

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02598

研究課題名（和文）ワイル点を有する強磁性体における電流誘起磁壁移動

研究課題名（英文）Current-induced domain wall motion in ferromagnets with Weyl points

研究代表者

山ノ内 路彦（Yamanouchi, Michihiko）

北海道大学・情報科学研究院・准教授

研究者番号：40590899

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：ワイル点を有する強磁性体SrRuO₃において、電流が磁壁に及ぼす有効磁場は温度に対して2つのピークをもつ特異な温度依存性を示すこと、また、その有効磁場の大きさは従来機構では説明できないほど大きいことを明らかにした。これらの実験結果と理論計算の比較から、この有効磁場の特異な温度依存性と大きさは、これまでに観測されていなかったワイル電子に起因した新機構のトポロジカルホールトルクで説明できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ワイル電子に起因したトポロジカルホールトルクを世界に先駆けて実験的に明らかにした研究であり、理想的なトポロジカル物質ではないワイル点を有する強磁性体における電流誘起磁壁移動でも、ワイル電子が重要な役割を担うことを実証した研究と考えられる。また、このトポロジカルホールトルクを用いることにより、従来機構よりも高効率かつ電気的な磁化反転が可能になるため、ワイル点を有する強磁性体を応用することにより、既存の磁気メモリの高性能化や、新規スピントロニクス現象・スピントロニクス素子に関する研究への展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：In a ferromagnetic oxide SrRuO₃ with Weyl points, we show that the effective magnetic field exerted on a magnetic domain wall by current exhibits nonmonotonic temperature dependence with two peaks and exceeds those induced by conventional mechanisms. By comparing the experimental results with theoretical calculations, the temperature dependence and magnitude of the effective magnetic field is explained well by topological Hall torque originating from Weyl electrons.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：電流誘起磁壁移動

1. 研究開始当初の背景

磁化方向として情報を保持するスピントロニクス素子は、次世代の高速・低消費電力なランダムアクセスメモリや脳型コンピュータなどへの応用が期待されている。このようなスピントロニクスデバイスの動作では、電気的に磁化方向を制御することが不可欠であり、これを高効率化するスピントロニクス材料・現象の開拓が応用のみならず学術的にも重要な課題となっている。そのような中で、トポロジカルな電子状態を有するトポロジカル物質を利用することにより低消費電力なスピントロニクスデバイスを実現できる可能性が示され、トポロジカル物質に関する研究が精力的に進められている。特に、トポロジカル物質の一つである強磁性ワイル半金属においては、バンド交差に起因したワイル点近傍のワイル電子が伝導を支配しており、ワイル点での特異なスピン軌道相互作用によって、電流をほとんど必要としない超低消費電力での電流誘起磁壁移動が可能であることが理論的に示されている。この電流誘起磁壁移動は、スピントロニクスデバイスの電気的な磁化方向の制御に用いられているため、強磁性ワイル半金属を用いることによりスピントロニクスデバイスの低消費電力化が期待される。しかしながら、これまでに発見されている強磁性ワイル半金属は少ないことに加えて、強磁性ワイル半金属における電流誘起磁壁移動も報告されていない。一方で、ワイル電子をもつが、ワイル点以外の電子状態が伝導を支配するワイル点を有する強磁性体については、これまでに実験的にも理論的にも比較的多くの物質が報告されている。また、ワイル点を有する強磁性体においても、磁性ワイル半金属と同様に、ワイル点の寄与を反映した特異な異常ホール効果が報告されている。さらに、ワイル点を有する強磁性体の1つである強磁性酸化物 SrRuO₃ においては、電流誘起磁壁移動に関する研究も行われており、従来の強磁性金属に比べて 1-2 桁低い電流密度での高効率な電流誘起磁壁移動が報告されている。しかし、このようなワイル点を有する強磁性体においては、ワイル電子が磁壁移動にどのような影響を与えるのか明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では、トポロジカルな電子状態の1つであるワイル点を有しているが、トポロジカルな電子状態ではない通常の電子状態が伝導を支配しているワイル点を有する強磁性体に着目する。このようなワイル点を有する強磁性体は比較的多く発見されているだけでなく、理想的なトポロジカル物質でないにも関わらず、ワイル点の寄与を反映した、特異な異常ホール効果やスピン波ギャップの温度依存性などが報告されている。そのため、ワイル点を有する強磁性体においては、理想的なトポロジカル物質である強磁性ワイル半金属と同様に、ワイル電子の特異なスピン軌道相互作用が電流誘起磁壁移動に影響を与えることが期待される。そこで、本研究では、ワイル点を有する強磁性体において、ワイル電子が電流誘起磁壁移動に与える効果を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

