

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04325

研究課題名(和文) 電界制御ラシュバ効果による磁壁移動型メモリの高速化

研究課題名(英文) Development of high-speed domain wall memory by electric field control of Rashba effect

研究代表者

小峰 啓史 (Komine, Takashi)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・准教授

研究者番号：90361287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、磁性膜/ビスマス/絶縁膜の積層構造と輸送特性の電界効果を調べた。ビスマス/絶縁層界面では、ビスマス単層に見られない歪みや界面ミキシングの影響で輸送特性が著しく変化することを見出した。フェリ磁性層/絶縁層界面では、界面歪みやミキシングにより異常ホール効果の符号反転の層厚依存性が観測された。急峻な界面構造を得ることが実験結果を解釈する上で不可欠であることが明らかとなった。ビスマス系合金における電界効果により膜厚方向にpn接合が形成される新奇デバイスの検討を行った。その結果、電界効果による新しい熱電素子の可能性を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、磁性膜/ビスマス/絶縁膜の積層構造と輸送特性の電界効果を調べた。いずれの界面においても歪みや界面ミキシングの影響で輸送特性が著しく変化することを見出したことから、積極的な歪み導入をした新規デバイスの提案、および、電界効果を得るために適切な界面構造に関する知見が得られた。一例として、ビスマス系合金における電界効果により膜厚方向にpn接合が形成される新奇デバイスの検討を行い、電界効果による新しい熱電素子の可能性を示唆した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the electric field effect on transport properties of the stacked structure. On the bismuth/insulating layer interface, it was found that the transport properties change remarkably due to the interfacial strain and mixing, which are not observed in the bismuth single layer. On the ferrimagnetic layer/insulating layer interface, the layer thickness dependence of the sign inversion of the anomalous Hall effect was observed due to the interfacial strain and mixing describing the electric field. Obtaining sharp interface structure is inevitable to interpret the experimental results of transport properties. We also investigated a novel device in which p-n junction is formed along the film thickness direction due to the electric field effect in a bismuth alloy. As a result, the feasibility of a new thermoelectric element due to the electric field effect was proposed.

研究分野：機能性材料, 電子デバイス

キーワード：界面 電界効果 輸送特性

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

情報通信にかかるトラフィック量及び消費電力の爆発的な増大は留まるところを知らず、高速動作可能な不揮発性メモリデバイスの開発は持続可能な社会を構築する上で急務の課題である。近年、電流によるスピンの直接制御が盛んに研究されており、スピントランスファートルク (STT) 効果を利用した高速情報記憶素子が提案されている。スピントランスファートルクによるスピン制御デバイスとして、電流誘起磁壁移動を利用した Magnetic Race-Track Memory が挙げられる (図 1)。Racetrack Memory は、電流誘起磁壁駆動を用いた逐次アクセスメモリであり、磁壁の電流駆動およびナノワイヤによる 3 次元集積のアイデアは実用上興味深いばかりではなく、構造の工夫によって新奇情報処理素子の可能性も秘めている。

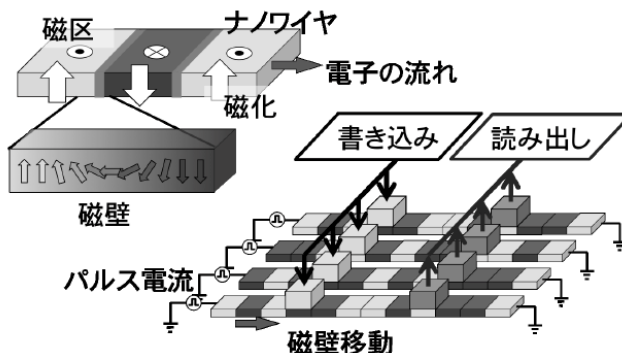


図 1 磁壁移動型メモリ (Magnetic Race-Track Memory)

