

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2010～2014

課題番号：22226001

研究課題名(和文) 相対論的効果を用いたスピndeバイスの創製

研究課題名(英文) Creation of spin devices based on relativistic effects

研究代表者

新田 淳作(Nitta, Junsaku)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00393778

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 167,000,000円

研究成果の概要(和文)：スピンはこれまで磁界により制御されてきたため、空間局所的・時間的高速な制御が出来ない。スピン軌道相互作用は磁界を電界に変換する相対論的な効果である。半導体ヘテロ構造の電界に起因するスピン軌道相互作用を用いることにより、これまで磁界に操作されてきた電子スピンを電氣的に生成・制御・検出する機能を創出することに成功した。さらに起源の異なる2つのスピン軌道相互作用を直接検出する概念を確立し、この手法を用いてスピン緩和を抑制された永久スピン旋回状態を電界制御により実現した。これらの成果は、高速・省電力スピントロニクス的重要な要素技術として期待される。

研究成果の概要(英文)：Spatially local and high speed manipulations of electron spins are difficult with a magnetic field. Electron spins moving in an electric field feel a magnetic field because of a relativistic spin-orbit interaction. We succeeded in electrical spin generation, manipulation, and detection by using spin-orbit interaction at semiconductor heterostructures without using a magnetic field. Furthermore, we established a novel concept to determine the strength of two different spin-orbit interactions and realized a gate-controlled persistent spin helix state where the spin relaxation is suppressed. These results pave a way for future low power-consumption spintronic devices.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピン軌道相互作用 スピン生成 スピン制御 スピン検出

## 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。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。

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。しかしながら、スピン軌道相互作用が作る有効磁界は、散乱とともにその方向が変化するためスピン緩和の原因となり、スピンデバイスの実現を妨げる要因となっている。このスピン緩和を抑制する方法として、Rashba スピン軌道相互作用の強さを Dresselhaus スピン軌道相互作用の強さに等しくできれば、2つのスピン軌道相互作用の作る有効磁界が一軸性となることから、スピン緩和時間が数桁以上大きくなるのが理論的に示されている。

## 2. 研究の目的

本研究は、相対論的な効果(スピン軌道相互作用)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技術、スピン検出技術を確立し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ンデバイスを創製することを目的とする。

具体的には、スピン生成・注入技術を確立するとともにスピン緩和の抑制された永久スピン回転状態の電界制御による実現と、電界によるスピンコヒーレント制御を目指す。また電気的なスピン検出技術を確立し、これらの要素技術を組み合わせたスピンデバイス化を図る。

## 3. 研究の方法

### (1) スピン生成・注入技術の確立

我々の提案する Stern-Gerlach (S-G) 効果を用いたスピンフィルター (Phys. Rev. B72, 041308(R) (2005))、電流誘起スピン偏極などスピン軌道相互作用が作る有効磁界を用いたスピン偏極キャリアの生成方法を確立する。また、強磁性電極やスピン偏極率の高いホイスラー合金を用いた半導体中へのスピン注入を行い、半導体中にスピン偏極したキャリアを生成する。

### (2) スピンコヒーレント制御・輸送の確立

半導体ヘテロ構造を最適化し、永久スピン回転状態(PSH)をもちいたスピンの長距離コヒーレント回転、逆 PSH 状態によるスピン無回転長距離輸送のゲート電界制御の実現を

目指す。また、スピン緩和機構の原理解明や電界に対するスピンの時間・空間応答特性などスピン軌道相互作用の起源と相対論的な量子効果の基本原理を探索する。

### (3) スピン検出技術の確立

磁性体を用いた半導体中のスピン検出の確立を図るとともに、S-G 効果スピンフィルターや量子ポイントコンタクトを用いたスピンの検出方法を確立する。

### (4) スピン要素技術の統合

スピン生成、スピンコヒーレント制御、スピン検出のスピン要素技術を統合することにより、我々の提案するスピン相補インバーターなどの新しい動作原理に基づくスピンデバイス化を実現する。