ワイル点を有する強磁性体としてフェルミ準位近傍に多くのワイル点を有する強磁性酸化物 SrRuO₃ を用いた。SrRuO₃ の異常ホール係数は温度変化によって符号が正負反転し、この温度変化は、ワイル点近傍の電子が占有している状態のベリー位相により説明されている。また、磁化ダイナミクスに関係するスピン波ギャップの温度依存性も磁化の温度変化を反映せず、ワイル電子の寄与により説明されている。さらに、SrRuO₃ においては、従来の強磁性金属に比べて 1-2 桁低い電流密度での高効率な電流誘起磁壁移動が報告されているが、その機構は明らかになっていない。

パルスレーザー堆積法を用いて、[100]方向に約 2°ミスカットした SrTiO₃ (001)基板上に膜厚 21 nm の SrRuO₃ を成膜した。成膜中の基板温度は 550°C、酸素圧力は 10 Pa であった。ここで、SrRuO₃ は膜面垂直方向から面内方向に傾いた一軸磁気異方性を示し、磁気異方性の面内成分の方向はミスカットの方向を向くことが知られている。成膜した SrRuO₃ 薄膜の 2θ/θ X 線回折測定の結果、回折ピークは SrTiO₃ 基板と SrRuO₃ 薄膜の回折ピークのみからなり、SrRuO₃ 薄膜の回折ピークは orthorhombic SrRuO₃ のものと一致した。続いて、SrRuO₃ 薄膜をフォトリソグラフィーと Ar イオンミリング

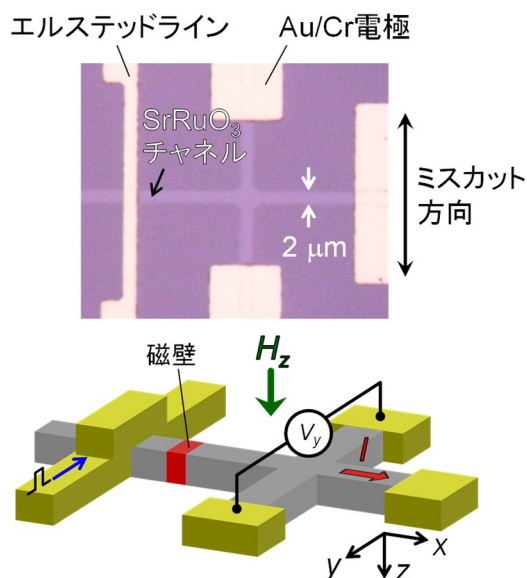


図 1. 磁壁移動素子の光学顕微鏡写真(上図)、及び測定系の模式図と本研究で用いた座標系(下図)。I と H_z の正方向をそれぞれ、x 軸、z 軸方向とした。

図 1. 磁壁移動素子の光学顕微鏡写真(上図)、及び測定系の模式図と本研究で用いた座標系(下図)。I と H_z の正方向をそれぞれ、x 軸、z 軸方向とした。

を用いて、図 1 に示すようなチャンネル幅 $2\ \mu\text{m}$ の 1 対のホールプローブをもつ磁壁移動素子に加工した。チャンネルの左側に形成したエルステッドラインは、局所的な電流磁場を発生して SrRuO₃ チャンネル内に磁壁を初期配置するために用いた。また、チャンネル方向がミスカット方向と直交するように磁壁移動素子を加工した。

