

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02197

研究課題名(和文) シリコンへの新スピン機能の付加と革新的スピndeバイスの創製

研究課題名(英文) Investigation of spin related phenomena in silicon

研究代表者

安藤 裕一郎 (Ando, Yuichiro)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50618361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：半導体の中で最も重要な材料であるシリコンにおいて、電荷とは異なる性質を有するスピンを操作する演算素子の創成を目指した研究です。具体的には(A)スピン寿命の外部制御とスピン流論理演算応用、(B)電圧駆動スピン蓄積の実現、(C) スピン軌道相互作用やトポロジカル表面状態の活用のテーマに取り組みました。(A)では1素子で論理演算を切り替え可能なスピンロジック回路を室温実現しました。(B)ではバリスティック伝導を目指して、Siチャンネルの短チャンネル化を行い、巨大なスピン信号の検出に成功しました。(C)ではドーパントによるスピン軌道相互作用の増大や、界面ラッシュバを用いた電界によるスピン操作に成功しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シリコンは電子機器において最も重要な材料である。これまでの電荷ベースの半導体デバイスの高性能化には陰りが見え始め、全く新しいアプローチによる高性能化が強く望まれている。そのような中、本研究は電荷に加え、電子が有している内部自由度であるスピンを活用したデバイスの創成を目指した研究を実施した。本研究の発展により、新しい論理演算デバイス、メモリが実現できる可能性があり学術的意義。社会的意義は極めて高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Creation of novel spin related phenomena in Si-based spintornic devices were investigated. A reconfigurable spin logic operation, where NAND or OR operation can be selected by controlling the magnetization configuration, were demonstrated at room temperature. We also fabricated Si-based spin devices with a short channel, for realization ballistic spin transport. Whereas the channel length of the fabricated devices was longer than that of typical mean free path of electrons, we obtained significantly large spin accumulation voltage at room temperature, which is due to the short channel. Furthermore, we demonstrated enhancement of spin orbit interaction in Si by doping of heavy atoms as donors, and also demonstrated spin manipulation by using electric field applied along Si/SiO₂ interfaces at room temperature.

研究分野：半導体スピントロニクス

キーワード：シリコン スピントロニクス スピン流

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

電子スピンを情報処理に用いる“スピントロニクス”が注目を集めている。2017年に発表された「国際デバイスおよびシステムロードマップ（IRDS）」においては Beyond CMOS 技術として有望視されている 8 技術のうち、3 技術はスピントロニクスデバイス（スピン FET、スピン波デバイス、ナノ磁性ロジック）である。候補デバイスの一つであるスピン FET はソース・ドレインに強磁性体を配置し、磁化配置（平行・反平行）によりドレイン電流量を制御するトランジスタであり、再構成可能な論理回路や不揮発メモリへの応用が期待されている。研究代表者は 2007 年からシリコン（Si）を用いたスピンドバイスの研究に携わっており、スピン FET の室温動作実証に成功している。特筆すべきは①非縮退 Si 中の室温スピン輸送やスピン信号のゲート変調の唯一の成功例であり、②スピン依存抵抗の変化量（数 Ω ）も他の低温実験を凌駕しており、③半導体中の室温スピン寿命で最長を実現している点である。IRDS2017 におけるスピン FET 技術の進捗状況にも申請者のグループの成果が多数引用されており、この事実からも申請者のグループが Si スピン FET 研究を牽引していることが客観的に判断できる。スピン FET の要素技術は確立しつつあり、現在は応用研究へ展開している。

Si 中のスピン流生成・輸送・検出技術に着目してみると、スピン FET への応用は一例にすぎず、様々な展開が期待できる。しかし、スピン FET 以外の応用例はほとんど検討されていない。これは「Si はスピン機能として何がどの程度実現できるか？」という問いに実験研究側からの回答を示せていないことが一因である。Si では実現不可能とされていたスピン流輸送特性が実現すれば、革新的なスピンドバイスを創製できる可能性がある。以上を背景とし、本研究では Si 中のスピン流生成・輸送技術の高度化・多機能化し、全く新しいスピン機能を Si に付加することを検討する。