最近では、磁性層/非磁性層界面で生じるスピン流及びスピン軌道トルクが注目されており、スピンの働く多様なトルクが磁壁移動に影響を及ぼすことがわかってきた。いずれのトルクも、ナノワイヤ幅方向、あるいは長手方向に生じる実効磁場が磁壁移動速度を改善することが理論的にわかっている。中でも、ラシュバ効果によるスピン軌道相互作用は非常に強い実効磁場になり、ラシュバ効果増強は磁壁移動速度の大幅な改善に直結する。ピスマス超薄膜で報告されているラシュバ係数は、磁性層に生じる磁場に換算すると 1.5T にも及び、超高速情報記憶を実現できる可能性を秘めている。したがって、ラシュバ効果を増強する接合界面及びその電界効果による原理を確立することが不可欠であり、学術的にもスピン軌道相互作用の電圧制御が持っている波及効果は極めて大きい。

### 2. 研究の目的

本研究では、ピスマス及び非磁性複合層/磁性層/絶縁層の組み合わせを変えて、磁性層/非磁性層界面に生じるラシュバ効果の増強を目指す。特に、磁性層/非磁性絶縁層の界面ポテンシャルに着目し、磁性層の非対称構造の上下界面でラシュバ効果を増強することを提案する。積層構造の膜厚方向にバイアス電圧を加えることで、非対称度を電圧で制御し、磁壁移動高速化のための電圧誘起巨大ラシュバ効果を明らかにする。

### 3. 研究の方法

研究目標を達成するため、ラシュバ効果を誘起するための積層構造作製とその評価技術を構築し、積層構造におけるラシュバ効果を有効に引き出すための理論モデルを構築する。ラシュバ効果の積層構造依存性、及び、電界制御の可能性を検討し、解析モデルにフィードバックする。最終的には、電界制御ラシュバ効果を磁壁移動型デバイスに適用し、磁壁移動高速化を目標にする。

### 4. 研究成果

#### (1) ピスマスの輸送特性と格子歪みの影響

本研究で重要な役割を果たすピスマス薄膜の成膜条件を精査し、高品質なピスマス薄膜と絶縁層の積層膜を形成しながら、その輸送現象を調べた。基板温度や熱処理温度を変えてピスマス薄膜を作製し、多結晶ピスマスと同等の輸送特性を得る条件を探索した。超高真空蒸着装置を用いて、ラシュバ効果が期待できるピスマス薄膜の作製を行った。ガラス基板および熱酸化シリコン基板上に基板温度、Kセル温度を変えて、ピスマス薄膜を形成したところ、基板温度により、(003)配向、(012)配向の制御が行えることを確認した。輸送特性の温度依存性および磁場依存性を詳細に調べたところ、電気抵抗率、ゼーベック係数とも多結晶バルクピスマスと同等の品質を持つ薄膜形成が行えることを確認した。また、絶縁膜として、 $Ta_2O_5$ ,  $HfO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $AlN$  のスパッタ成膜を検討したところ、十分な絶縁性を持つ絶縁膜の形成が可能となった。一方、ピスマスと絶縁膜の積層を試みたが、積層構造における界面ミキシングや結晶歪みの影響が見られ、著しく輸送特性が変

