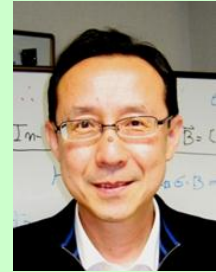


相対論的効果を用いたスピndeバイスの創製 Creation of Spin Devices Based on Relativistic Effects

新田 淳作 (NITTA JUNSAKU)
東北大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

電子スピンはこれまで磁界により生成・制御されてきた。電子スピンの存在する場所に比べて磁界の発生する空間は遙かに大きく、磁界発生に伴う多くのエネルギーが無駄になっていた。電子スピンを電界によって生成・制御・検出することはスピントロニクス重要な要素技術となる。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 応用物性・結晶工学

キーワード：スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

現代のエレクトロニクスは、情報の担体となる電子の「電荷」をドーピングやゲート電界により空間的・時間的に制御することにより高度な論理機能を実現してきた。また量子効果を用いることにより、共鳴トンネルダイオード、二次元電子ガス高移動度トランジスタ、単一電子トランジスタなどが開発された。さらなる持続的なエレクトロニクスの発展には「スピン」の自由度を積極的に利用することが重要となる。しかしながら、「スピン」はこれまで磁界により制御されてきたため、空間的（局所的）・時間的高速な制御が出来ない。このため、「スピン」を新たな情報担体とするには、電界でスピン制御する方法を確立することが不可欠である。

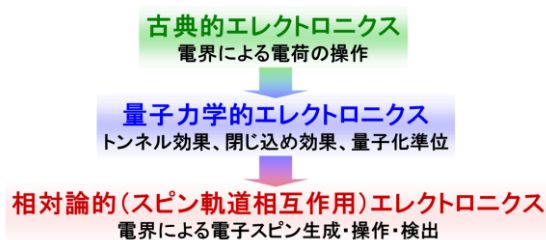


図1. エレクトロニクスの発展

2. 研究の目的

スピン軌道相互作用は、電子スピンの電界

中を高速に運動することにより、電界を磁界に変換する相対論的な効果である。

本研究は、相対論的効果に起因するゲート電界により制御可能な有効磁界を用いて、スピン生成技術、スピンコヒーレント制御、スピン検出技術を確立する。またこれらの要素技術と組み合わせることにより、新しい原理で動作するスピndeバイスを創製することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) スピン注入・生成の確立

スピン軌道相互作用をゲート電界により空間変調し、有効磁界による空間勾配を作ることにより Stern-Gerlach 効果によるスピンフィルターを実現する。また、原子レベルで制御された磁性体/半導体界面から半導体中にスピン注入する。

(2) スピンコヒーレント制御

起源の異なる2つのスピン軌道相互作用を組み合わせることにより、スピン緩和の抑制された永久スピン回転状態を電界制御で実現する。

(3) スピン検出・選別法の確立

スピンフィルターやスピン干渉を用いたスピンの電気的検出方法を確立し、スピン生成・制御・検出法を組み合わせたスピン機能化デバイスを計る。

4. これまでの成果

(1) スピントリカルの実現 [1]

量子ポイントコンタクト近傍で生じるスピントリカル相互作用の空間勾配によりStern-Gerlach効果に起因したスピントリカルの分離（スピントリカル生成）が可能であることを実験的に実証した。スピントリカル相互作用の強い半導体量子ポイントコンタクト近傍を電子が通過することにより生じるスピントリカル偏極率は70%以上となることをショット雑音測定から確認した。これは、磁界や磁性体を一切用いず半導体のみでスピントリカル偏極生じることを示した実験であり半導体スピントロニクスの大きなブレークスルーとなる。また、スピントリカルの存在を明らかにした20世紀最大の実験の1つであるStern-Gerlachスピントリカル分離実験をナノスケール半導体トランジスタ構造で実現したことに相当する。