2. 研究の目的

本研究で下記の（A）～（C）について解明することを目的とした。

（A）スピン寿命の外部制御とスピン流論理演算応用

スピン流論理演算素子はチャンネル中のスピン蓄積状態を複数の強磁性体電極の磁化配置で制御し、論理演算を行う素子である。（Dery et al., Nature 447, 573(2007).）申請者は Si スピンドバイスをを用いて 3 つの強磁性体電極を用いた XOR ゲート演算の室温実証に成功している（論文執筆中）。また電極数を 5 つにすれば、1 素子で NAND/OR 切り替え可能な不揮発スピン流論理演算ゲートを構成できる（図 2）。現在は論理演算の高度化を目指した研究を推進している。スピン流論理演算素子の実現により膨大な計算コストを必要とする課題（例えば巡回セールスマン問題等）に全く新しいアプローチで取り組むことができる。当該デバイスにおいて高い設計自由度を実現するには長いスピン寿命が必要である。申請者は Si 中のスピン緩和機構を詳細に評価し、フォノンおよびイオン化不純物によるスピン散乱確率（室温）はそれぞれ 9×10^{-6} 、 4×10^{-6} 程度であることを明らかにした [Lee, Ando et al., Appl. Phys. Lett. 110, 192401 (2017)]。実デバイスでは（室温、低不純物濃度）フォノンによるスピン散乱が支配的であると予想され、当該効果の抑制が長スピン寿命の鍵となる。

（B）電圧駆動スピン蓄積の実現

スピン FET では反平行時にチャンネル中にスピン蓄積が生じ、高抵抗化する。即ち、高抵抗

化にはスピン蓄積形成のためのドレイン電流を印加する必要がある。言い換えれば、ドレイン電流の抑制のためにドレイン電流を流す必要があるというジレンマがある。申請者はこの問題に2つのアプローチで取り組んでいる。1つはスピンドリフト効果を積極的に活用し、これまでのスピン蓄積の範疇を超越したスピン FET を創製することである。もう一つがスピン蓄積状態を電流誘起ではなく電圧誘起で生成することである。本研究では後者について検討する。

(C) スピン軌道相互作用やトポロジカル表面状態の活用

スピン流の操作には磁界または電界を利用するのが有望である。磁界によるスピン操作は実証済みであり、 4π 以上のスピン回転操作に室温で成功している。一方、電界を用いる手法ではスピン軌道相互作用 (SOI, spin-orbit interaction の略) が必要である。Si は比較的軽元素であり、結晶の空間反転対称性が高い為、SOI の活用は困難であると予想されている。この問題に対し、Si 中にビスマス (Bi) をイオン注入し、ドナーとして活性化することにより SOI の増強を検討した。イオン注入法は半導体プロセスとの親和性が高く、また特定の領域のみに不純物ドーピングが可能という利点がある。弱反局在効果を用いて Bi ドープ Si を評価した結果、明瞭な SOI の増強を確認した [Rortais, Ando et al., Appl. Phys. Lett. 113, 122408 (2018)]。本手法により、Si 中でも SOI が強い領域を形成でき、電界によるスピン操作が可能となる。しかし、Bi ドープでは SOI が強い領域をデバイス作製後に制御できず、自由度に欠ける。そこでこの問題に、Si 中に近接効果による SOI の導入や、近年注目を集めているトポロジカル性の導入について検討する。

3. 研究の方法

(A) のスピンドリフト動作、(B) の短チャネル化によるスピン信号増強、(C) の電界によるスピン回転操作では全て SOI 基板上に単結晶強磁性体膜を製膜し、微細加工を行うことで作製した。単結晶強磁性体膜は分子線エピタキシー法で成膜した。

