

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02099

研究課題名(和文) 半導体における永久スピン旋回状態を基軸とした革新的スピン機能創出

研究課題名(英文) Realization of spin functionalities based on persistent spin helix state in semiconductors

研究代表者

好田 誠 (Kohda, Makoto)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00420000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、半導体の永久スピン旋回状態に着目し、新奇スピン物性・スピン機能を創製することである。この目的を遂行すべく、1.新奇スピン物性、2.スピン機能創製、3.デバイス応用そして4.新材料探索を旗印とし研究を進めた。その結果、スピン軌道ロッキングを用いた新奇スピン制御原理の発見、光励起ポテンシャルを巧みに利用した長時間スピン保持、永久スピン旋回状態下での長距離ドリフトスピン輸送の実現、次元制御を利用したスピン波の安定化を可能にした。さらに、原子層物質・単結晶金属薄膜の界面スピン軌道相互作用を解明し、デバイス応用・新物質展開への指針を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体において電子スピンを活用する場合、これまで、スピンの向きが一方方向に綺麗に揃った状態を作りだし、緻密に制御することが求められてきました。私たちは、空間的にスピンの向きが回転している、波のようなスピン状態を作り出し、このスピン波が生み出す新しい物理や機能の開拓を進めました。その結果、このスピンの波は、均一なスピン状態と比較し、極めて長い距離までスピン情報を輸送、高速なスピン制御が可能、さらには長時間のスピン情報の保持ができることを明らかにし、次世代情報社会における情報担体として極めて有望であることが分かりました。

研究成果の概要(英文)：We investigated the novel spin phenomena and functionalities based on persistent spin helix state in semiconductor heterostructures. We have achieved the discovery of novel spin manipulation method based on spin-momentum locking, the long spin relaxation time by optically excited potential dimple, long spin transport by drift bias under persistent spin helix state and stabilization of spin wave by using lateral confinement in semiconductor two dimensional electron gas. Towards device application and development of persistent spin helix state in new materials, we further investigated the interface-induced spin orbit interaction in atomic layer materials and epitaxial non-magnetic metal films.

研究分野：半導体スピントロニクス

キーワード：スピン軌道相互作用 スピントロニクス 半導体 永久スピン旋回状態

## 1. 研究開始当初の背景

スピントロニクスは、電荷と共にスピン自由度も利用することで、新たな原理や機能を生み出す学問領域である。スピン自由度の活用には、スピンの向きを揃え制御し、最終的にはスピン情報を長距離まで輸送することが求められる。しかし、スピン角運動量は保存量ではないため、スピン情報が失われる「スピン緩和」が不可避となる。よってスピン情報が失われる前までに、全てのスピン操作を完了させなければならない根本的課題が課せられており、スピン情報を偏光や磁化など別の状態に変換しなければならないなかった。このことは、スピン緩和がスピントロニクス分野全体のボトルネックとなり得ることを意味する。

よって、このスピン緩和を完全に抑制でき同時にスピン制御可能となれば、全く新しい技術革新が生み出せる可能性がある。なぜなら、スピン緩和長内に限られていたスピン機能開発の枠組み自体を外すことができるため、スピン情報の分波による並列処理やスピンインバータなど新たな概念による素子構成が可能になるからである。そして、この技術革新の鍵を握るのが「永久スピン旋回状態」と呼ばれる空間的にスピン回転を伴うスピン波である。

この永久スピン旋回状態は対称性により保護されているため、スピン緩和を原理的に抑制することが可能であり、同時にスピン制御を実現できる。2009年に永久スピン旋回状態が初めて観測され、2012年に研究代表者らにより永久スピン旋回状態のゲート制御を世界に先駆けて実現してきた。しかし、この永久スピン旋回状態が有する基本物性やデバイス応用の可能性、さらに物質探索などは未開拓であり、永久スピン旋回状態が新たな技術革新の芽になるかどうかは未知数となっていた。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、新たな技術革新の芽となり得るこの永久スピン旋回状態を成熟させ、将来に向けた技術展開を図るために、永久スピン旋回状態を用いたスピン緩和抑制を確立し、さらにナノ構造制御・結晶方位制御と組み合わせた長距離スピン輸送と電気的スピン制御の両立、そしてスピンインバータに向けたチャンネル要素技術を構築することを目的として研究を進めた。

