

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048005

研究課題名（和文） スピン軌道相互作用を用いたスピン流の電氣的な検出と制御

研究課題名（英文） Electrical detection and control of spin current
by using spin orbit interaction

研究代表者

新田 淳作 (NITTA JUNSAKU)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00393778

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：スピン流、スピン軌道相互作用

1. 研究計画の概要

半導体中のゲート電場により制御可能な Rashba スピン軌道相互作用に着目し、磁場を印加することなく電場により電荷流—スピン流の相互変換手法を確立し、スピン機能デバイス構築に向けての設計指針を構築することを目的として研究を行う。

2. 研究の進捗状況

InGaAs/InAlAs ヘテロ構造を用いた二次元電子ガスは Rashba のスピン軌道相互作用が重要であることが知られている。最近、我々はスピン干渉デバイスを用いてゲート電界によりその強さを制御しスピンの歳差運動が電界により制御できることを実験的に検証した。一方、このスピン軌道相互作用によって生じる有効磁場は電子スピンの運動する方向に依存するため電子散乱により有効磁場の向きが変化しスピン緩和をもたらす。スピン軌道相互作用の電界制御性を保ちつつスピン緩和を抑制することがスピン流の生成・制御さらにスピントロニクスデバイスの実現にとって重要な課題となる。スピン緩和を抑制するための方策としてスピン緩和長より細い細線構造を用いることが、有効であることが理論的に検討されている。そこで、電子の運動方向をそろえるため幅 $1\ \mu\text{m}$ 以下の細線構造を作製し、弱反局在の解析によりスピン緩和時間を評価した結果、1桁近く長くなることを確認した。また、細線上に形成したゲート電界によりスピン緩和時間が大幅に増加することがわかった。この結果は、Rashba スピン軌道相互作用 α が Dresselhaus スピン軌道相互作用 β に近づくことによって説明できる。また、細線の結晶方位によって

スピン緩和長が大きく異なることを見いだした。

以上の実験は、起源の異なる2つのスピン軌道相互作用の強さを定量的に評価することがスピン緩和の抑制に不可欠であることを示唆している。Rashba スピン軌道相互作用 α と Dresselhaus スピン軌道相互作用 β が等しくなるとスピン軌道相互作用の作る有効磁場の向きが一軸性となりスピンは良い保存量となる。この永久スピン旋回状態では散乱を受けてもスピンの歳差運動は乱されず、スピンのコヒーレンスが保たれた状態が実現する。そのためには、Rashba スピン軌道相互作用 α と Dresselhaus スピン軌道相互作用 β を実験的に評価することが不可欠である。我々は、細線構造のスピン軌道相互作用とゼーマン効果を組み合わせることにより、2つのスピン軌道相互作用の強度比を伝導実験から求める手法を新たに提案した。さらに、細線に印加する面内磁場の角度に依存した弱反局在が大きな異方性を示すことを確認し、本提案の有効性を実験的に確認した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

半導体ヘテロ界面をスピン軌道相互作用の効果が顕著になるように設計し、スピン軌道相互作用に起因した新規なスピン伝導現象と知見を提供し、スピントロニクス研究分野で多くの注目を集めている。半導体の分野で最も歴史と権威ある半導体物理国際会議や半導体二次元電子ガスに関する国際会議で基調講演を行うなど世界をリードする研究成果を提供している。以上のことから研究

は順調に進展していると判断できる。

4. 今後の研究の推進方策

我々の先駆的な研究成果であるゲート電場によるスピン軌道相互作用制御の特徴を活かして、スピン緩和を抑制しかつスピン制御が可能な半導体ヘテロ構造の最適化を行う。特にこれまで物質パラメータと考えられてきた Dresselhaus スピン軌道相互作用 β の値は3倍近くばらつきがあり、提案する手法で精密に実験的に求める。さらに、電場制御による新規なスピン伝導機構を探求し、スピン物理に学術的な貢献とスピントロニクス応用に貢献する。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 25 件) 全て査読有

1. “Enhancement of spin orbit interaction and the effect of interface diffusion in InGaAsP/InGaAs heterostructures”, M. Kohda and J. Nitta, Phys. Rev. B **81**, 115118-1, 115118-4 (2010).
2. “Electrical generation, manipulation and detection of spin wave in permalloy stripe”, L. H. Bai, M. Kohda, and J. Nitta, to be published in Jpn. J. Appl. Phys. (2010).
3. “Proposal for electrical detection of spin separation with in-plane magnetic field in mesoscopic Stern-Gerlach spin filter”, M. Kohda, J. Ohe, H. Sanada, M. Yamamoto, T. Ohtsuki, and J. Nitta, Proc. SPIE **7600**, 76001-76004 (2010).
4. “Experimental demonstration of resonant spin-orbit interaction effect”, Y. Kunihashi, M. Kohda, and J. Nitta, Phys. Proc. **3**, 1261-1263 (2010).
5. “Enhancement of Rashba Spin-Orbit Interaction Due to Wave Function Engineering”, Y. Kunihashi, M. Kohda, and J. Nitta, J. Sup. Nov. Mag. **23**, 49-52 (2010).

[学会発表] (計 69 件)

国際会議招待講演 (計 15 件)

1. “Competition between Rashba and Dresselhaus spin-orbit interactions in InGaAs wires”, J. Nitta (Invited), 6th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb. 5th - 6th (2010), Sendai.
2. “Spin manipulation and generation with spin orbit interaction in semiconductor heterostructures”, M. Kohda and J. Nitta (Invited), SPIE Photonics West 2010, Jan. 23rd - 28th (2010), San Francisco.

3. “Spin Coherent Transport in InGaAs Wires and Rings”, J. Nitta (Invited), The 6th International Conference on Advanced Materials and Devices, Dec. 9th - 11th (2009), Jeju

国際会議一般講演 (計 25 件)

国内学会・研究会招待講演 (計 8 件)

1. 「電界効果スピントランジスタに向けたスピン電界制御」 新田 淳作 日本磁気学会第 26 回スピントロニクス専門研究会 2009 年 11 月 2 日 仙台.
2. 「スピントランジスタの展望」 新田 淳作 第 3 回スピントロニクス技術分科会 2009 年 10 月 14 日 東京.

国内学会・研究会一般講演 (計 21 件)

[図書] (計 2 件)

1. 「電界スピン回転制御とスピン FET」スピントロニクスの基礎と材料・応用技術の最前線 (シーエムシー出版)高梨弘毅 監修 第 28 章 新田淳作 331-340 (2009).

[産業財産権]

○出願状況 (計 5 件)

1. 名称: トランジスタ及び電子回路
発明者: 好田 誠、新田 淳作
権利者: 東北大学
種類: 特願
番号: 2009-247794
出願年月日: 平成 21 年 10 月 28 日
国内外の別: 国内
2. 名称: スピン軌道相互作用を用いたゼロ磁場における電子スピン共鳴
発明者: 好田 誠、新田 淳作
権利者: 科学技術振興機構
種類: 特願
番号: 2009-220161
出願年月日: 平成 21 年 8 月 14 日
国内外の別: 国内
3. 名称: スピン相補性インバータ
発明者: 好田 誠、新田 淳作
権利者: 科学技術振興機構
種類: 特願
番号: 2009-189207
出願年月日: 平成 21 年 8 月 13 日
国内外の別: 国内

[その他]

「電子の自転向き制御 東北大学 新型メモリー実現に道」日経産業新聞 2009 年 6 月 5 日
ホームページ
<http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/8581980d5b925fab833231ce5754cba1.html>