(B) の光によるスピン検出では SOI 基板に不純物をドーピングすることで作製した。ビスマス (Bi) やリン (P) はイオン注入を行い、その後の熱処理で活性化を行った。

4. 研究成果

下記に得られた成果について一部を纏める。

(A) Magneto Logic Gate (MLG) の室温動作実証を行った。理論提案されたデバイス構造は図 1(a) に示すとおりであり、2本の強磁性入力電極 (A1, A2)、2本の強磁性論理回路設定電極 (B1, B2)、1本の出力電極 (M1) で構成される。スピンは A1, A2, B1, B2 から同時に注入され、その総量が M1 で検出される。入力電極である A1 と A2 の磁化配置に対し、M1 に出力される電圧値が論理演算 NAND の結果を表す。また B1 と B2 の磁化配置を $\uparrow\uparrow$ から $\downarrow\downarrow$ に変更することで論理演算の内容が OR へ変化する。実際のデバイスでは M1 から遠方にある A1 と A2 からのスピン注入量が B1 と B2 と同等になるように、面内の電界を調整し、スピンのドリフト効果を用いている。実際に本素子を作製し、MLG の信号検出を試みたところ、A1-B1 間および A2-B2 間で生じる磁気抵抗効果 (スピン FET で利用するスピン依存磁気抵抗効果) が重畳しており、真のスピン演算信号の検出には至らなかった。より詳細に説明すると、A1-B1 (A2-B2) 間に一定電流を印加しても、これらの磁化配置に依存して抵抗変化が発生する。一定電流を流す必要があるため、ソースメーターがこの抵抗変化に応じて電圧を調整する。M1 電極はこれらの回路の外部にあるため、理想的には A1-B1 (A2-B2) 間の電圧変化の影響は無視できるはずだが、

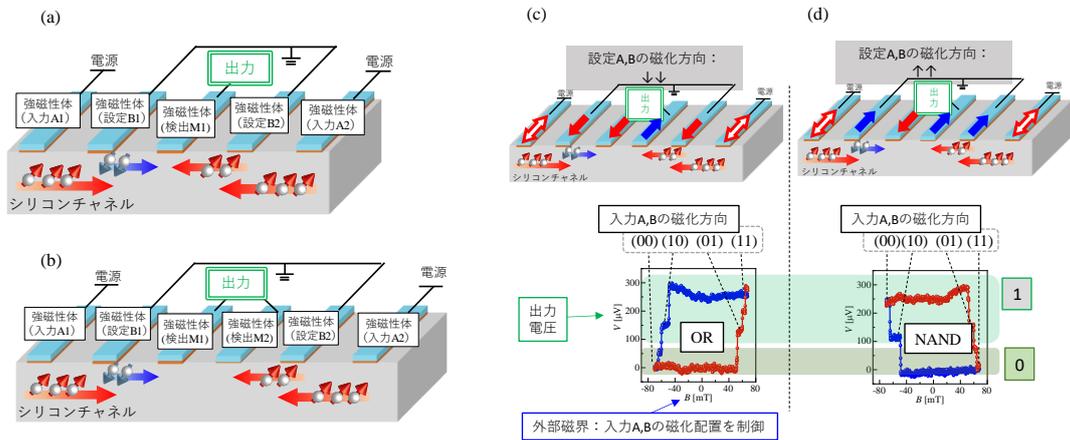


図1. 1素子でNANDとORを切り替え可能なスピン論理演算の(a)理論で提案されたデバイス構造および(b)今回作製したデバイス構造および(c, d)室温動作実証の結果。

Si 自体が比較的高抵抗であるため、漏れ電界が発生し、M1 の電位にも重畳してくる。M1 直下の Si チャンネルを接地しない限りは本問題に遭遇する。そこでM1 のすぐ横にM2を配置し(図1(b))、これらの磁気モーメントの向きを反平行に配置することで、不要な磁気抵抗効果から発生する電圧変化を相殺することを検討した。実際にM1, M2 電極に到達したスピンの生成する電圧信号についてはM1 とM2 の磁化の向きが反平行であるため相殺されない。実際にこのようにして測定した結果を図1(c), 1(d)に示す。A1~B2 の磁化配置の変化により予想される電圧変化が得られており、MLGの室温動作実証に成功したことが分かる。設定回路の切り替えによって入力に対する出力がNAND, OR と切り替えられている。これはまさにMLGで予想された動作である。MLG動作については室温・低温問わず世界初の結果である。