## 4. 研究成果

### (1) スピン生成・注入技術の確立

**磁場、磁性体を一切使わないスピンフィルターを実現** (Nature Communications 3, 1082 (2012))

Stern-Gerlach 効果は磁場の空間勾配がある中をスピンが通過する際、スピンの向きにより分離される現象である。我々はこの磁場勾配をスピン軌道相互作用の作る有効磁場で置き換えることによりナノスケールの半導体中で生じることを理論的に示してきた (Phys. Rev. B72, 041308(R) (2005))。本プロジェクトでは、量子ポイントコンタクト近傍で生じるスピン軌道相互作用の空間勾配により Stern-Gerlach 効果に起因したスピンの分離(スピン生成)が可能であることを実験的に実証した。スピン軌道相互作用の強い量子ポイントコンタクトを通過することにより生じるスピン偏極率は 70% 以上となることがショット雑音測定から確認された。これは、磁場や磁性体を一切用いず半導体のみでスピン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 **量子力学の基本概念であるスピン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。**

面直磁気異方性を有す磁性体 FePt, FePd の半導体上 GaAs, InP へのエピタキシャル成長 (Appl. Phys. Lett., 102, 102411 (2013)) を確認した。また磁性半導体 GaMnAs から GaAs へのエサキトンネル構造を用いたスピン注入による核スピンのスピン偏極を観測した (Appl. Phys. Lett. 101, 212402 (2012))。この結果は、磁場を用いることなくスピン緩和時間の極めて長い核スピンを偏極することが可能となり、メモリーとして応用することが期待できる。

### (2) スピンコヒーレント制御・輸送の確立

**ゲート電界により制御された永久スピ  
ン巡回状態の実現** ( Phys. Rev. B Rapid  
Comm. **86**, 081306 (2012) )

スピン軌道相互作用は電子スピンに有効磁場として作用するがこの有効磁場の向きは電子の運動する方向に依存するため、散乱とともに有効磁場の向きが変化しスピンの向きが乱れてしまうスピン緩和が大きな問題点であった。スピンを情報の担体として用いるにはこのスピン緩和の抑制が極めて重要である。ゲート電界によって制御可能な Rashba スピン軌道相互作用の強さを Dresselhaus スピン軌道相互作用の強さと等しくすることにより、スピン軌道相互作用の作る有効磁場の向きが一軸方向となりスピンの緩和が抑制された永久スピン巡回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 スピン軌道相互作用の強い InGaAs 二次元電子ガス構造を設計し、ゲート電界により Rashba スピン軌道相互作用を変調することにより、**永久スピン巡回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**。これは**スピン軌道相互作用が作る非可換ゲージ場から可換ゲージへ場の転移を実験的に示したことに**対応する。またこの電界制御は、長距離スピニコヒーレント輸送を可能にするだけでなくスピン相補トランジスタ等のスピデバイスマイルストーンとなる成果である。

**2つのスピン軌道相互作用の強さをフィッ  
ティングなしに評価する概念を確立**(Nature  
Nanotechnology **9**, 703 (2014))

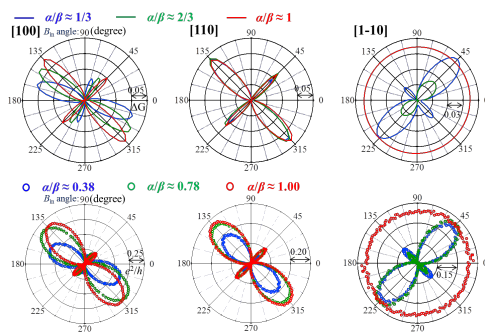


図1 面内磁場角度に依存した半導体細線構造の弱局在効果振幅の異方性。上の3つは[100], [110], [1-10]方向の細線に関する数値解析結果。下3つは本研究期間に得られた実験結果。[100]方向の細線では弱局在の振幅が最大となる面内磁場方向が2つのスピン軌道相互作用の作る有効磁場に対応し、この角度から直接 $\alpha/\beta$ が求められることができる。また、永久スピン巡回状態(赤線)が実現すると[1-10]方向の細線では異方性が消失することが確認された。これは $\alpha$ と $\beta$ が打ち消し合っていること意味する。