これまでの研究から、SrRuO₃ においては電流が磁壁に対して膜面垂直方向の有効磁場として作用することが分かっている。したがって、電流が磁壁移動に及ぼす効果を調べるために、エルステッドライン近傍のチャンネル内に磁壁を初期配置した後、チャンネルに電流を印加した状態で膜面垂直方向の磁場 H_z を掃引することにより、電流によるホールプローブ近傍の保磁力(磁壁移動に必要な磁場)の変調を測定した。ここで、ホールプローブを用いて異常ホール効果を反映した横抵抗 R_{yx} の変化を測定することにより、ホールプローブ近傍の磁化反転を検出した。ワイル電子が磁壁に及ぼす効果は、フェルミ準位とワイル点の距離に依存することが予想される。強磁性体においては交換分裂が温度によって変化するため、ワイル点とフェルミ準位の距離も温度によって変化すると考えられる。そこで、電流が磁壁に及ぼす有効磁場の温度依存性を測定することにより、ワイル電子が電流誘起磁壁移動に及ぼす効果を調べた。

4. 研究成果

ワイル点を有する強磁性体 SrRuO₃ において、電流が磁壁に及ぼす有効磁場は温度に対して 2 つのピークをもつ特異な温度依存性を示すこと、また、その有効磁場の大きさは従来機構では説明できないほど大きいことを明らかにした。これらの実験結果と理論計算の比較から、この有効磁場の特異な温度依存性と大きさは、これまでに観測されていなかったワイル電子に起因した新機構のトポロジカルホールトルクで説明できることを明らかにした。したがって、本研究は、トポロジカルホールトルクを世界に先駆けて実験的に明らかにした研究であり、理想的なトポロジカル物質ではないワイル点を有する強磁性体における電流誘起磁壁移動でも、ワイル電子が重要な役割を担うことを実証した研究と考えられる。また、このトポロジカルホールトルクを用いることにより、従来機構よりも高効率かつ電気的な磁化反転が可能になるため、ワイル点を有する強磁性体をスピントロニクス素子に応用することにより高速かつ低消費電力なメモリとして注目されている磁気メモリなどの省電力化が期待される。さらに、磁化方向の電気的な制御は、基礎研究、及び応用の観点でスピントロニクス分野における重要課題であるため、ワイル点を有する強磁性体を利用した新規スピントロニクス現象・スピントロニクス素子に関する研究への展開が期待される。以降で具体的な研究成果について述べる。

SrRuO₃ における R_{yx} は、膜面垂直方向の磁化成分を反映した異常ホール効果が支配的になることが知られている。本研究では、磁壁移動(磁化反転)の検出に R_{yx} を用いるため、作製した SrRuO₃ 薄膜において R_{yx} の H_z 依存性を測定した(図 2(a))。 R_{yx} は膜面垂直方向の磁化成分を反映した角型の良いヒステリシスを示した。このことから、 R_{yx} を用いてプローブ近傍の磁壁移動を検出できると考えられる。また、120 K と 130 K の間で、 $R_{yx} - \mu_0 H_z$ ループ (μ_0 は真空の透磁率)の極性が反転した。この異常ホール効果へのワイル点の寄与を調べるため、異常ホール効果と磁化の温度依存性を調べた。図 2(b)に図 2(a)と同様にして様々な温度で測定した $R_{yx} - \mu_0 H_z$ ループより求めた異常ホール抵抗率 ρ_{AHE} と異常ホール伝導率 σ_{AHE} の温度 T 依存性を示す。 ρ_{AHE} と σ_{AHE} は、ともに $R_{yx} - \mu_0 H_z$ ループの極性反転を反映して 125 K 付近で符合が反転した。一方、磁化測定の結果より、磁化は温度に対して単調に変化し、磁化の符合は変化しなかった。これらのことから、 $R_{yx} - \mu_0 H_z$ ループの極性反転は、異常ホール係数の符合が反転したことに起因していると考えられる。これまでに、SrRuO₃ 薄膜においては、図 2(b)と同様の磁化の温度変化を反映しない ρ_{AHE} (σ_{AHE})の温度依存性が報告されており、これがワイル点近傍のベリー曲率で良く説明されている。したがって、本研究で作製した SrRuO₃ 薄膜においても、ワイル点の寄与が輸送特性に表れていると考えられる。