## 3. 研究の方法

本研究では GaAs/AlGaAs および InGaAs/InAlAs 量子井戸構造を用いて永久スピン旋回状態のスピン物性を明らかにしてきた。永久スピン旋回状態を実現するにはラシュバおよびドレッセルハウススピン軌道相互作用を等しい強さにする必要がある。そこで、ドーピングや外部ゲート制御を用いてラシュバスピン軌道相互作用を精密制御し、永久スピン旋回状態を満たす量子井戸構造を実現した。スピン緩和時間の定量評価および永久スピン旋回状態の空間・時間発展を明らかにするため時間空間分解カー回転(TRKR)法を用いた。ピコ秒チタンサファイアレーザーを用いて円偏光ポンプ光により半導体量子構造にスピン偏極電子を生成する。時間遅延させた直線偏光プローブ光を用いてスピン偏極状態をカー回転角として検出する。レーザースポット径は数 10 $\mu\text{m}$  から 1 $\mu\text{m}$  程度となる。光学測定ではスポットサイズに制限され、ナノ構造のスピン物性を明らかにするには適さない。そこで微細加工した 1次元チャンネルである量子ポイントコンタクトを用いて磁気輸送測定における量子化伝導からスピン物性を評価すると共に、磁気伝導度にあられる弱反局在現象からスピン軌道相互作用の強さを明らかにした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 次元制御によるヘリカルスピン波のスピンド緩和時間増大

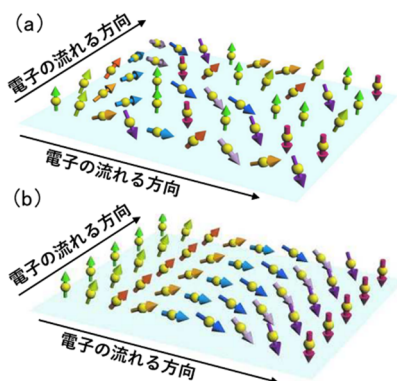


図 1. (a)半導体におけるスピンド輸送。散乱によりスピンド方向はランダムとなりスピンド緩和が生じる。(b)永久スピンド旋回状態におけるスピンド輸送。互いのスピンド位相は保持される。

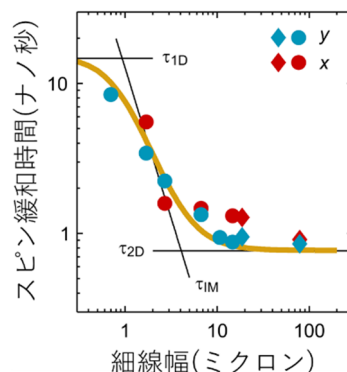


図 2. GaAs/AlGaAs 量子井戸構造におけるスピンド緩和時間の細線幅依存性。細線幅が狭くなるにつれて有効磁場が一軸となるため、スピンド緩和が抑制されることを明らかにした。

通常電子スピンドは空間的に広がる過程でスピンドの向きがばらばらとなるスピンド緩和が生じる(図 1(a))。しかし永久スピンド旋回状態は、図 1(b)のように、スピンドが空間的に一斉回転するため、スピンド位相が乱されずスピンド緩和を抑制することが可能となる。この永久スピンド旋回状態をドリフト輸送させることで、100 $\mu\text{m}$  以上にわたってヘリカルスピンド波を輸送できることを明らかにした。しかし、この永久スピンド旋回状態を実現するには 2 種類のスピンド軌道相互作用を高精度に一致させる必要がある。そこで同じヘリカルスピンド波の実現とスピンド緩和抑制に向け半導体細線構造に着目し、細線構造が有するスピンド緩和の起源を IBM チューリッヒ研究所との国際共同研究で明らかにしてきた。図 2 に示すように、細線幅を狭くするにつれてスピンド緩和時間が 10 ナノ秒近くまで増大することを明らかにし、その理由が有効磁場の対称性に起因することを示した。よって、次元制御を用いることで、任意のスピンド軌道相互作用の強さに対して長距離スピンド輸送が可能になることを明らかにし、ナノ構造制御がスピンド波の安定化に大きく寄与することを示した。