我々は、ゼーマン効果と Rashba スピン軌道相互作用の強さ と Dresselhaus スピン軌道相互作用 の2つのスピン軌道相互作用の作る有効磁場との競合により、半導体細線構造を作ることにより $\alpha/\beta$ の比がフィッティングパラメータを一切用いることなく実験的に求められることを理論的に示してきた(Phys. Rev. Lett. **101**, 266401 (2008))。この理論予測を実験的に検証するとともに、永久スピン巡回状態が生じると[1,-1,0]方向の細線では異方性が消失することを見いだした。この結果は数値解析とも一致する。**本手法はホール測定と同様、極めて汎用性の高いスピン軌道相互作用の測定方法である。また本手法によりゲート電界による永久スピン巡回状態の実現を確認した(図1)**。この結果は、**Nature Nanotech の解説記事 news & views でも取り上げられ、科学新聞にも記事が掲載された。**

**(3) スピン検出技術の確立  
スピン幾何学位相の電気的検出に成功**

( Phys. Rev. Lett. **108**, 086801 (2012) )  
スピンは歳差運動に伴う動的位相と有効磁場の向きが作る立体角で与えられる幾何学位相と2つの位相を持つ。これまで、スピン干渉実験によりスピンの動的位相を観測・制御してきたが、本基盤研究(S)によりスピン幾何学的位相を電気的に検出することに成功した。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、電子スピンの幾何学的位相を観測するのは容易ではなかった。我々は、リング径の異なるスピン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幾何学的位相を観測することに成功した(図2)。スピン幾何学的位相は動的位相に比べノイズ耐性が高く、スピンの向きを情報とする量子コンピュータに应用が期待できる。**この結果は、Physical Review Letter 誌のハイライト論文として取り上げられ、同誌のオンラインジャーナル Physics に解説記事が寄稿された。また、日刊工業新聞、科学新聞でも取り上げられた。**

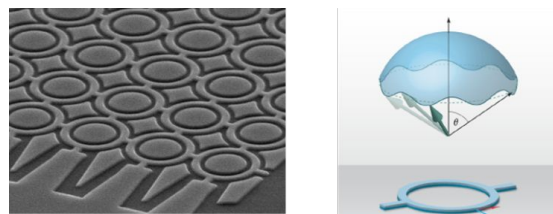


図2. スピン軌道相互作用の強い半導体微少リング列を用いたスピン干渉デバイス。スピンの位相が電場で変調するアハロノフ-キャッシャー効果が観測される(左図)。リングを一周する間に有効磁場はブロッホ球面上に立体角を作りこれがスピン幾何学位相に対応する(右図)。リング径に依存してスピンの幾何学的位相が系統的に変化することを検出した。

#### スピン幾何学位相の制御に成功 (Nature Communications 4, 3526 (2013))

上記の実験ではアハロノフ-キャッシャー効果にともなうスピンの動的位相と幾何学的位相が混在するため、リング径依存性を調べる必要があった。一方、本実験により面内磁場を印加することによりスピン幾何学位相を動的位相と独立に制御可能であることを見いだした。本実験結果は、**スピンの位相制御に新たな自由度を付与するとともに、幾何学的にスピンの情報が保護された状態を作り出すことが可能となる。**

#### (4) スピン要素技術の統合

##### スピン相補トランジスタの提案 (Appl. Phys. Lett. 100, 113502 (2012))

ゲート電界によって制御可能な永久スピン巡回状態を用いて、相補的スピントランジスタを提案した。論理回路を構成する上で基本となるのは、CMOS トランジスタのような相補出力が必須である。CMOS の場合は相補出力を得るため n-チャネルと p-チャネルが必要であるが、**本提案では、上向き、下向きスピンを用いることにより相補出力が可能となる。さらに永久スピン巡回状態によりスピンの緩和が抑制された状態を用いるのが特徴である。**

本スピン相補トランジスタを実現するには面直スピンの注入が重要で有り、面直磁化を有する磁性体 FePt を GaAs 上にエピタキシャル成長しスピン注入とスピン輸送を観測することに成功した(J. Phys. D 48, 164003 (2015))。また、InGaAs 系半導体二次元電子ガスのヘテロ構造を最適化することにより、永久スピン巡回状態と逆永久スピン巡回状態の間をゲート電界によるスイッチングの実現に成功した。本結果は相補的スピントランジスタの実現に向けたマイルストーンとなる。