続いて、作製した SrRuO₃ 薄膜における磁気異方性を調べるため、 R_{yx} の面内磁場角度 ϕ 依存性を測定した。図 3 に 140 K において面内磁場 $\mu_0 H_{\text{in}} = 0.1\ \text{T}$ を回転させた時の規格化 R_{yx} の ϕ 依存性を示す。ここで ϕ は x 方向から反時計回りに測った H_{in} の角度である。 x 軸の周り ($\phi = 0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$) で R_{yx} がヒステリシスを示したことから、作製した SrRuO₃ 薄膜は、 x 軸方向(y 軸方向)を磁気異方性の面内成分の磁化困難軸方向(磁化容易軸方向)とする 1 軸磁気異方性を示すと考えられる。本研究では、ミスカット方向が y 方向と平行になるように

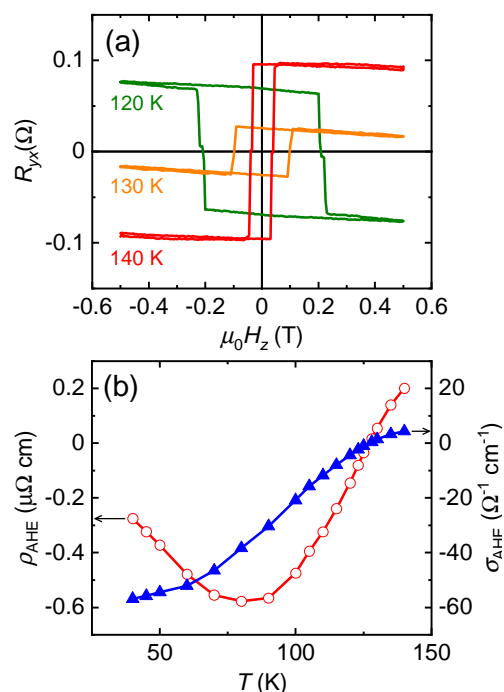


図 2. (a) 120 K、130 K、140 K における R_{yx} の H_z 依存性。 (b) 様々な温度で(a)と同様の測定を行い、得られた $R_{yx} - H_z$ ループより求めた ρ_{AHE} 、及び σ_{AHE} の T 依存性。

磁壁移動素子を作製したため、図3の結果は、磁気異方性の面内成分の方向がミスカットの方向を向くという先行研究の結果と一致する。また、チャンネル方向が磁気異方性の面内成分の磁化容易軸方向と直交しているため、チャンネル内においては、この1軸磁気異方性によってプロット磁壁が安定化される。

