



東北大学

平成24年1月16日
国立大学法人東北大学金属材料研究所

相対論的効果を利用してシリコン中の磁気の流れを 電気信号に変換する事に成功

— 次世代の超省エネルギーデバイス開発に向けて大きな進展 —

【発表のポイント】

- 相対論的効果を利用してスピン(磁気)の流れをシリコン中で電気信号に変換することに成功
- この手法を用いることでスピン情報の電氣的検出が可能に
- シリコン LSI 技術を利用したスピントロニクスデバイス応用に期待

国立大学法人東北大学金属材料研究所の安藤和也助教と齊藤英治教授は、物質中の相対論的効果を利用することでシリコン中のスピン(磁気)の流れを電気信号に変換することに成功しました。

シリコンはコンピュータや携帯電話といった現代の電子機器を構成する最も重要な半導体材料です。次世代の省エネルギー電子デバイス技術として電子の電氣的性質(電荷)の流れである電流の代わりに電子の磁氣的性質(スピン)の流れ「スピン流(注1)」を利用するスピントロニクス(注2)が注目を集めています。シリコンは優れた材料特性によりスピントロニクスにおいても中心的な役割を担うことが期待されています。一方でシリコンベースの量子コンピュータや超低消費電力情報処理スピンドバイスといったスピンを利用した次世代電子デバイスを実現するためには、スピン流による情報演算の結果や蓄積されたスピン情報を読み出すため、スピン流を電気信号に変換する技術を確立することが最重要課題の一つでした。

今回、安藤助教らは、電子のスピン情報と軌道運動を結びつける相対論的効果によって、シリコン中のスピン流を電気信号として読み出すことに成功しました。本研究成果により、成熟した現代の電子デバイス製造プロセス技術と極めて整合性の高いシリコンスピントロニクスへの道が開かれ、環境負荷の極めて小さな次世代省エネルギーデバイス開拓への大きな推進力となることが期待されます。

本研究成果は、英国科学誌「Nature Communications (ネイチャーコミュニケーションズ)」のオンライン版(1月17日付:日本時間1月18日)に掲載されます。

【本件に関する問い合わせ先】

(研究内容について)

国立大学法人東北大学金属材料研究所 量子表面界面科学研究部門 助教 安藤 和也 TEL: 022-215-2023
国立大学法人東北大学金属材料研究所 量子表面界面科学研究部門 教授 齊藤 英治 TEL: 022-215-2021

(報道担当)

国立大学法人東北大学金属材料研究所 総務課庶務係 水戸圭介 TEL: 022-215-2181, FAX: 022-215-2184

【背景と経緯】

現代のIT社会を支える最も重要な物質の一つはシリコンです。シリコンは地球の主要な構成元素で安価であり且つ環境との親和性が高く、コンピュータをはじめとする殆どの電子機器はシリコンベースの集積回路により機能しています。このような電子デバイスは電子の電氣的性質(電荷)の流れである電流により動作していますが、電流を利用した場合、ジュール熱(注3)による巨大なエネルギー損失を避けることが原理的に不可能です。電子デバイスの高機能化は集積回路の微細加工技術向上により支えられてきましたが、微細化の限界とともにこの発熱による莫大なエネルギー損失が近年深刻な問題となっています。このような問題を解決する次世代の省エネルギー電子技術として期待されているのがスピントロニクスです(図1)。スピントロニクスでは電流に代わり電子のスピンの流れ「スピン流」が主役となります。このため現代のエレクトロニクスとの整合性の高いスピントロニクスデバイスの創出にはスピン流を電気情報に変換する技術が不可欠です。

本研究では、シリコン中の相対論的効果を利用することでスピン流から電気信号への変換に成功しました。シリコンは結晶の対称性や原子番号が小さいことからスピン情報を長時間保持でき、スピン情報の蓄積やスピン流伝送路として有望な物質として期待されていました。今回得られた結果は、シリコンがさらにスピン流の検出を可能とすることを明らかにしました。本研究は、莫大な研究開発により支えられてきた自由度の高いシリコンデバイスの構造設計技術を最大限活用できるシリコンベースのスピントロニクスデバイス開発に大きな進展をもたらすことが期待されます。