##### (2) スピンド軌道ロッキングを用いた電氣的スピンド制御の実現

2 次元ラッシュバ系やトポロジカル絶縁体に存在するスピンド軌道ロッキングを用いた、新たなスピンド制御法を実現した。半導体におけるスピンド軌道相互作用は、電子スピンドに対し有効磁場を与えるため、スピンド歳差運動制御を可能にしてきた。一方スピンド軌道ロッキングを用いる場合、電子軌道とスピンド方向が結合するため、電子軌道の精密制御により、歳差運動とは全く異なる原理で、スピンド方向制御が可能となる。ラッシュバスピンド軌道相互作用の強い InGaAs<sub>2</sub> 次元電子ガスをを用いて、量子ポイントコンタクト(QPC)が並列に接続された磁気フォーカシング素子を作製し(図 3)、低温におけるスピンド依存伝導度を評価した。弱い面直磁場(B<sub>op</sub>)によ

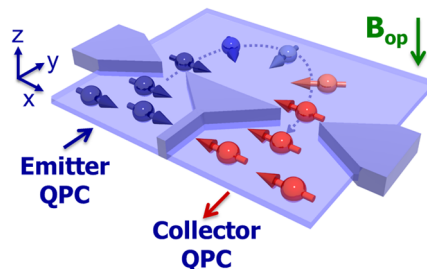


図 3. スピンド軌道ロッキングによるスピンド制御を行う磁気フォーカシング素子。弱い面直磁場(B<sub>op</sub>)によ

り電子が半円軌道を描くと、エミッタ QPC を出た電子スピンの 180 度回転してコレクタ QPC に到着することを実験的に見出した。理論計算とも良い一致を示し、スピン軌道ロッキングによるスピン方向制御が実現した。このスピン制御法は、常にスピン方向が有効磁場と平行であることから、Dephasing を抑制した効率的なスピン制御手法になり得る。

### (3) ポテンシャルディンプルを用いた新奇スピン輸送法の確立

GaAs/AlGaAs 量子井戸構造において、光励起により電子を閉じ込めるお椀型のポテンシャルを形成することで、スピン偏極状態を長時間保持できる新たな原理を生み出した。空間的に電子を閉じ込めることで運動量を制限し、スピン軌道相互作用に起因する有効磁場を抑制することができる。この様な次元性を利用したスピン状態の長時間保持は、これまで微細加工や結晶成長技術により形成された量子ドットが用いられてきた。しかし、一度作り込むと形状は変えられずスピンの読み出しや伝搬には高度な技術を必要としていた。そこで、光励起のみで量子ドットと同様の電子を閉じ込めるポテンシャルを形成し、極めて長いスピン緩和時間を生み出すことに成功した(図 4(a))。ポテンシャル形状は励起レーザーのサイズにより自在に変えることができる(図 4(b))。よって柔軟性の高いスピン状態の保持手法になり、この手法を用いた長距離スピン空間輸送が可能となる。

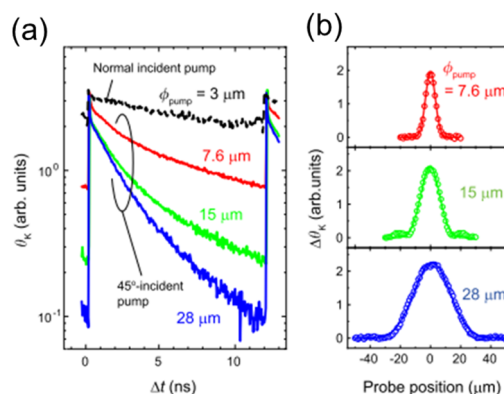


図 4. GaAs/AlGaAs 量子井戸における長時間スピン寿命 (a)異なるレーザースポットサイズにおける TRKR 信号の時間変化 (b)異なる励起レーザースポットサイズ