磁性半導体 GaMnAs を非磁性 GaAs 上にエピタキシャル成長し、スピンエサキトンネルダイオード構造を用いたスピン注入・検出実験を行った。エサキトンネルダイオードが持つ非線形 I-V 特性のバイアス依存性を詳細に解析することによりスピン流を検出する際の異常に大きな信号の起源を解明するとともに**スピン検出感度を最大 40 倍まで増幅**

**することに成功した**(Phys. Rev. B 89, 081307(R) (2014))。**本成果は、日刊工業新聞に取り上げられた。**

本基盤研究(S)の当初計画になかったものであるがNTTと共同研究で弾性表面波が運ぶ電子スピンへのスピン軌道相互作用の及ぼす効果について研究を行った。この共同研究では、電子スピンを弾性表面波によって100ミクロンメートル以上にわたって伝搬させるとともに、**弾性表面波の強度によりスピン軌道相互作用も制御可能であることを実証**することに成功した。**本研究成果は論文(Phys. Rev. Lett. 106, 216602 (2011))に掲載されるとともに、新聞(日刊工業新聞、日経産業新聞)でも取り上げられた。**

さらに、弾性表面波の移動経路を適切に設計することにより、電子スピン共鳴に必要な静磁場と振動磁場を同時にスピン軌道相互作用により発生させ、**磁場を一切用いない「移動スピン共鳴」と名付けた新現象が可能であることを発見した。**これにより電子スピンの向きを任意に制御することが可能となり、スピントロニクスや量子コンピュータの実現に繋がる。**本研究成果は Nature Physics 9, 280 (2013)に掲載され同誌のNews and Viewsでも紹介されるとともに新聞(日刊工業新聞、日経産業新聞)でも取り上げられた。**

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 45 件)

1. “Shot Noise Induced by Nonequilibrium Spin Accumulation”, T. Arakawa, J. Shiogai, M. Ciorga, M. Utz, D. Schuh, M. Kohda, J. Nitta, D. Bougeard, D. Weiss, T. Ono, and K. Kobayashi, Phys. Rev. Lett. 114, 016601-1 -5 (2015)

[10.1103/PhysRevLett.114.016601](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.016601)

2. “Direct determination of spin-orbit interaction coefficients and realization of the persistent spin helix symmetry”, A. Sasaki, S. Nonaka, Y. Kunihashi, M. Kohda, T. Bauernfeind, T. Dollinger, K. Richter, and J. Nitta, Nature Nanotech. 9, 703-709 (2014)

[10.1038/NNANO.2014.128](https://doi.org/10.1038/NNANO.2014.128)

3. “Giant enhancement of spin detection sensitivity in (Ga,Mn)As/GaAs Esaki diodes” J. Shiogai, M. Ciorga, M. Utz, D. Schuh, M. Kohda, D. Bougeard, T. Nojima, J. Nitta, and D. Weiss, Phys. Rev. B (Rapid Comm.) 89, 081307-1 -5 (2014)

[10.1103/PhysRevB.89.081307](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.89.081307)

4. “Control of the spin geometric phase in semiconductor rings”, F. Nagasawa, D. Frustaglia, H. Saarikoski, K. Richter, and J. Nitta, Nature

- Communications **4**, 2526-1 -7, (2013)  
[10.1038/ncomms3526](https://doi.org/10.1038/ncomms3526)
5. “Manipulation of mobile spin coherence using magnetic-field-free electron spin resonance”, H. Sanada, Y. Kunihashi, H. Gotoh, M. Kohda, J. Nitta, P. V. Santos, and T. Sogawa, Nature Physics **9**, 280-283 (2013)  
[10.1038/NPHYS2573](https://doi.org/10.1038/NPHYS2573)
  6. “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 **2**, 1082-1 -7 (2012)  
[10.1038/ncomms2080](https://doi.org/10.1038/ncomms2080)
  7. “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)  
[10.1103/PhysRevB.86.081306](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.86.081306)
  8. “Proposal of spin complementary field effect transistor”, Y. Kunihashi, M. Kohda, H. Sanada, H. Gotoh, T. Sogawa, J. Nitta, Appl. Phys. Lett. **100**, 113502-1 -3 (2012)  
[10.1063/1.3689753](https://doi.org/10.1063/1.3689753)
  9. “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)  
[10.1103/PhysRevLett.108.086801](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.086801)
  10. “Acoustically Induced Spin-Orbit Interactions Revealed by Two-Dimensional Imaging of Spin Transport in GaAs”, H. Sanada, T. Sogawa, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and P.V. Santos, Phys. Rev. Lett. **106**, 216602-1 -4 (2011)  
[10.1103/PhysRevLett.106.216602](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.216602)
- 以上 10 件全て査読有り  
 その他 論文 33 件 (査読有り)  
           論文 2 件 (査読なし)  
 合計 45 件