【研究の内容】

今回の研究では、図2に示した磁性体とシリコンから成る素子を作製し、磁気のダイナミクスを利用することでシリコン中へスピン流を注入しました(関連論文を参照)。シリコン層にはCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)集積回路で用いられているSOI(Silicon on Insulator)ウェハを使用しました。シリコンに注入されたスピン流は次に述べる相対論的効果によってその一部が電気信号へと変換されます。スピン流注入と同時にシリコン中に生じる電気信号の精密測定を行うことで、検出された電気信号がシリコン中のスピン流に起因するものであることを明らかにしました(図3)。

【原理の説明】

相対論的座標変換であるローレンツ変換によれば、運動している磁石の一部は図2に示すように電気分極に変換されます。運動している磁石、即ち磁石の流れはスピン流の存在を意味しています。従って、相対性理論はスピン流が流れるとその周りに電気信号が生じることを予言しています。真空中でこの機構によって生じる電気信号は非常に小さいものですが、物質中では物質の特性を反映して同じ対称性をもつスピン流-電気信号変換現象「逆スピンホール効果」が顕著に表

れます。逆スピホール効果は白金や金といった原子番号が大きな物質でのみ観測に成功していましたが。このためシリコンのような原子番号の小さな物質で相対論的効果によるスピン流から電気信号への変換を実現することは困難であるというのが常識でした。今回の発見は、これまで極小さいと信じられてきたシリコン中の相対論的効果が予想に反して大きな電気信号を生むことを明らかにしたものです。これによりシリコンスピントロニクスデバイス設計の新たなルートが示されただけでなく、物質中の相対論的効果を極めて広範囲な物質で探求することがこの方法により可能となりました。

【今後の展開】

環境負荷の小さなスピントロニクスデバイス開発には、スピン流の検出技術を確立することが最重要課題の一つです。本研究によって発見されたシリコン中の相対論的効果によるスピン流から電気信号への変換は、これまでのエレクトロニクスを支えてきた産業インフラを最大限生かしたスピントロニクスデバイス設計の自由度を劇的に広げました。本研究成果に基づくシリコンスピントロニクスは発熱によるエネルギー損失を極限まで抑えた次世代省エネルギー電子技術の基幹となり、省エネルギー社会実現へ大きく貢献することが期待されます。