### (4) 永久スピン旋回状態が最も安定化する結晶方位を解明

III-V 族半導体量子構造においてスピン緩和を抑制できる永久スピン旋回状態は、スピン輸送やスピン制御において極めて有効であるが、スピン軌道相互作用の高次項によるスピン緩和が不可避であるため、3次ドレッセルハウススピン軌道相互作用を抑制できなければならない。これまで永久スピン旋回状態が様々な結晶方位で実現可能であることは理論的に示されているが、3次ドレッセルハウス項の影響がどのように違うのかは明らかになっていない。そこで、スピン拡散方程式及びモンテカルロシミュレーションを用いて永久スピン旋回状態における3次項の影響を定量的に評価し、これまで全く研究がされてこなかった[225]面量子井戸において最も3次項が抑制できることを初めて明らかにした。図 5(a)に異なる結晶方位で実現できる永久スピン旋回状態を示す。結晶面に依存し、ヘリカルスピン波の励起できる方向と波長が異なることが分かり、それらは永久スピン旋回状態を決める有効磁場の強さに依存する(図 5(b))。さらに、図 5(c)に示す3次ドレッセルハウス項が生み出す有効磁場も面方位に依存しその大きさと方向が変化する。この3次項と永久スピン旋回状態を作る1軸の有効磁場の相対関係によりスピン緩和時間が決まる。図 5(e)にスピン拡散方程式から求めたスピン緩和レートの結晶方位依存性を示す。[111]面付近におけるスピン緩和レートの減少は永久スピン旋回状態の消失に起因する。一方、[225]面でスピン緩和レートに極小が観測されたことから、Cubic項の存在下でも[225]面量子井戸では、安定して永久スピン旋回状態が存在できることを初めて明らかにできた。

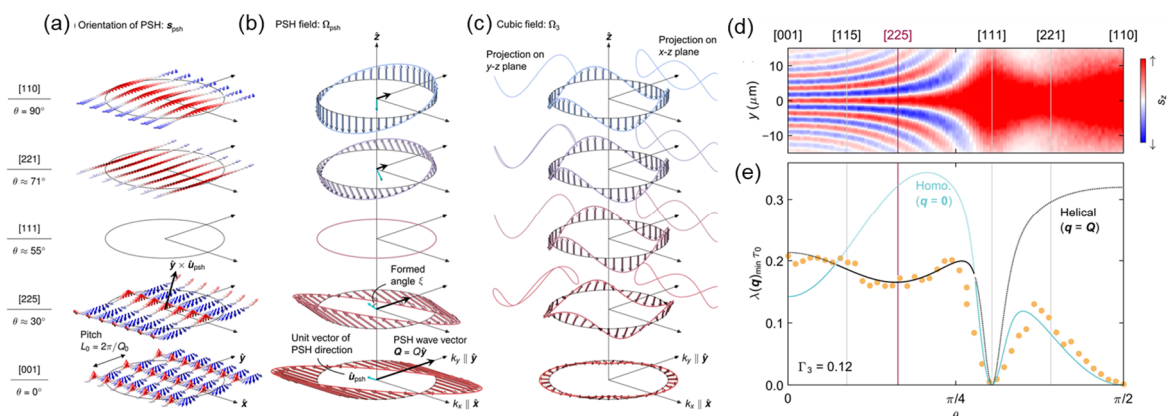


図 5. GaAs/AlGaAs 量子井戸における異なる面方位における永久スピン旋回状態。(a)永久スピン旋回状態におけるヘリカルスピนว (b)永久スピン旋回状態下における有効磁場方向 (c)3次ドレセルハウススピソ軌道相互作用による有効磁場 (d)ヘリカルスピソ波の結晶方位依存性 (e)スピソ緩和レートの結晶方位依存性

