルトと非常に小さくなりました。

このように、同一の素子において、端子を入れ替えた2つの測定で検出される純スピ流の強度には大きな差があることが分かり、強い非相反性（※5）を有することが確認されました。この原因は、CoFeAl が NiFe に比べ、優れた熱スピ流注入特性を有していることによるもので説明できますが、本研究グループは、この2つの端子配置の信号強度の比から、素子構造や銅の特性などに起因する物理定数などを用いることなく、NiFe の熱スピ流注入特性を導出できることを見出しました。本手法では、素子特性のバラつきが排除され、信号強度も増大しているため、これまでの手法よりも高い精度で、各物質の熱スピ流注入特性を求めることができます。

近年の研究では、熱の流れから純スピ流を作り出せることが判明し、新しいエネルギー有効利用技術として注目を集めています。しかしながら、熱から生成される純スピ流は非常に小さいため、定量的な解析が困難であると共に、エネルギー効率が悪いため、応用として利用することは困難であると考えられていました。ところが、2014年、本研究グループにより、特殊な強磁性金属合金 CoFeAl を用いることで、熱でも非常に大きな純スピ流を効率的に作り出せることが実証され、熱によるスピ流生成（熱スピ流注入）技術は、再び注目を集めつつあります。

【用語解説】

（※1） スピン角運動量

電子が持つ角運動量の1つ。上向きと下向きの2つの状態が存在し、角運動量の起源が電子の自転運動として説明できるため、スピンと呼ばれる。

（※2） 不揮発性

エネルギーの供給が無くても、情報が保持される特性を示しており、この場合、磁石の向きがエネルギーの供給が無くても、保持されることを指している。

（※3） 強磁性金属

磁石の性質を示す金属であるが、電子の持つスピ角運動量が同じ方向を向く性質を持つ物質。

（※4） スピバルブ素子

磁性体のスピンの方向に対応して、電子の流れをオン/オフあるいは調整できる素子。

（※5） 非相反性

伝搬方向によって、特性が変化すること。この場合、スピ流の伝搬特性が伝搬方向に依存することになる。