



令和元年 10 月 21 日

報道機関 各位

東北大学大学院工学研究科

### 電流 - スピン流変換の正確な評価法を確立 — 次世代不揮発性メモリー素子 (MRAM) の設計指針を提供 —

#### 【発表のポイント】

- スピンホール角 (電流—スピン流変換効率) の正確な評価方法を確立
- スピンホールトンネル分光法と弱反局在解析を併用
- スピン軌道トルクを用いた不揮発性磁気メモリー素子などの設計指針を提供

#### 【概要】

中川原 圭太 (東北大学工学研究科博士後期課程 学生)、新田 淳作 (同教授)、好田 誠 (同准教授) らの研究グループは、Luqiao Liu (米国・マサチューセッツ工科大学 教授)、三谷 誠司 (物質・材料研究機構 スピントロニクスグループリーダー)、葛西 伸哉 (物質・材料研究機構 スピン物性グループリーダー) の研究グループと共同で、スピンホールトンネル分光法と弱反局在解析<sup>\*1</sup>を併用することによりプラチナ Pt 薄膜のスピンホール角を正確に評価することに成功しました。スピンホール角はスピン軌道トルクを用いた高速・低電力不揮発性磁気メモリー素子 (次世代 MRAM) の設計指針となります。

スピンホール角は電流とスピン流の変換効率に対応し、スピン軌道トルク<sup>\*2</sup>やスピンゼーベック効果<sup>\*3</sup> の大きさを決める重要なパラメータです。スピンホールトンネル分光法と弱反局在解析を併用することにより、Pt やタンタル Ta などの重金属だけでなくポロジカル絶縁体や二次元層状物質など新材料のスピンホール角を正確に評価することが可能となります。また、スピンホール角はスピン軌道相互作用<sup>\*4</sup>の起源解明や次世代 MRAM などのスピndeバイスを設計するうえで最も重要な値であることからこの分野の発展に大きく貢献することが期待されます。

本成果は、米国科学誌「Applied Physics Letters」の Featured Articles に選ばれ 2019 年 10 月 14 日オンラインで公開されました。なお、本研究は、独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業の助成を受けて行われました。

### 【研究背景】

Pt や Ta などの重金属はスピン軌道相互作用が強くスピンホール角が大きいことが報告されています。しかしながらその値は測定方法によって大きくばらついていました。従来のスピンホール角は金属/磁性体の 2 層構造を用いて調べられてきたため、磁気的近接効果や金属原子と磁性原子のマイグレーション効果による影響を無視することができませんでした。共著者である Liu 教授によって提案されたスピンホールトンネル分光法(Nature Physics 10, 561 (2014))はトンネル絶縁層を介して Pt などの金属から磁性体が離れているため上記のような問題は生じません。しかしながら、スピンホールトンネル分光法ではスピン拡散長を仮定してスピンホール角を評価する必要があるとともに異方性磁気抵抗効果や異常ホール効果が及ぼす影響を無視できない問題点が指摘されていました。

### 【研究成果】

図 1 に作製したスピンホールトンネル分光に用いる素子構造の模式図を示します。強磁性体からトンネル接合を介して金属 Pt にスピン注入すると逆スピンホール効果によってスピン流が発生 Pt の両端に磁性体のスピンの方向に依存したホール電圧が発生します(図2)。このホール電圧の大きさから電流—スピン流の変換効率(スピンホール角)を求めることができます。しかしながら、スピンホール角を正確に求めるためにはスピン拡散長を測定する必要がありました。我々は Pt 薄膜の弱反局在解析を行い、スピン拡散長を求め正確にスピンホール角を求めることに成功しました。また磁性体の磁化方向(スピンの向き)の角度依存性から磁性体の異方性磁気抵抗効果や異常ホール効果は無視しても良いことを確認しました。Pt の抵抗率とスピンホール角の温度依存性を詳細に調べた結果、バンド構造に起因した内因性のスピンホール伝導率については、これまで報告されている値とほぼ一致し、結晶の乱れ等外因性由来する部分でスピンホール角に差が生じていることを見出しました。