[学会発表] (計 137 件)

国際会議招待講演 25 件

1. J. Nitta, “Spin-orbitronics in semiconductor heterostructures”, Emergent Relativistic Effects in Condensed Matter, April 10<sup>th</sup> (2015), Regensburg Germany
2. J. Nitta, “Geometric control of spins in semiconductor nanostructures”, 1st International Workshop on Topological Electronics, March 9<sup>th</sup>-11<sup>th</sup> (2015), OIST Okinawa
3. M. Kohda, “Stern-Gerlach type spin separation in semiconductor nanostructures”, The 41<sup>st</sup>

International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2014), May 11<sup>th</sup> - 15<sup>th</sup> (2014), Montpellier France

4. J. Nitta, “Spin Coherent Transport in Semiconductors”, International Workshop on Semiconductor Spintronics, Sept. 30<sup>th</sup> Oct. 2<sup>nd</sup> (2013), Wurtzburg Germany

5. J. Nitta, “Spin Coherent Transport in InGaAs heterostructures”, 16th International Conference on Narrow Gap Systems, August 2<sup>nd</sup>-6<sup>th</sup>, (2013), HangZhou China

6. J. Nitta, “Spin transport affected by spin-orbit interaction”, The 9th Capri Spring School on Transport in Nanostructures, April 7<sup>th</sup>-13<sup>th</sup> (2013), Capri Italy

7. J. Nitta, “Spin generation and manipulation in semiconductors”, 10th International Workshop on Spintronics “New Directions in Materials for Nanoelectronics, Spintronics and Photonics”, Jan. 15<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> (2013), Tohoku University, Sendai Japan

8. J. Nitta, “Gate Controlled Persistent Spin Helix State in InGaAs Systems”, International Workshop on Spin Phenomena in Reduced Dimensions, Sept. 19<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> (2012), Regensburg Germany

9. J. Nitta, “Spin Geometric Phase in InGaAs Spin Interference”, International School on Spin-Related Phenomena in Mesoscopic Transport, Sept. 3<sup>rd</sup>-18<sup>th</sup> (2012), Stockholm Sweden

10. J. Nitta, “Spin Coherent Transport and Manipulation in Semiconductors”, 2012 Canadian Association of Physics Congress, June 11<sup>th</sup> -15<sup>th</sup> (2012), Calgary Canada

その他 国際会議招待講演 15 件

国内学会・研究会招待講演 15 件

1. 新田 淳作, “半導体中のスピンはめぐる -電界による電子スピンの回転制御-”, 応用物理学会中国四国支部若手半導体研究会講演会, 2014 年 07 月 26 日 ~ 27 日, レインボープラザ松江 島根
2. 新田 淳作, “電場制御スピントロニクス”, 応用物理学会北海道支部講演会, 2014 年 07 月 25 日, 北海道大学 北海道
3. 新田 淳作, “スピン軌道相互作用を用いたスピントロニクス”, 日本物理学会第 69 回年次大会シンポジウム, 2014 年 03 月 17 日 ~ 30 日, 東海大学 神奈川
4. 新田 淳作, “スピン軌道相互作用を用いた半導体中のスピン機能開拓”, 第 61 回応用物理学会シンポジウム「スピン流物理の新展開」, 2014 年 03 月 17 日 ~ 20 日, 青山学院大学 神奈川
5. 好田 誠, 新田 淳作, “スピン軌道相互作用を用いたシュテルン-ゲルラッハスピンフィルタ”, 日本磁気学会 第 43 回スピンエレクトロニクス専門研究会「電界による物性制御」, 2013 年 01 月 07