作製した磁壁移動素子において、外部磁場を印加して SrRuO₃ の磁化方向をそろえて磁化状態を初期化した後、磁化反転を促進する補助磁場の印加の下でエルステッドラインにパルス電流をして局所的な電流磁場を発生し、その近傍のチャンネル内に磁壁を初期配置した。一般的に、磁壁移動に必要な磁場は磁区生成に必要な磁場よりも小さいため、チャンネル内に磁壁が導入された場合の保磁力 H_c は、磁壁が導入されていない場合に比べて減少する。このことに注意して、再現性良く磁壁を初期配置可能な補助磁場、及びパルス電流の条件を求めた。そして、電流が磁壁に及ぼす効果を調べるため、前述の条件で磁壁を初期配置した後、磁壁移動による磁化反転を誘起する方向に H_z を掃引しながらチャンネル電流 I で R_{yx} を測定した。図4(a)に、140 Kにおいて、 $I = \pm 200 \mu\text{A}$ を印加して測定した規格化 R_{yx} の H_z 依存性を示す。正負どちらの電流を印加した場合においても、ある H_z で R_{yx} が急峻に変化した。この磁場は、エルステッドライン近傍に初期配置した磁壁をチャンネル内で移動させ、ホールプローブ近傍の磁化方向を反転させるために必要な H_c に対応する。また、チャンネルに $-200 \mu\text{A}$ を印加した場合の H_c の方が $200 \mu\text{A}$ の場合よりも大きい。この電流による H_c の変調を詳細に調べるため、様々な温度で電流を変えて図4(a)と同様の測定を行い、図4(b)に示す H_c の I 依存性を得た。測定したどの温度においても、 H_c は電流に対してほぼ線形に変化し、電流の増加とともに H_c は減少した。このことから、電流は磁壁に対して、電流方向に磁壁を移動させる膜面垂直方向の有効磁場として作用すると考えられる。また、電流が磁壁に及ぼす有効磁場の方向は、磁壁が電流方向に移動するという先行研究の結果と一致しており、一般的な強磁性金属における電流誘起磁壁移動の方向(磁壁は電子の流れる方向に移動)と逆方向である。

H_c の I 依存性の傾き η_I は、電流が磁壁に及ぼす有効磁場の発生効率に対応する。電流が磁壁に及ぼす効果を詳細に調べるため、様々な温度で測定した図4(b)と同様の H_c の I 依存性に線形フィッティングすることにより η_I を求め、 η_I の温度依存性を求めた(図5)。ここで、SrRuO₃ 以外の系と比較するため、電流を電流密度に換算し、電流密度当たりの有効磁場の発生効率 η_J も合わせて示した。 $\eta_J(\eta_I)$ は、 T に対して非単調に変化し、2つのピークを示した。また、 η_I は、典型的な強磁性金属、及びその積層構造において報告されている値よりも1-2桁大きかった。この高効率な有効磁場の発生機構を調べるために本研究結果と従来機構による磁壁移動を比較した。電流が磁壁に対して膜面垂直方向の有効磁場を及ぼす機構として、モーメントトランスファ、磁壁中でのスピン緩和に起因したフィールドドライク