#### (4) 原子層物質 GaSe におけるスピソ軌道相互作用のゲート制御

原子層物質の一つである GaSe 薄膜のスピソ軌道相互作用をゲート電場により初めて制御できることを示した。遷移金属モノカルコゲナイドである GaSe は、バンド端が  $\Gamma$  点に位置する直接遷移半導体であり、膜面直方向に有効磁場を持つ特徴を有する。このため永久スピン旋回状態と類似し、長いスピソ緩和時間が期待できる。そこで GaSe を剥離法により 10nm 前後まで薄くし、バックゲートを有したトランジスタ構造を用いて、低温における磁気輸送測定を行い、スピソ軌道相互作用の電氣的制御を試みた。ゲート電圧に依存し、ゼロ磁場付近で観測される弱反局在現象が変調されていることが分かり(図 6)、ゲート電場によりラシュバスピソ軌道相互作用が変調できることを示した。伝導度の量子補正を取り入れて解析することによりスピソ軌道相互作用の大きさを求めると、2eV 程度のワイドギャップ半導体でありながら

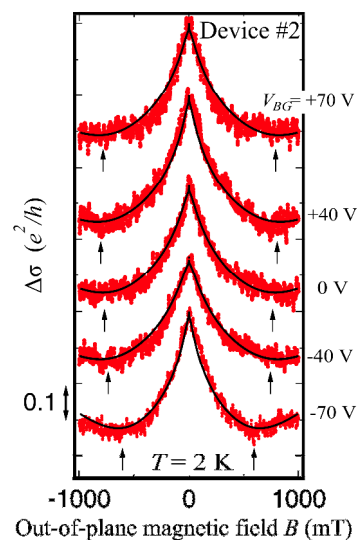


図 6. 異なるバックゲート電圧  $V_{BG}$  で測定した伝導度の面直磁場依存性。ゲート電圧に依存し伝導度の最小値(矢印位置)が変化することから、スピソ軌道相互作用のゲート制御が実現されている。