- 日, 京都大学 京都
6. 好田 誠、新田 淳作、” 半導体におけるゲート電界スピン生成と制御 ”、日本物理学会 2012 年秋季大会シンポジウム、2012 年 09 月 18 日 ~ 21 日、横浜国立大学 神奈川
  7. 新田 淳作、” Spintronics using spin-orbit interaction ”、第 2 回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、2012 年 09 月 05 日 ~ 07 日、サンバレー那須 栃木
  8. 新田 淳作、” 半導体スピントロニクス ”、応用物理学会第 10 回 スピントロニクス入門セミナー、2011 年 12 月 08 日 ~ 09 日、京都研修センター
  9. 好田 誠、” InGaAs 量子ポイントコンタクトによるスピン流生成 ”、第 37 回スピンエレクトロニクス研究会「スピン流と熱効果の新現象」、2011 年 11 月 14 日 ~ 15 日、東北大学 宮城
  10. 新田 淳作、” 非磁性半導体スピントロニクスの発展と展望 ”、第 49 回応用物理学会スクール「スピントロニクスこれまでの 20 年これからの 20 年」、2011 年 08 月 29 日 ~ 09 月 01 日、山形大学 山形

その他国内学会・研究会招待講演 5 件  
その他 国際・国内一般講演 97 件

〔図書〕(計 1 件)

“Spin Current” Edited by S. Maekawa, Chapter 13 “Spin generation and manipulation based on spin-orbit interaction in semiconductors”, J. Nitta, Oxford Science Publications p209- p224 (2012).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 量子ポイントコンタクトを用いたスピン偏極電流によるスピン整流効果の発生法  
発明者: 好田 誠、小林 研介、新田 淳作  
権利者: JST  
種類: 特許  
番号: 特願 2011-502951  
出願年月日: 2011 年 08 月 21 日  
国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

名称: 量子ポイントコンタクトを用いたスピン偏極電流によるスピン整流効果の発生法  
発明者: 好田 誠、小林 研介、新田 淳作  
権利者: JST  
種類: 特許  
番号: 5260810  
出願年月日: 2011 年 08 月 21 日  
取得年月日: 2013 年 05 月 02 日  
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

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

新聞報道

1. **スピン軌道相互作用を直接決定 永久スピン旋回状態の検出に成功**  
科学新聞 2014年08月01日
2. **半導体のスピン異常信号解明 検出感度40倍増幅**  
日刊工業新聞 2014年03月11日
3. **数年の計算・数秒に**  
日経産業新聞 2013年3月19日
4. **電子スピンの向き自在に**  
日刊工業新聞 2013年3月18日
5. **電子スピンの幾何学的位相 東北大 電氣的観測に成功 スピン位相制御技術確立へ前進**  
科学新聞 2012年03月09日
6. **電子スピンの幾何学的位相干渉効果で定量評価**  
日刊工業新聞 2012年02月29日
7. **スピン長時間制御**  
日経産業新聞 2011年6月2日
8. **超音波で電子スピン制御**  
日刊工業新聞 2011年5月31日

他者による我々の論文の解説記事

1. **News & Views**, T. Jungwirth and J. Wunderlich, Nature Nanotechnology **9**, 662 (2014)  
我々の論文: “Direct determination of spin-orbit interaction coefficients and realization of persistent spin helix symmetry”, Nature Nanotech. **9**, 703 (2014)
2. **News & Views**, M. Kataoka, Nature Physics **9**, 269 (2013)  
我々の論文: “Manipulation of mobile spin coherence using magnetic-field-free electron spin resonance”, Nature Physics **9**, 280 (2013)
3. **Viewpoint**, K. Richter, Physics **5**, 22 (2012)  
我々の論文: “Experimental Demonstration of Spin Geometric Phase: Radius Dependence of Time -Reversal Aharonov-Casher Oscillations”, Phys. Rev. Lett. **108**, 086801 (2012)

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

手束 展規 (TEZUKA, Nobuki)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 40323076  
好田 誠 (KOHDA, Makoto)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 00420000