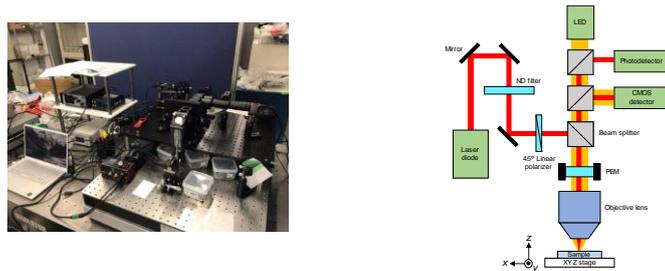
(B) チャンネル長の極めて短いシリコンスピンドバイスを作製し、更にスピンドリフト効果を活用することでバリスティックにスピンを輸送しスピン依存抵抗変化を増強する取り組みを行った。具体的にはSi チャンネルの上下面に強磁性体を成膜することにより短チャンネル化を実現した。このような素子を用いてスピン信号を測定したところ、これまでのスピンドバイスでは最高のスピン起電力を実現した。まだチャンネル長が長い為、バリスティック伝導にはなっていないが、今後は更なる短チャンネル化を実現していく予定である。

(C) スピンホール角の増大の実験のために光の円偏光を用いた実験を実施した。円偏光を照射しスピン偏極した電子を対象試料に光励起し、対象試料内のスピン流電流変換現象を調査した。まずは当該装置を所属研究室内に立ち上げた(図2(a))。設計、部品購入、調整等を詳細に行い、無事装置の立ち上げが完了した。白金(Pt)を用いたホールバーにおいてスピンホール効果起因のスピン蓄積信号の検出にも成功している(図2(b))。これは電流を印加することにより、試料端部分にはスピンホール効果に起因するスピン蓄積が発生する。円偏光では特定のスピンを優先的に励起するため、電子の占有状態がスピン依存している状態で円偏光を照射すると、光電流がスピン蓄積を反映した円偏光依存性を示す。同様の実験をドナー種の異なる2種類のSiチャンネル(リンドーブとビスマスドーブ)で行うと、両者で明確な違いが生じた(図2(c, d))。これはSiチャンネル中のスピン軌道相互作用の効果がビスマスドーブにより増強していることを意味する。現在、BiドーブSiについて、スピンホール効果の増強メカニズムの調査を行っている。Biは格子間位置と格子点位置のどちらの位置も占有していると考えられるが、各位置におけるスピンホール効果の増強の違いなどは明らかになっていない。そこ

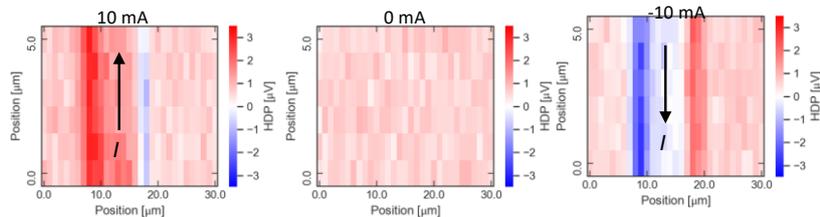
で各位置における Bi 原子の比率を調整するためアニール条件について検討している。