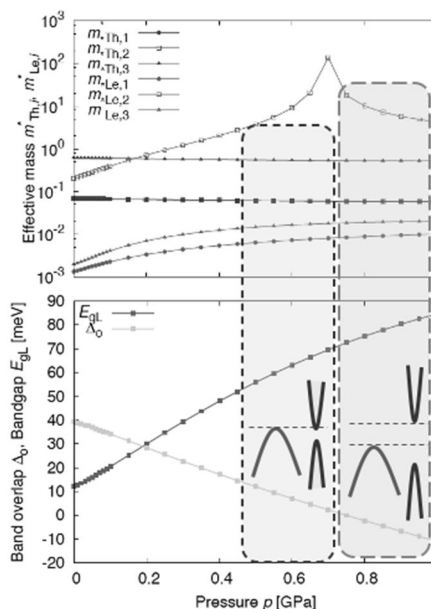


図 2 格子歪みがピスマスのバンド構造に及ぼす影響

動した。その原因を探るため、モデル計算による輸送特性の解析を行った。

ディラック分散をもつビスマスの表面状態について検討し、ビスマス薄膜構造の電子状態を計算した。また、ビスマスの新たなタイト・バインディング模型について数値計算を行った。ビスマス薄膜の膜厚を変化させて、スピン分解された状態密度、ラシュバ分裂した表面エネルギーバンド構造、表面スピン分極の向きなどについて計算を行い、ARPES の実験結果と比較した。さらに、表面ポテンシャル勾配を考慮したタイトバインディング模型を構築して、膜厚を変化させたときのスピン状態密度などを計算し、実験との比較を行った(Phys. Rev. B, 2016)。

実験結果から示唆されたビスマスの格子圧縮と輸送現象の関係についても言及し、バルクビスマスで従来から提唱されてきたタイトバインディング模型をもとにして、原子間距離に依存した行列要素を考えることで歪みの効果を取り入れた有効モデルを構築した。格子定数を変えて、有効質量やL点電子バンド、T点ホールバンドの相対位置を系統的に調べ、得られたバンドパラメータを元にして有効質量方程式を解くことで、T点とL点のバンド端とナノワイヤとの関係を求めた(図2)。その結果、格子歪みがラシュバ効果(有効質量やバンドシフト)、輸送特性に及ぼす影響を調べた。ビスマス薄膜は格子歪みに非常に敏感であり、一定の格子圧縮で有効質量が0になるディラック電子となる可能性を見出した。ビスマスは元々異方的な物質であり、その輸送特性にも異方性があることが知られているが、歪み導入により、その多様な変化が促されることもわかった(論文投稿準備中)。以上の結果から、ビスマス系薄膜の格子歪みが輸送特性やスピン軌道トルクを理解するために不可欠であるとの結論に至り、歪みを制御した急峻な界面を得るための試料作製条件探索が不可避であることが明らかとなった。

## (2) 磁性層/絶縁層界面が輸送特性に及ぼす影響

ビスマス層/絶縁層の形成と並行して、磁性薄膜の作製検討を行い、磁壁移動を検討するための垂直磁気異方性膜を作製した。磁性層および絶縁層の積層膜を検討するため、RFマグネトロンスパッタリング装置により、AlN/TbFeCo/AlN積層構造を作製した。薄膜構成は

Glass/AlN(25nm)/TbFeCo( $t_{TFC}$ )/AlN(5nm)とした。 $t_{TFC}$ はTbFeCo層厚であり、5、10、20、50nmと変

えて積層構造試料を作製した。TbFeCoの成膜には、高純度Arガスをスパッタガスとして用い、TbFeCoターゲットをスパッタ成膜した。Tb組成は30at.%であり、室温でRE-richとして振る舞う組成である。AlN層の成膜には、ArとN<sub>2</sub>の混合ガスを用いた反応性スパッタリングによりスパッタ成膜した。膜厚を変えて、スピン依存伝導現象の一つとして異常ホール効果を評価した。Quantum DesignのPPMSを用いて、膜面垂直方向に磁場を印加し、TbFeCo層における異常ホール抵抗を測定することで、異常ホール効果の膜厚依存性と温度依存性を評価した。温度は5K~400K、磁場は±9Tの範囲で測定を行った。薄膜の組成分析にはICP分析を用い、Tb、Fe、Coの検量線から薄膜試料全体の組成を分析した。室温における磁気特性分析から、Tb28at.%で希土類と遷移金属のモーメントが相殺する補償組成になることを確認している。