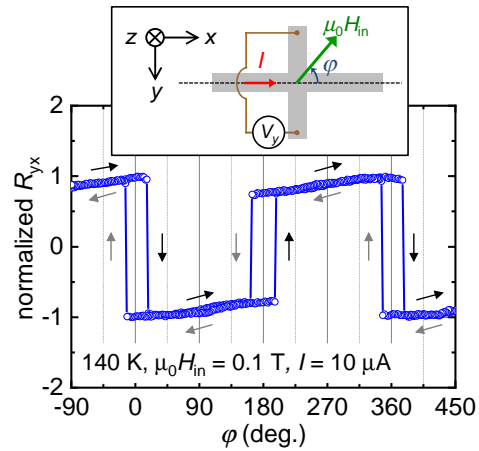


図3. 規格化 R_{yx} の ϕ 依存性。挿入図は本測定で用いた測定系の模式図。

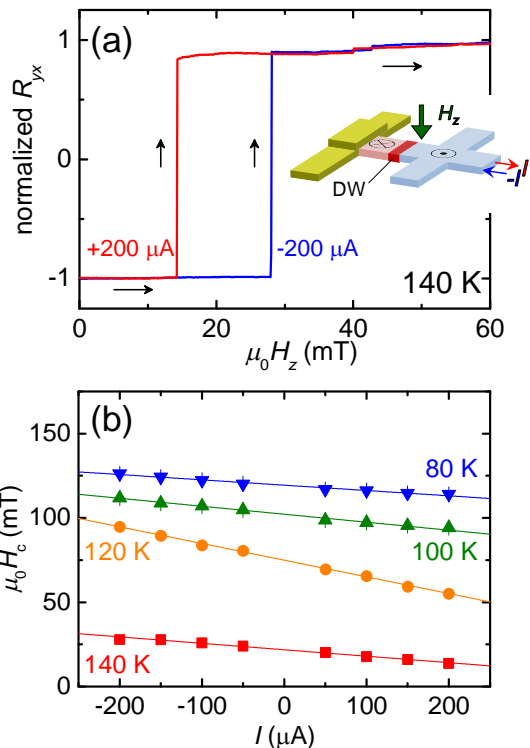


図4. (a) 140 K において、磁壁の初期配置後、 $I = \pm 200 \mu\text{A}$ を印加して測定した規格化 R_{yx} の H_z 依存性。(b) 様々な温度において、(a)と同様の測定を行うことにより得られた H_c の I 依存性。

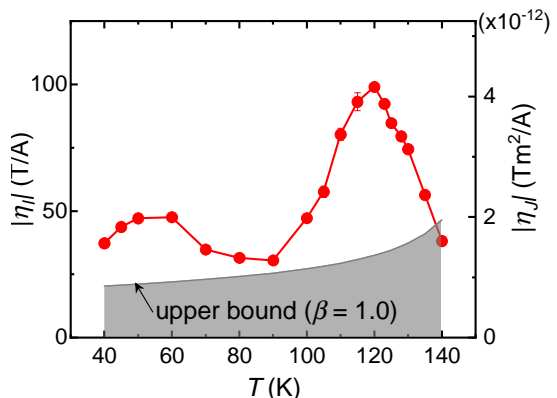


図5. η_I の T 依存性。右軸は電流を電流密度に換算して求めた電流密度当たりの有効磁場の発生効率 η_J 。灰色で塗りつぶした領域は磁壁中でのスピン緩和に起因したフィールドドライクトルクで説明できる領域を表す。

トルク、スピン軌道トルクが考えられる。SrRuO₃ においては電子が伝導を担うため、モーメントトランスファ - 機構では電子が流れる方向、すなわち電流と逆方向の磁壁移動が誘起される。しかし、SrRuO₃ においては電流方向に磁壁移動が誘起されるため、本研究結果はモーメントトランスファ - では説明できない。次にスピン緩和に起因したフィールドライクトルクによる磁壁移動を考える。この機構による磁壁移動の方向は、伝導を担う電子のスピン偏極率の符号に依存する。SrRuO₃ は負のスピン偏極率を示すことが報告されているため、この機構では電流と逆方向の磁壁移動が誘起されると考えられ、本研究結果と一致する。そこで、SrRuO₃ においてフィールドライクトルクにより誘起される有効磁場を計算し、実験結果と比較した。フィールドライクトルクによる η_l (η_l) の上限値を見積もるため、磁化のみが温度に依存すると仮定し、スピン偏極率、磁壁幅は SrRuO₃ において報告されている低温での値を用いた。また、フィールドライクトルクの重要なパラメータである非断熱パラメータ β については、典型的な強磁性金属においては 1 より非常に小さな値であるが、この計算では $\beta = 1$ を仮定してフィールドライクトルクによる有効磁場の上限値を計算した。図 5 にフィールドライクトルクによる η_l (η_l) の上限値を示した。図 5 より、本研究で得られた η_l (η_l) は、フィールドライクの上限値よりも大きく、このトルクでは実験結果を完全には説明できないことがわかった。スピン軌道トルクによる磁壁移動については、SrRuO₃ において報告されているスピンホール角を用いて求めた η_l が実験値よりも 2 桁小さいため、スピン軌道トルクの寄与は無視できる。したがって、観測された有効磁場の特異な温度依存性と大きさは従来機構では完全には説明できず、これまでに観測されていない機構が作用していると考えられる。