本研究の一部は内閣府の最先端・次世代研究開発支援プログラムの一環として実施されました。

【参考図】

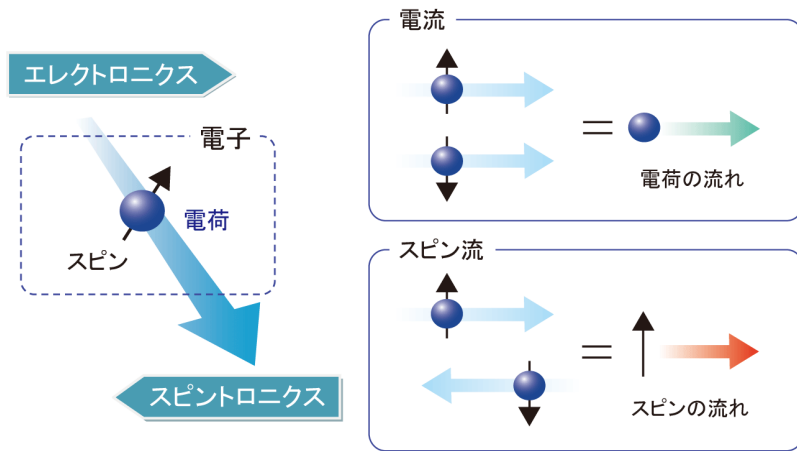


図1. スピントロニクスとスピン流。

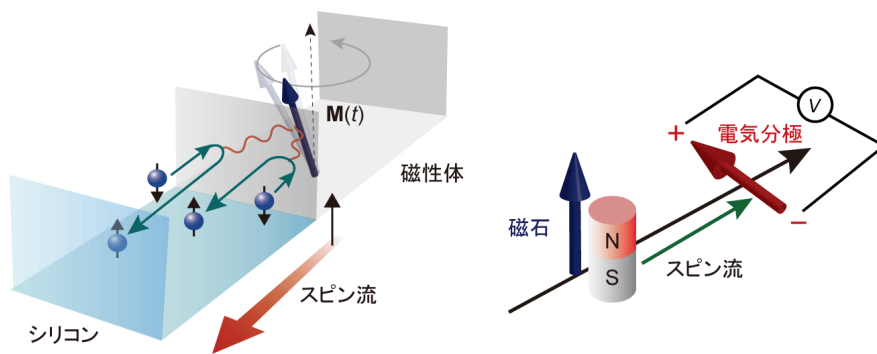


図2. シリコンへのスピン流注入の模式図と相対論的効果によるスピン流から電気信号への変換。

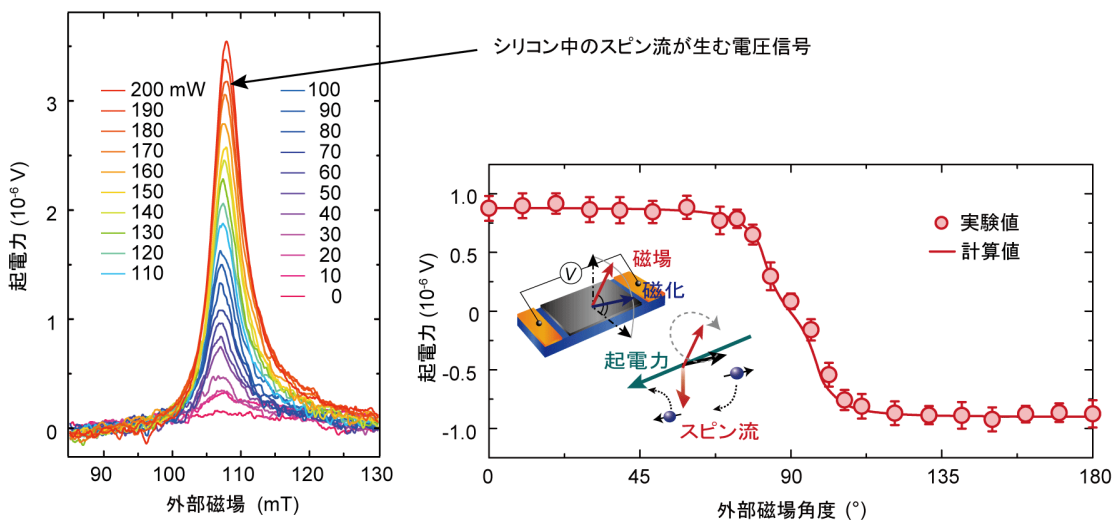


図3. シリコン中のスピン流—電気信号変換の観測。

【用語解説】

注1) スピン流

スピンは電子が有する自転のような性質である。電子スピンは磁石の磁場の発生源でもあり、スピンの状態には上向きと下向きという2つの状態がある。電流が流れることなく、スピンだけが流れているのがスピン流であり、上向き状態のスピンを持った電子と下向き状態のスピンを持った電子がそれぞれ逆方向に流れることによる。

注2) スピントロニクス

電子の磁氣的性質であるスピンを利用して動作する電子デバイスを研究開発する分野である。電子スピンは応答が早く、熱エネルギーの発生も非常に少ないため、これを利用したスピントロニクス素子は、超高速、超低消費電力の次世代電子素子の最有力候補とされている。

注3) ジュール熱

金属や半導体に電流を流すと、電気抵抗により熱が発生する。このジュール熱の存在により、金属や半導体ではエネルギーの損失なしに電流を流すことはできない。

【論文名・著者名】

“Observation of the inverse spin Hall effect in silicon”

(シリコンにおける逆スピホール効果の観測)

Kazuya Ando and Eiji Saitoh

【関連論文】

磁気ダイナミクスを利用したスピン流注入に関する論文：

K. Ando, S. Takahashi, J. Ieda, H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, C. H. W. Barnes, S. Maekawa, and E. Saitoh,

“Electrically tunable spin injector free from the impedance mismatch problem”

Nature Materials 10, 655–659 (2011).

<お問い合わせ先>

<研究に関すること>

安藤 和也 (アンドウ カズヤ)
東北大学金属材料研究所 助教
〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1
Tel: 022-215-2023
E-mail: ando@imr.tohoku.ac.jp

齊藤 英治 (サイトウ エイジ)
東北大学金属材料研究所 教授
〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1
Tel: 022-215-2021
E-mail: eizi@imr.tohoku.ac.jp

<報道担当>

東北大学金属材料研究所 総務課庶務係 水戸 圭介 (ミト ケイスケ)
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
Tel: 022-215-2181, Fax: 022-215-2184
E-mail: imr-som@imr.tohoku.ac.jp