膜厚の異なるTbFeCo薄膜における9Tの異常ホール抵抗率および0Tの抵抗率の温度依存性を図3に示す。10nm、20nm厚の試料では、温度低下に伴い異常ホール抵抗の符号がTM-richからRE-richに変化する。5nm厚の試料では、異常ホール抵抗の符号はTM-richのままであることがわかる。さらに、膜厚が厚くなるにつれて、符号反転が起こる温度も上昇していることがわかる。抵抗率は温度に対してはいずれも単調な変化であり、膜厚低下に伴い、界面散乱の影響が顕著になるため抵抗率も単調に増加する。しかし、5nm厚の試料では、抵抗率の上昇が大きく、界面の影響が現れていると考えることが出来る。異常ホール抵抗および磁気特性から求めた保磁力の温度および膜厚依存性より、TFC膜厚10nm、20nmでは保磁力の発散が見られ、その発散温度は異常ホール効果の反転温度とも一致する。異常ホール抵抗の符号の温度依存性をさらに調べるため、Tb組成および膜厚を変えてTM-rich試料を作製し、同様に測定した。20nm、50nm厚の試料では、ほとんど領域でTM-richな異常ホール抵抗の符号を示した。20nm厚の試料で、符号反転が低温まで起こりづらいことは、先に述べた界面層がTM-richを促進していることと矛盾しない。

これらの現象を説明するため、界面層モデルを詳細に考察した。異種物質の界面では、ミキシングやラフネスが作用する可能性があり、本研究で作製した薄膜界面でも同様のことが起こり得る。特に、異常ホール抵抗の符号はTb量と密接に関係しており、作製した試料の界面層はTbが実効的に欠如したTM-rich相として振舞っていると考えたと実験事実が説明出来る。界面の元素分布を実験的に調べるため、X線光電子分光法により深さ方向の元素プロファイル調べた。作製した薄膜試料を集束イオンでエッチングしながら、深さ方向に出現する元素および結合状態を調べた。Tb、Alの分布を見てみると、界面から磁性層および絶縁層に拡散もしくはミキシ

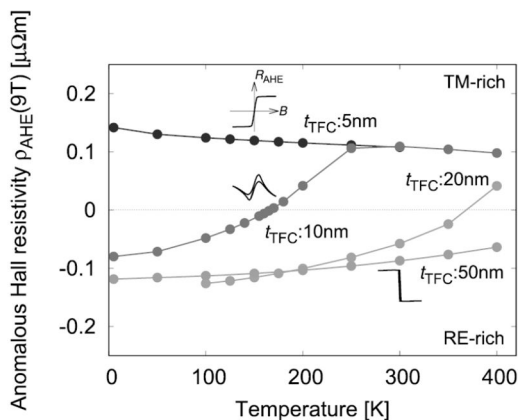


図3 界面が磁性膜の輸送特性に及ぼす影響

グしていることがわかった。一方、Fe, Co は作製した積層構造を維持していることがわかり、TFC 層内で元素分布があることがわかる。Al と結合した Tb が磁性を失うと考えると、界面層は FeCo 合金に近い振る舞いを示す可能性がある。また、Tb の拡散により、TFC 組成が変調することから、TFC 層厚によって同じ組成分析結果を示しても、TFC 層内の実効的な組成が変わっている可能性もある。したがって、急峻な界面による電界制御を実現するためには、磁性層/絶縁層界面における元素拡散の条件を加味した成膜条件の検討、もしくは、電界印加が可能な程度の拡散防止層の形成を検討する必要があることがわかった。

異常ホール抵抗の符号は TM-site のモーメントの向きによって決まっており、TM-rich 相では異常ホール抵抗は正になる。抵抗率の膜厚依存性から、界面層はいずれの薄膜試料でも一定層厚存在すると考えられるが、TbFeCo 層厚が薄くなるにつれて、界面層の電気/磁気特性が優位になったと考えれば、全ての測定結果とは矛盾しない。フェリ磁性体において、RE-site, TM-site の磁気モーメントの温度依存性が異なることが知られており、磁化が 0 になる温度として補償温度があることが知られている。したがって、実験結果は同じ Tb 組成にも関わらず、補償温度が TFC 膜厚により異なることを示している。本研究で仮定した界面層は、電気伝導層における RE 組成を変調していることがモデルから推察される。膜厚によって異常ホール効果の符号反転温度が単調に推移するのはそのためである。