また Si の異種接合界面において、有限のスピ軌道相互作用および、面直電界が存在するとバンドのスピ縮退が解け、スピは電荷蓄積の相対論的効果の帰結として磁界を感じるようになる。これにより、スピの歳差運動を誘起したり、スピ寿命を変調したりすることができる。Si/SiO₂ 界面に電界を印加することで、当該効果を増強することに成功し、電界によるスピ回転操作を室温実証することに成功した。今後は SiO₂ をよりスピ軌道相互作用が大きな材料 (HfO₂ やビスマス酸化物、白金酸化物等を検討予定) に変更し、より高効率なスピ回転操作を実施する予定である。

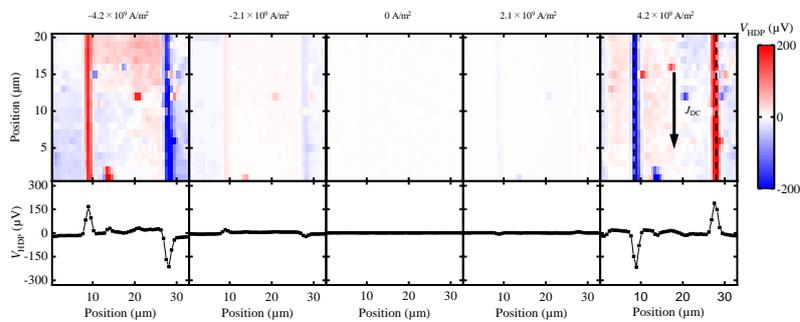
(a) 立ち上げた装置写真と装置の構成図



(b) 白金 (Pt) のチャネルにおけるスピ蓄積の測定結果



(c) ビスマス (Bi) ドープシリコン



(d) リン (P) ドープシリコン

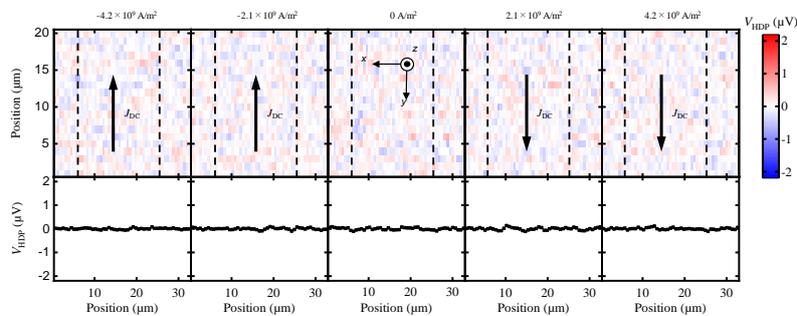


図2. (a)光を用いてスピ蓄積を検出する装置の模式図と写真、
(b)白金 (Pt), (c)ビスマス (Bi) ドープのSi, (d)リン(P)ドープのSiチャネル素子での室温測定結果。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Lee Soobeom, Rortais Fabien, Ohshima Ryo, Ando Yuichiro, Goto Minor, Miwa Shinji, Suzuki Yoshishige, Koike Hayato, Shiraishi Masashi	4. 巻 116
2. 論文標題 Investigation of gating effect in Si spin MOSFET	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022403 ~ 022403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5131823	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 Ishihara Ryoma, Ando Yuichiro, Lee Soobeom, Ohshima Ryo, Goto Minor, Miwa Shinji, Suzuki Yoshishige, Koike Hayato, Shiraishi Masashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Gate-Tunable Spin xor Operation in a Silicon-Based Device at Room Temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.13.044010	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 Matsushima Masayuki, Miwa Shinji, Sakamoto Shoya, Shinjo Teruya, Ohshima Ryo, Ando Yuichiro, Fuseya Yuki, Shiraishi Masashi	4. 巻 117
2. 論文標題 Sizable spin-transfer torque in the Bi/Ni80Fe20 bilayer film	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 042407 ~ 042407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0009798	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 Koike Hayato, Lee Soobeom, Ohshima Ryo, Shigematsu Ei, Goto Minor, Miwa Shinji, Suzuki Yoshishige, Sasaki Tomoyuki, Ando Yuichiro, Shiraishi Masashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Over 1% magnetoresistance ratio at room temperature in non-degenerate silicon-based lateral spin valves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 083002 ~ 083002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/aba22c	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 Yoshitake Shin-Ichiro, Ohshima Ryo, Shinjo Teruya, Ando Yuichiro, Shiraishi Masashi	4. 巻 117
2. 論文標題 Modulation of spin conversion in a 1.5?nm-thick Pd film by ionic gating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 092406 ~ 092406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0015200	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 Yamashita N., Lee S., Ohshima R., Shigematsu E., Koike H., Suzuki Y., Miwa S., Goto M., Ando Y., Shiraishi M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Enhancement of spin signals by thermal annealing in silicon-based lateral spin valves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 095021 ~ 095021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0022160	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 Aoki Motomi, Shigematsu Ei, Matsushima Masayuki, Ohshima Ryo, Honda Syuta, Shinjo Teruya, Shiraishi Masashi, Ando Yuichiro	4. 巻 102