InGaAs/InAlAs 量子井戸構造と同程度の強いラシュバスピソ軌道相互作用であることが分かり、原子層物質を用いたスピソトランジスタや長距離スピソ輸送に向けた基盤技術を構築できる可能性がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 H. Gamou, K. Shimose, R. Enoki, E. Minamitani, A. Shiotari, Y. Kotani, K. Toyoki, T. Nakamura, Y. Sugimoto, M. Kohda, J. Nitta, and S. Miwa	4. 巻 20
2. 論文標題 Detection of Spin Transfer from Metal to Molecule by Magnetoresistance Measurement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 75-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.9b03110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Shida, K. Kawaguchi, Y. Saito, I. Takazawa, T. Fukasawa, D. Iizasa, T. Saito, T. Kitada, Y. Ishitani, M. Kohda and K. Morita,	4. 巻 127
2. 論文標題 Spin orbit parameters derivation using single-frequency analysis of InGaAs multiple quantum wells in transient spin dynamics regime	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 153901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0002821	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 E. Asakura, M. Suzuki, S. Karube, J. Nitta, K. Nagashio and M. Kohda	4. 巻 12
2. 論文標題 Detection of both optical polarization and coherence transfers to excitonic valley states in CVD-grown monolayer MoS2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 63005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab21a8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Morita, A. Okumura, H. Takaiwa, I. Takazawa, T. Oda, T. Kitada, M. Kohda, and Y. Ishitani	4. 巻 115
2. 論文標題 Temperature and laser energy dependence of the electron g-factor in intrinsic InGaAs/InAlAs multiple quantum wells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 12404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5100343	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Saito, A. Aoki, J. Nitta, and M. Kohda	4. 巻 115
2. 論文標題 Simultaneous evaluation of drift- and diffusion-induced spin-orbit fields in a (001) GaAs/AlGaAs two-dimensional electron gas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 52402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5111605	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Kawaguchi, T. Fukasawa, I. Takazawa, H. Shida, Y. Saito, D. Iizasa, T. Saito, T. Kitada, Y. Ishitani, M. Kohda, and K. Morita	4. 巻 115
2. 論文標題 Transient diffusive spin dynamics in intrinsic InGaAs/InAlAs multiple quantum wells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 172406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5124011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Tanaka, Y. Kunihashi, H. Sanada, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and T. Sogawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Phase velocity of drifting spin wave packets in semiconductor two dimensional electron gas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 13001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/aaf170	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Kohda, T. Okayasu and J. Nitta	4. 巻 9
2. 論文標題 Spin-momentum locked spin manipulation in a two-dimensional Rashba system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-37967-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 D Iizasa, D. Sato, K. Morita, J. Nitta, and M. Kohda	4. 巻 98
2. 論文標題 Robustness of a persistent spin helix against a cubic Dresselhaus field in (001) and (110) oriented two-dimensional electron gases	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165112-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.165112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Tanaka, Y. Kunihashi, H. Sanada, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and T. Sogawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Phase velocity of drifting spin wave packets in semiconductor twodimensional electron gas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 013001-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/aaf170	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Takasuna, J. Shiogai, S. Matsuzaka, M. Kohda, Y. Oyama, and J. Nitta	4. 巻 96
2. 論文標題 Weak antilocalization induced by Rashba spin-orbit interaction in layered III-VI compound semiconductor GaSe thin films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B Rapid Communications	6. 最初と最後の頁 161303-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.161303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoji Kunihashi, Haruki Sanada, Yusuke Tanaka, Hideki Gotoh, Koji Onomitsu, Keita Nakagawara, Makoto Kohda, Junsaku Nitta	4. 巻 119
2. 論文標題 Drift-Induced Enhancement of Cubic Dresselhaus Spin-Orbit Interaction in a Two-Dimensional Electron Gas	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 187703-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.187703	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 M. Suzuki, M. Kohda, S. Takasuna, S. Matsuzaka, Y. Sato, T. Tanabe, Y. Oyama, and J. Nitta	4. 巻 57
2. 論文標題 Effect of optical waveguide on photoluminescence polarization in layered material GaSe with millimeter scale	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 020308-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.020308	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Kohda and G. Salis	4. 巻 32
2. 論文標題 Physics and application of persistent spin helix state in semiconductor heterostructures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Semiconductor Science and Technology	6. 最初と最後の頁 073002-1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088 / 1361-6641 / aa5dd6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jeongchun Ryu, Makoto Kohda, and Junsaku Nitta	4. 巻 116