界面における Tb 組成と補償温度の関係を詳細に調べるため、分子場近似を用いて、フェリ磁性薄膜における補償組成の膜厚依存性を解析した。界面層を仮定した場合には、部分的に RE 組成が一定割合減少した副格子を仮定し、同様に自己無撞着な分子場を計算して、実効磁気モーメントの温度依存性を計算した。界面層モデルでは、実効的に 30% の Tb モーメントが減少している層を仮定した。計算から、RE 組成に応じて補償温度が増加することが再現できることがわかった。また、いずれの組成においても、界面層モデルによる磁気モーメント減少が補償温度を低下させている。したがって、実験で観測した異常ホール抵抗の符号反転は、界面組成に起因する補償温度の推移に対応していることが明らかとなった。しかしながら、定量的な不一致は依然として残されており、これらは界面層への分流や界面歪みによる実効電界が寄与しているものと考えている(*AIP advances*, 2018)。

以上の考察から、酸素や窒素などを含む絶縁層の形成により、磁性層/絶縁層の界面磁気特性が著しく変わる可能性が示唆された。電界効果を実現するためにはミキシングを抑制した適切な絶縁層の形成が不可避であることも明らかとなった。今後、電界制御により磁性層磁化を制御するための絶縁層の組み合わせや拡散防止層の形成により、引き続き界面電界効果によるスピン依存伝導制御を検討する他、力学的な歪み導入によるスピン依存伝導制御も重要な研究課題となると推察される。

先の検討から、急峻な界面構造を得るための磁性膜下地層の作製条件を検討した。下地層としてスパッタ成膜した Ta 薄膜を検討した。Ta 薄膜の構造は、スパッタガス圧、投入電力、膜厚に強く依存し、アモルファス相、bcc である  $\alpha$  相、大きな単位胞を持つ正方晶である  $\beta$  相の混合した複雑な構造を示した。電気特性を調べたところ、電気抵抗に金属薄膜としては比較的大きなゆらぎが見られた。電気抵抗ゆらぎの周波数依存性を調べたところ、微細構造に起因する  $1/f^{\nu}$  型のゆらぎを示すことが明らかとなったことから、積層構造の輸送特性、特に低周波でのハーモニック測定を行う際に、Ta 薄膜の構造に起因する電気抵抗ゆらぎが及ぼす輸送係数に影響に留意する必要があることがわかった(*Jpn. J. Appl. Phys.*, 2020)。

### (3) ビスマス系合金の輸送特性の電界制御

界面の電界制御として、Bi 系合金である磁性トポロジカル絶縁体の輸送特性を検討した。磁性トポロジカル絶縁体の上下表面にゲート電極を設け厚み方向への電界印加により、pn 接合と類似の電子構造が得られることがわかった。特徴的な電子構造を積極的に利用した図 4 に示す熱電変換素子を提案し、電界による輸送特性制御を試みたところ、最適電界印加により、熱電性能が向上することを明らかにした(*Appl. Phys. Lett.*, 2019)。また、比較的小さな電界によって電子構造および輸送特性の制御が可能であることを示した。本提案によりスピン軌道トルクの電界制御への積極的な展開が期待でき、磁壁移動型メモリの高速化につながる可能性を示唆した。今後、スピン軌道トルクの成分や大きさを制御するための界面構造および電子構造をさらに詳細に考察する予定である。