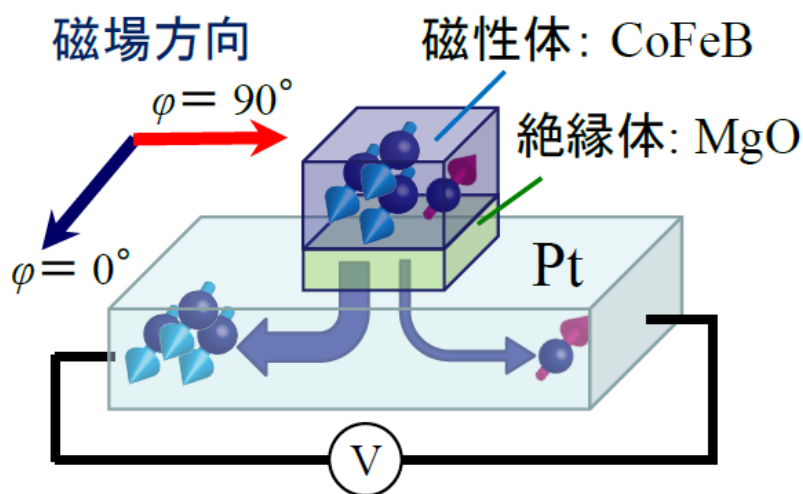


図1 スピンホールトンネル分光

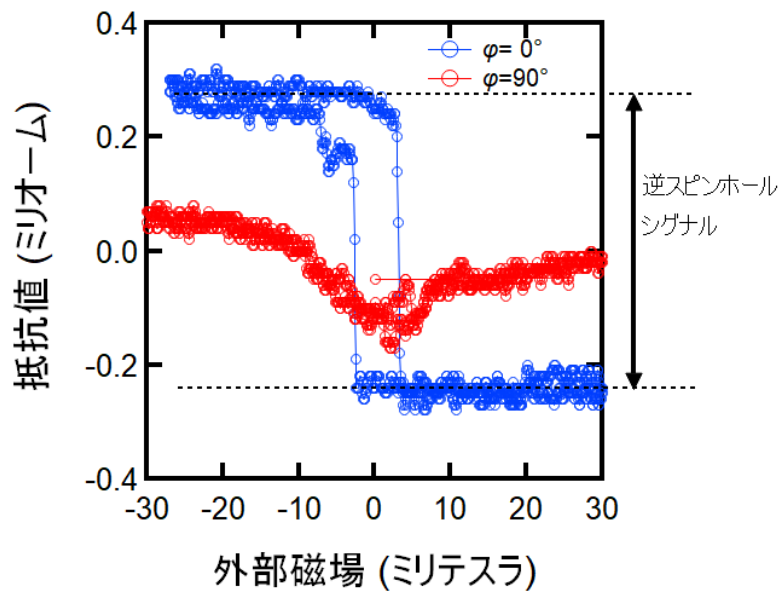


図2 Pt へのスピン注入と逆スピホール効果によって生じた信号

【論文情報】

雑誌名・号・ページ: Applied Physics Letters **115**, 162403 (2019)

論文タイトル: Temperature-dependent spin Hall effect tunneling spectroscopy in platinum

著者: K. Nakagawara, S. Kasai, J. Ryu, S. Mitani, L. Liu, M. Kohda, and J. Nitta

URL: <https://doi.org/10.1063/1.5121165>

DOI: 10.1063/1.5121165

【用語の解説】

※1 弱反局在解析

量子力学によると電子は粒子でありかつ波の性質をもつ。このため伝導体中で散乱を受けながら自己干渉し伝導に寄与しなくなる定在波状態(局在状態)を形成する。この電子の局在状態は磁場により電子の位相が変化すると量子干渉が破れ電気伝導度が増加する。一方、干渉中にスピンの緩和する場合は干渉効果が逆転し弱反局在現象と呼ぶ。この弱反局在現象の解析からスピン緩和長を求めることができる。

※2 スピン軌道トルク

Pt や Ta のような重金属でスピン軌道相互作用の強い材料中では電流の方向と垂直にスピン角運動量を運ぶスピン流が生じる。このスピン流が磁性体中に流れこむとトルクを生じ磁性体の磁化方向を反転することが可能となる。

### ※3 スピンゼーベック効果

磁性体に温度差をつけると温度勾配と平行にスピン流が生じる現象。磁性体中で生じたスピン流をスピン軌道相互作用の強い金属に注入すると逆スピンホール効果により電荷の蓄積を生み出し起電力として取り出すことが出来る。このため磁性体/金属積層構造を作ると熱電変換デバイスとなる。

### ※4 スピン軌道相互作用

電子が電界中を運動することにより磁界を感じる相対論的効果。このため電界によりスピン操作が可能となる。また、電荷の流れと垂直な方向にスピン流を生じるスピンホール効果の原因ともなる。

#### 【問い合わせ先】

東北大学大学院工学研究科

担当 新田 淳作

電話 022-795-7315

E-mail: [nitta@material.tohoku.ac.jp](mailto:nitta@material.tohoku.ac.jp)

< 報道に関して >

東北大学工学研究科情報広報室 担当 沼澤 みどり

TEL: 022-795-5898

E-mail: [eng-pr@grp.tohoku.ac.jp](mailto:eng-pr@grp.tohoku.ac.jp)