ワイル点をもつ強磁性体中に形成された磁壁に電界を印加すると、ワイル点近傍の大きなベリー曲率とスピン運動ロッキングによって磁壁中でワイル電子がスピン偏極し、そのスピン偏極と磁壁中の磁化との交換相互作用によってトポロジカルホールトルクと呼ばれる新機構のトルクが磁壁に作用することが理論的に示されている。このトポロジカルホールトルクは磁壁に対して有効磁場として作用するため、SrRuO₃ 中に形成された磁壁に対してもこのトルクが作用している可能性がある。そこで、有効磁場の発生効率の実験値とトポロジカルホールトルクによる理論値を比較した。まず、SrRuO₃ において報告されているパラメータを用いてトポロジカルホールトルクにより誘起される有効磁場の発生効率を計算したところ、 $|\eta_l| \sim 10^{-12} \text{ Tm}^2/\text{A}$ となった。この $|\eta_l|$ の理論値は実験値と同程度であるため、有効磁場の大きさはトポロジカルホールトルクで説明できることが分かった。続いて、図 5 に示した $|\eta_l|$ の T 依存性の縦軸を単位電界あたりに誘起される有効磁場の発生効率 $|\eta_E|$ に換算するとともに、横軸をその温度における σ_{AHE} で置き換えて理論値と比較した。図 6 に $|\eta_E|$ の $-\sigma_{\text{AHE}}$ 依存性の実験値と理論値の比較を示す。 $|\eta_l|$ の T 依存性に現れた特異な 2 つのピークが理論計算により良く再現できることがわかった。このように、 $|\eta_l|$ の大きさ、及び $|\eta_l|$ の T 依存性がともにトポロジカルホールトルクで良く説明できることから、SrRuO₃ における電流誘起磁壁移動ではトポロジカルホールトルクが重要な役割を担っていると考えられる。したがって、本研究は、トポロジカルホールトルクを初めて実験的に明らかにした研究と考えられる。また、理論計算の結果より、トポロジカルホールトルクの大きさは、フェルミ準位近傍の状態密度に関係するため、 $|\eta_l|$ の T 依存性に現れる 2 つのピークは、温度変化による交換分裂の変化にともなって、フェルミ準位が Van Hove 特異点を横切ったことに対応していると考えられる。

以上から、理想的なトポロジカル物質ではないワイル点を有する強磁性体においても、ワイル電子によって効率かつ電気な磁壁移動を誘起できると考えられる。また、このトポロジカルホールトルクを用いることにより、従来機構よりも高効率かつ電気的な磁化反転が可能になるため、ワイル点を有する強磁性体をスピントロニクス素子に応用することにより高速かつ低消費電力なメモリとして注目されている磁気メモリなどの省電力化が期待される。さらに磁化方向の電気的制御は、基礎研究、及び応用の観点でスピントロニクス分野における重要課題であるため、ワイル点を有する強磁性体を利用した新規スピントロニクス現象・スピントロニクス素子に関する研究への展開が期待される。