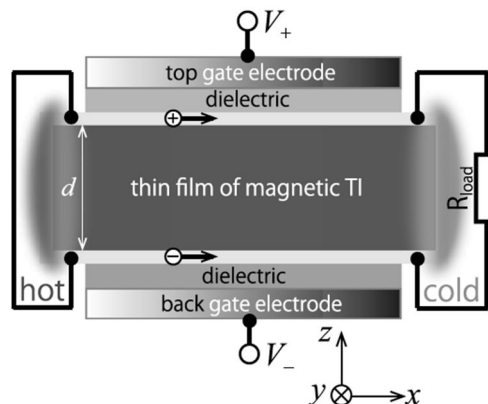


図 4 電界制御による新奇デバイスの可能性

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 R. Uesugi, T. Komine, M. Mizuno, R. Ando, H. Akabane	4. 巻 59
2. 論文標題 Electrical fluctuation spectra due to characteristic thermal diffusion in Ta thin films deposited by RF-magnetron sputtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 25509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab6be4">https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab6be4</a>	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. Chiba, S. Takahashi, T. Komine	4. 巻 115
2. 論文標題 Ambipolar Seebeck power generator based on topological insulator surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 83107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1063/1.5109948">https://doi.org/10.1063/1.5109948</a>	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. Kaiju, T. Misawa, T. Nagahama, T. Komine, O. Kitakami, M. Fujioka, J. Nishii, G. Xiao	4. 巻 8
2. 論文標題 Robustness of Voltage-induced Magnetocapacitance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-018-33065-y">https://doi.org/10.1038/s41598-018-33065-y</a>	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 該当する
1. 著者名 R. Ando, T. Komine	4. 巻 8
2. 論文標題 Geometrical contribution to the anomalous Nernst effect in TbFeCo thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 56326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1063/1.5006210">https://doi.org/10.1063/1.5006210</a>	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. Ando, T. Komine, S. Sato, S. Kaneta, Y. Hara	4. 巻 8
2. 論文標題 Novel behaviors of anomalous Hall effect in TbFeCo ferrimagnetic thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 56316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1063/1.5007775">https://doi.org/10.1063/1.5007775</a>	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 T. Aono, T. Komine	4. 巻 94
2. 論文標題 Giant thermoelectric figure of merit in a noninteracting quantum dot system with massless Dirac fermions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.94.165311">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.94.165311</a>	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. Misawa, S. Mori, T. Komine, M. Fujioka, J. Nishii, H. Kaiju	4. 巻 390
2. 論文標題 Structural and magnetic properties of Ni78Fe22 thin films sandwiched between low-softening-point glasses and application in spin devices	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 666-674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.08.100">https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.08.100</a>	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23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Y. Hasegawa, H. Morita, M. Otsuka, T. Arisaka, T. Komine
2. 発表標題 Transport measurements of bismuth nanowire embedded in quartz template by nano-fabrication
3. 学会等名 37th annual international conference on thermoelectrics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kaiju, T. Misawa, T. Nagahama, T. Komine, O. Kitakami, M. Fujioka, J. Nishii, and G. Xiao
2. 発表標題 Voltage-induced Magnetocapacitance in Magnetic Tunnel Junctions
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Sasaki, R. Msiska, T. Misawa, S. Mori, T. Komine, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Fujioka, J. Nishii, and H. Kaiju
2. 発表標題 Electric and magnetic properties of Ni78Fe22/Alq3/Ni78Fe22 nanoscale junction devices utilizing magnetic thin-film edges
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤亮, 小峰啓史
2. 発表標題 TbFeCo 磁性薄膜における輸送特性の組成依存性
3. 学会等名 第66回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小峰啓史, 青野友祐, 村田正行, 長谷川靖洋
2. 発表標題 Biナノワイヤーにおける格子圧縮が量子効果に及ぼす影響
3. 学会等名 第66回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上杉良太, 小峰啓史, 水野将臣, 安藤亮, 赤羽秀郎
2. 発表標題 スパッタリングで形成したTa薄膜における電気抵抗の歪み誘起1/f 雑音
3. 学会等名 第66回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤亮, 小峰啓史