2. 論文標題 Observation of the D'yakonov-Perel' Spin Relaxation in Single-Crystalline Pt Thin Films	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 256802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.116.256802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 P. Altmann, F. G. G. Hernandez, G. J. Ferreira, M. Kohda, C. Reichl, W. Wegscheider and G. Salis	4. 巻 116
2. 論文標題 Current-Controlled Spin Precession of Quasistationary Electrons in a Cubic Spin-Orbit Field	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 196802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.116.196802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hiromu Gamou, Jeongchun Ryu, Makoto Kohda, and Junsaku Nitta	4. 巻 10
2. 論文標題 Different spin relaxation mechanisms between epitaxial and polycrystalline Ta thin films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 23003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.023003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Kunihashi, H. Sanada, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta and T. Sogawa	4. 巻 7
2. 論文標題 Drift transport of helical spin coherence with tailored spin orbit interactions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 10722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms10722	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Kunihashi, H. Sanada, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and T. Sogawa.	4. 巻 7
2. 論文標題 Drift transport of helical spin coherence with tailored spin-orbit interactions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 10722-1-10722-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms10722	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 P. Altmann, M. Kohda, C. Reichl, W. Wegscheider, and G. Salis.	4. 巻 92
2. 論文標題 Transition of a two-dimensional spin mode to a helical state by lateral confinement	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235304-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.92.235304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Kohda, P. Altmann, D. Schuh, S. D. Ganichev, W. Wegscheider, and G. Salis.	4. 巻 107
2. 論文標題 All-optical evaluation of spin-orbit interaction based on diffusive spin motion in a two dimensional electron gas	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 172402-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4934671	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Ohsugi, Y. Kunihashi, H. Sanada, M. Kohda, H. Gotoh, T. Sogawa and J. Nitta.	4. 巻 9
2. 論文標題 Bias dependence of spin injection/transport properties of a perpendicular magnetized FePt / MgO / GaAs structure	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 043002-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.9.043002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 R. Kurosawa, K. Morita, M. Kohda, and Y. Ishitani.	4. 巻 107
2. 論文標題 Effect of cubic Dresselhaus spin-orbit interaction in a persistent spin helix state including phonon scattering in semiconductor quantum wells	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 182103-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4935044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 M. Kohda
2. 発表標題 Spin manipulation by spin-momentum locking in a two-dimensional Rashba system
3. 学会等名 SPIE NanoScience and Engineering Spintronics XII (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kohda
2 . 発表標題 Spin manipulation by spin momentum locking in Rashba two-dimensional system
3 . 学会等名 3rd EPiQS-TMS alliance workshop on Topological Phenomena in Quantum Materials (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Iizasa, M. Kohda, G. Salis, A. Aoki, and J. Nitta
2 . 発表標題 Modulation of spin precession frequency induced by anisotropic spin dephasing in GaAs/AlGaAs quantum well
3 . 学会等名 34th International Conference on the Physics of Semiconductor 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Saito, A. Aoki, M. Kohda, and J. Nitta
2 . 発表標題 Simultaneous Detection of Drift and Diffusion Induced Spin-orbit Fields in a GaAs/AlGaAs Quantum Well
3 . 学会等名 34th International Conference on the Physics of Semiconductor 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Makoto Kohda, Takanori Okayasu, Junsaku Nitta
2 . 発表標題 Spin manipulation by spin-momentum locking in an InGaAs-based two dimensional electron gas
3 . 学会等名 34th International Conference on the Physics of Semiconductor 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Iizasa, M. Kohda, D. Sato, and J. Nitta
2. 発表標題 Robustness of a persistent spin helix in (001) and (110)-oriented GaAs/AlGaAs quantum wells
3. 学会等名 10th International School and Conference on Physics and Application of Spin Phenomena in Solids (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Saito, A. Aoki, M. Kohda, and J. Nitta
2. 発表標題 Gate voltage dependence of spin-orbit fields probed by scanning Kerr rotation microscopy
3. 学会等名 10th International School and Conference on Physics and Application of Spin Phenomena in Solids (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Kohda, Takanori Okayasu, Junsaku Nitta
2. 発表標題 Adiabatic and non-adiabatic spin rotation under Rashba spin orbit interaction in transverse magnetic focusing
3. 学会等名 10th International School and Conference on Physics and Application of Spin Phenomena in Solids (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤大、飯笹大介、軽部修太郎、好田誠、新田淳作