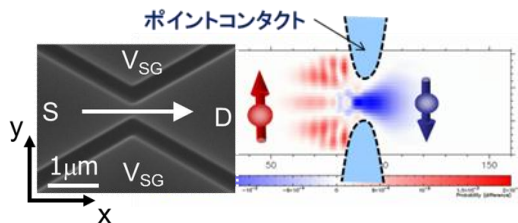


図1. スピントリカルの概念図

(2) スピントリカル持続状態の電界制御 [2]

ゲート電界によって制御可能なRashbaスピントリカル相互作用の強さをDresselhausスピントリカル相互作用の強さと等しくすることにより、スピントリカルの緩和が抑制されたスピントリカル持続状態が実現することが理論的に予言されていた。我々は、Dresselhausスピントリカル相互作用の強いInGaAs二次元電子ガス構造を設計し、ゲート電界によりRashbaスピントリカル相互作用を変調することにより、スピントリカル持続状態をゲート電界によりオン・オフさせることに成功した。

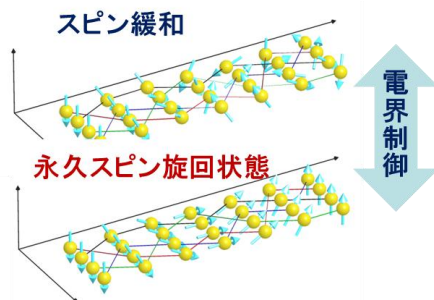


図2. スピントリカル持続状態の制御

(3) スピントリカル幾何学的位相の検出 [3]

幾何学的位相はベリー位相に対応し様々

な物理現象に普遍的に現れるが、スピントリカルの幾何学的位相を観測するのは容易ではなかった。リング径の異なるスピントリカル干渉デバイスを作製し実験結果を詳細に比較することによりスピントリカル幾何学的位相を観測することに成功した。

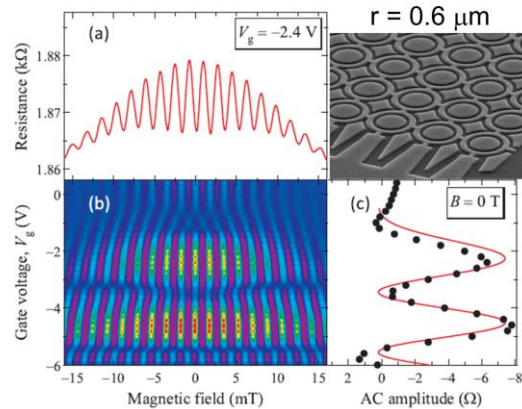


図3. リング列を用いたスピントリカル干渉実験

5. 今後の計画

これまでにスピントリカル相互作用を用いた電界によるスピントリカル生成・制御・検出の基本的要素技術を確認してきた。今後は、これらの要素技術を統合しスピントリカルデバイスの創製に向けた研究を加速する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

[1] “Spin-orbit induced electronic spin separation in semiconductor nanostructure”, M. Kohda, S. Nakamura, Y. Nishihara, K. Kobayashi, T. Ono, J. Ohe, Y. Tokura, T. Mineno, and J. Nitta, *Nature Communications*, **3**, 1082-1-6 (2012).

[2] “Gate-controlled persistent spin helix state in InGaAs quantum wells”, M. Kohda, V. Lechner, Y. Kunihashi, T. Dollinger, P. Olbrich, C. Schönhuber, I. Caspers, V. V. Bel’kov, L. E. Golub, D. Weiss, K. Richter, J. Nitta, and S. D. Ganichev, *Phys. Rev. B Rapid Comm.*, **86**, 081306-1-4 (2012).

[3] “Experimental Demonstration of Spin Geometric Phase: Radius Dependence of Time-Reversal Aharonov-Casher Oscillations”, F. Nagasawa, J. Takagi, Y. Kunihashi, M. Kohda, and J. Nitta, *Phys. Rev. Lett.*, **108**, 086801-1-4, (2012).

ホームページ等

<http://www.material.tohoku.ac.jp/~kotai/b/top.html>