2. 発表標題 フェリ磁性TbFeCoにおける熱電効果の素子形状依存性
3. 学会等名 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 R. Ando, T. Komine, S. Sato, S. Kaneta, Y. Hara
2. 発表標題 Novel behaviors of anomalous Hall effect in TbFeCo thin films under high magnetic field
3. 学会等名 62nd Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM) Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 R. Ando, T. Komine,
2. 発表標題 Geometrical contribution to anomalous Nernst effect in TbFeCo thin films
3. 学会等名 62nd Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM) Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 安藤亮, 小峰啓史
2. 発表標題 磁性薄膜における電極配置が異常ネルンスト起電力に及ぼす影響
3. 学会等名 第65回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Komine, T. Aono, M. Murata, Y. Hasegawa
2. 発表標題 Numerical analysis of surface states in Bi nanostructure
3. 学会等名 35th annual international conference on thermoelectrics & 1st asian conference on thermoelectrics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小峰啓史, 安藤亮, 金田真悟, 佐藤汐莉, 原嘉昭
2. 発表標題 フェリ磁性TbFeCo薄膜における異常ホール効果の強磁場特性
3. 学会等名 第77回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小峰啓史, 青野友祐, 村田正行, 長谷川靖洋
2. 発表標題 ビスマスの格子変形が輸送特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Komine, and T. Aono
2. 発表標題 Influence Of Structural Inversion Asymmetry On Current-induced Domain Wall Motion In Bilayer Nanowires With Ferro- and Antiferromagnetic Coupling
3. 学会等名 61th Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM) Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 安藤亮, 小峰啓史, 佐藤汐莉, 金田真悟, 原嘉昭
2. 発表標題 フェリ磁性TbFeCo 薄膜における異常ホール効果の膜厚依存性
3. 学会等名 第64回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小峰啓史, 青野友祐, 村田正行, 長谷川靖洋
2. 発表標題 ピスマスの格子変形がバンド構造および輸送特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第64回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小峰啓史
2. 発表標題 積層構造磁性体ナノワイヤにおける電流誘起磁壁移動
3. 学会等名 マルチメディアストレージ研究会, 磁気記録・情報ストレージ研究会 共催
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Takizawa, T. Komine, H. Uono, and T. Aono
2. 発表標題 First principle band calculations of Mg <sub>2</sub> Si thin films
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-SILICIDE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小峰啓史, 青野友祐, 村田正行, 長谷川靖洋
2. 発表標題 Bi ナノワイヤーにおける格子圧縮が輸送特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Sasaki, R. Msiska, T. Misawa, S. Mori, T. Komine, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Fujioka, J. Nishii, and H. Kaiju
2. 発表標題 Electric and magnetic properties in Ni <sub>78</sub> Fe <sub>22</sub> /Mq <sub>3</sub> (M=Al, Er)/Ni <sub>78</sub> Fe <sub>22</sub> nanoscale junction devices utilizing magnetic thin-film edges
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies(PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小峰啓史, 村田正行, 長谷川靖洋
2. 発表標題 石英ガラステンプレートを用いたBi ナノワイヤーの作製と熱電物性評価
3. 学会等名 第165回 日本金属学会秋期講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉貴裕, 小峰啓史, 高橋三郎
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体Bi <sub>2</sub> - xSbxTe <sub>3</sub> - ySey表面の熱電特性: イオン不純物の影響
3. 学会等名 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉貴裕, 小峰啓史, 高橋三郎
2. 発表標題 磁性トポロジカル絶縁体の非対称表面を利用した両極性伝導型熱電素子
3. 学会等名 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 熱電変換素子	発明者 小峰啓史, 安藤亮	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-236300	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気パターン転写用マスター媒体及びその製造方法, 磁気パターン転写方法	発明者 小峰啓史	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-35506	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>新機能性材料研究室  <a href="http://dirac.dmt.ibaraki.ac.jp">http://dirac.dmt.ibaraki.ac.jp</a>  活動実績  <a href="http://dirac.dmt.ibaraki.ac.jp/activity.php">http://dirac.dmt.ibaraki.ac.jp/activity.php</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	青野 友祐  (Aono Tomosuke)  (20322662)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授    (12101)	
研究分担者	原 嘉昭  (Hara Yoshiaki)  (30331979)	茨城工業高等専門学校・国際創造工学科・教授    (52101)	
研究分担者	長谷川 靖洋  (Hasegawa Yasuhiro)  (60334158)	埼玉大学・理工学研究科・准教授    (12401)	