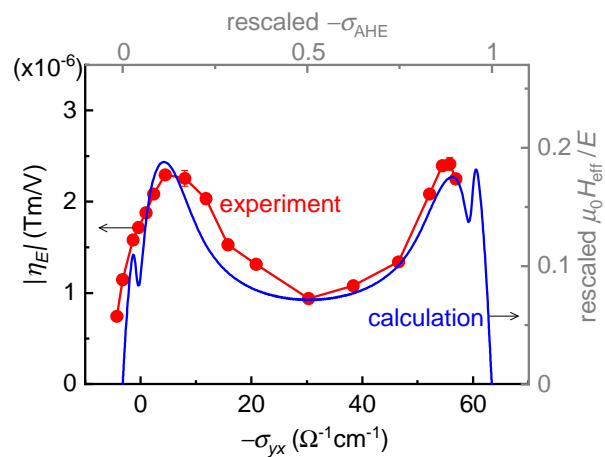


図 6. 単位電界あたりに誘起される有効磁場の発生効率 $|\eta_E|$ の σ_{yx} 依存性。図 5 より求めた実験値と計算により求めた理論値を比較した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Michihiko Yamanouchi, Yasufumi Araki, Takaki Sakai, Tetsuya Uemura, Hiromichi Ohta, and Jun'ichi Ieda	4. 巻 -
2. 論文標題 Observation of topological Hall torque exerted on a domain wall in the ferromagnetic oxide SrRuO ₃	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.abl6192	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 Jono Kohey, Shimohashi Fumiaki, Yamanouchi Michihiko, Uemura Tetsuya	4. 巻 11
2. 論文標題 Spin orbit torque induced magnetization switching for an ultrathin MnGa/Co ₂ MnSi bilayer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025205 ~ 025205
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0032732	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 Hara Takuya, Jono Kohey, Yamanouchi Michihiko, Uemura Tetsuya	4. 巻 58
2. 論文標題 Spin-Orbit Torque in Structures With Magnetization-Compensated MnGa/Co ₂ MnSi Bilayer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2021.3139899	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 Morita Daimu, Hara Takuya, Yamanouchi Michihiko, Uemura Tetsuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Deterministic field-free switching of perpendicular magnetization by spin-orbit torques originating from in-plane magnetized Co ₂ MnAl	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015037 ~ 015037
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/9.0000484	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 Chikaso Yuki, Inoue Masaki, Tanimoto Tessei, Kikuchi Keita, Yamanouchi Michihiko, Uemura Tetsuya, Inubushi Kazuumi, Nakada Katsuyuki, Shinya Hikari, Shirai Masafumi	4. 巻 55
2. 論文標題 Effect of off-stoichiometric composition on half-metallic character of $\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x(\text{Ga,Ge})$ investigated using saturation magnetization and giant magnetoresistance effect	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 345003 ~ 345003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ac73c1	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7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 M. Yamanouchi, Y. Araki, T. Sakai, T. Uemura, H. Ohta, and J. Ieda
2. 発表標題 Nonmonotonic temperature dependence of current-induced effective magnetic field exerted on domain wall in SrRuO_3
3. 学会等名 The 15th Joint MMM-INTERMAG Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaki Sakai, Michihiko Yamanouchi, Yasufumi Araki, Tetsuya Uemura, Hiromichi Ohta, and Jun'ichi Ieda
2. 発表標題 Temperature dependence of current-induced effective magnetic field acting on domain wall in SrRuO_3
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会 (オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michihiko Yamanouchi, Kohey Jono, Fumiaki Shimohashi, Tetsuya Uemura
2. 発表標題 $\text{MnGa}/\text{Co}_2\text{MnSi}$ bilayer for spin-orbit torque magnetization switching
3. 学会等名 The 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井貴樹, 野土翔登, 長浜太郎, 植村哲也, 山ノ内路彦
2. 発表標題 Pt/SrRuO ₃ 積層構造におけるスピン軌道トルクと磁壁の相互作用
3. 学会等名 第56 回応用物理学会北海道支部 第17 回日本光学会北海道支部 合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山貴也, 西岡優輝, 植村哲也, 山ノ内路彦
2. 発表標題 Pd/Co ₂ MnGa垂直磁化膜における電流誘起磁壁移動
3. 学会等名 第58回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Michihiko Yamanouchi
2. 発表標題 Observation of topological Hall torque in the ferromagnetic oxide SrRuO ₃
3. 学会等名 The 23rd RIES-Hokudai International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaya Koyama, Yuki Nishioka, Tetsuya Uemura, Michihiko Yamanouchi
2. 発表標題 Current-induced domain wall motion in a perpendicularly magnetized Co ₂ MnGa/Pd
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023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
---------	---------