2. 発表標題 Anisotropic spin lifetime depending on crystal orientation in GaAs/AlGaAs wire structures
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝倉 永人, 鈴木 将紀, 長汐 晃輔, 好田 誠, 新田 淳作
2. 発表標題 Generation of valley polarization and coherence in a monolayer MoS2 probed by polarized photoluminescence measurement
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Iizasa, Dai Sato, Ken Morita, Junsaku Nitta, Makoto Kohda
2. 発表標題 The lifetime of persistent spin helix state under cubic Dresselhaus spin-orbit field in (001) and (110) two-dimensional electron gases
3. 学会等名 Physics and Application of Spin Phenomena in Solids 23
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Kohda, Takanori Okayasu, Junsaku Nitta
2. 発表標題 Spin-momentum locked spin manipulation in a Rashba two-dimensional system
3. 学会等名 新学術領域研究トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア第4回領域研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 好田 誠, 岡安 孝典, 新田 淳作
2. 発表標題 InGaAs 量子井戸におけるスピン軌道ロッキングを用いたスピン制御
3. 学会等名 Spin-RNJシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Kohda, Takanori Okayasu, Junsaku Nitta
2. 発表標題 Spin manipulation by spin-momentum locking in an InGaAs-based two-dimensional electron gas
3. 学会等名 2018年度春季応用物理学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kohda
2. 発表標題 Spin-momentum locking on magnetic focusing manifested by semiconductor Stern-Gerlach spin filter
3. 学会等名 2nd Japan-China International Workshop on Quantum Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 好田 誠
2. 発表標題 半導体におけるヘリカルスピン秩序の生成とその制御
3. 学会等名 豊田理研ワークショップ「スピン秩序の動的光制御」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Kohda, Takanori Okayasu and Junsaku Nitta
2. 発表標題 Electrical spin manipulation by spin-momentum locking in InGaAs-based two-dimensional electron gas
3. 学会等名 Junjirou Kanamori Memorial International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 好田 誠
2. 発表標題 半導体におけるスピン軌道ロッキングを用いたスピン制御
3. 学会等名 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究会 「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 好田 誠
2. 発表標題 半導体量子構造におけるスピン軌道相互作用を用いた 永久スピン旋回状態の制御
3. 学会等名 応用物理学会北海道支部講演会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kohda
2. 発表標題 Control of Spin States by Spin Orbit Interaction in Semiconductors
3. 学会等名 Tsinghua-Tohoku Joint Workshop on Advanced Materials(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takanori Okayasu, Makoto Kohda, and Junsaku Nitta
2. 発表標題 Electrical spin manipulation by spin-momentum locking in InGaAs-based two-dimensional electron gas
3. 学会等名 2018 Tohoku-Harvard Workshop(国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 M. Kohda
2. 発表標題 Spin orbit interaction in a layered semiconductor GaSe
3. 学会等名 Tohoku/SG-Spin Workshop on Spintronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Kohda and Junsaku Nitta
2. 発表標題 Control of Spin States by Spin Orbit Interaction in Semiconductors
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 「Compass for Next-Gen ICT」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kohda, J-C. Ryu, and J. Nitta
2. 発表標題 Spin relaxation mechanism in single and poly crystalline Pt thin film
3. 学会等名 14st RIEC International Workshop on Spintronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Kohda, S. Takasuna, and J. Nitta
2. 発表標題 Spin orbit interaction in metal-chalcogenide GaSe
3. 学会等名 International symposium on revolutionary atomic-layer materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Kohda,, K. Yoshizumi, S. Takasuna and J. Nitta
2. 発表標題 Spin orbit interaction in III-V semiconductor 2DEG and layered semiconductor GaSe
3. 学会等名 Frontiers in Quantum Materials and Devices Workshop (FQMD2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 好田 誠、柳 淀春、蒲生 寛武、新田 淳作
2. 発表標題 エビタキシャルPtおよびTa薄膜におけるスピン緩和機構とスピン軌道トルク
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 好田 誠、新田 淳作
2. 発表標題 半導体における Rashba および Dresselhaus スピン軌道相互作用が共存する系でのスピン物性
3. 学会等名 文科省新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」 第8回集中連携研究会「奇周波クーバー対の物理」 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 好田 誠、新田 淳作
2. 発表標題 固体中におけるスピン軌道相互作用の新展開
3. 学会等名 第10回物性科学領域横断研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Kohda
2. 発表標題 Electrical spin generation and manipulation in semiconductor heterostructures
3. 学会等名 21st International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems and 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 好田誠
2. 発表標題 半導体量子構造におけるスピン軌道相互作用を用いたスピン生成とその制御
3. 学会等名 2016年春季物理学会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 スピン軌道相互作用の増大方法およびスピデバイス	発明者 国橋要司、好田誠、 新田淳作、蒲生寛 武、榎涼斗 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-076621	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 窒素添加による金属薄膜中のスピン軌道相互作用の増大方法	発明者 好田誠、新田淳作、 蒲生寛武、榎涼斗他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願201776621	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>研究WEBページ  <a href="http://nittalab-material-tohoku.jp/kohda/">http://nittalab-material-tohoku.jp/kohda/</a>          新田研究室  <a href="http://nittalab-material-tohoku.jp/">http://nittalab-material-tohoku.jp/</a>          Home page  <a href="http://www.material.tohoku.ac.jp/~kotaib/kohda.html#TOP">http://www.material.tohoku.ac.jp/~kotaib/kohda.html#TOP</a></p>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	新田 淳作  (Nitta Junsaku)  (00393778)	東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授    (11301)	削除：平成27年9月3日(研究分担者が特別推進研究 (代表者)に採択されたため)
研究 協力者	サリス ジアン  (Salis Gian)	アイピーエムチューリッヒ研究所・Group leader	