2. 論文標題 In-plane spin-orbit torque magnetization switching and its detection using the spin rectification effect at subgigahertz frequencies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.174442	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 Matsuki Kenjiro, Ohshima Ryo, Leiva Livio, Ando Yuichiro, Shinjo Teruya, Tsuchiya Toshiyuki, Shiraishi Masashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Spin transport in a lateral spin valve with a suspended Cu channel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-67762-4	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 Yoshii Shugo, Ohshima Ryo, Ando Yuichiro, Shinjo Teruya, Shiraishi Masashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Detection of ferromagnetic resonance from 1?nm-thick Co	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-72760-7	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 Leiva L., Granville S., Zhang Y., Dushenko S., Shigematsu E., Shinjo T., Ohshima R., Ando Y., Shiraishi M.	4. 巻 103
2. 論文標題 Giant spin Hall angle in the Heusler alloy Weyl ferromagnet Co ₂ MnGa	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L041114	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 Dushenko Sergey, Ando Yuichiro, Shinjo Teruya, Shiraishi Masashi	4. 巻 126
2. 論文標題 Ferromagnetic resonance imbalance at high microwave power: Effect on the Gilbert damping parameter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 203904 ~ 203904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5127882	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 Gupta Sachin, Rortais F., Ohshima R., Ando Y., Endo T., Miyata Y., Shiraishi M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Monolayer MoS ₂ field effect transistor with low Schottky barrier height with ferromagnetic metal contacts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-53367-z	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 Ishihara Ryoma, Lee Soobeom, Ando Yuichiro, Ohshima Ryo, Goto Minor, Miwa Shinji, Suzuki Yoshishige, Koike Hayato, Shiraishi Masashi	4. 巻 9
2. 論文標題 Stability of spin XOR gate operation in silicon based lateral spin device with large variations in spin transport parameters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 125326 ~ 125326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129980	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 Shigematsu Ei, Ohshima Ryo, Ando Yuichiro, Shinjo Teruya, Kimoto Tsunenobu, Shiraishi Masashi	4. 巻 305
2. 論文標題 Spin transport in n-type 3C?SiC observed in a lateral spin-pumping device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solid State Communications	6. 最初と最後の頁 113754 ~ 113754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ssc.2019.113754	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 Lee Soobeom, Rortais Fabien, Ohshima Ryo, Ando Yuichiro, Goto Minor, Miwa Shinji, Suzuki Yoshishige, Koike Hayato, Shiraishi Masashi	4. 巻 116
2. 論文標題 Investigation of gating effect in Si spin MOSFET	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022403 ~ 022403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5131823	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 Ishihara Ryoma, Ando Yuichiro, Lee Soobeom, Ohshima Ryo, Goto Minor, Miwa Shinji, Suzuki Yoshishige, Koike Hayato, Shiraishi Masashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Gate-Tunable Spin xor Operation in a Silicon-Based Device at Room Temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.13.044010	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1件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yuichiro Ando and Masashi Shiraishi
2. 発表標題 Logic operation using electron spins in silicon
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------