

2021年1月27日

白金のスピホール効果を大幅に向上

— 次世代 MRAM や人工知能デバイス開発への道 —

九州工業大学、山口大学、Nanyang Technological University (シンガポール)、Inter University Accelerator Center (インド) の研究グループ (研究代表者: 九州工業大学大学院情報工学研究院 教授 福岡康裕) は、白金薄膜中に硫黄イオンを注入することでスピホール効果の大幅な向上に成功しました。これにより、今後、スピホール効果からのスピ軌道トルクを利用した次世代磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) やスピ発振子を利用した人工知能デバイスの開発が進み、スマートフォンをはじめとする様々な情報機器の低消費電力化などが期待されます。

ポイント

- ✓ 白金薄膜中に硫黄イオンを注入 (5×10^{16} ion/cm², 12 keV) することで、電流・スピ流間相互変換効率を 50 %に向上
- ✓ 3つの異なる測定技術を利用して、発見した材料の電流・スピ流間相互変換効率を確認
- ✓ 磁性体層へと作用するスピ軌道トルクも大幅に向上し、発見した材料はスピントロニクス技術を利用した次世代のメモリや人工知能デバイスの応用に期待

電子は、「電荷」に加え、「スピン」という磁石としての性質を持ちます。スピンとは電子が持つ地球の自転に似た角運動量のことで、上向きと下向きの2種類があり、銅やアルミニウムなどの非磁性体では上向きと下向きの割合は等しく、磁石としての性質は全体として打ち消されます。一方、鉄やニッケルなどの強磁性体ではスピンの割合に偏りが生じており、通電によりスピンを帯びた電流 (スピ偏極電流) を生成することができます。これを利用した巨大磁気抵抗効果は、ハードディスクドライブや MRAM として実用化され、エレクトロニクスの発展に貢献しています。このようなスピンの機能を用いる電子デバイス技術はスピントロニクスと呼ばれています。

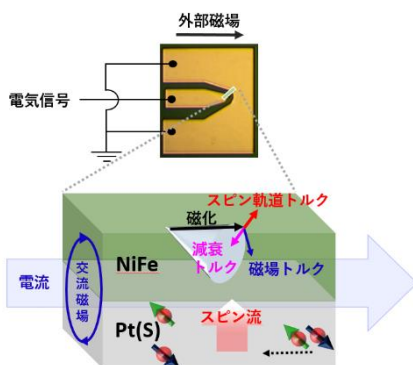


図 1 スピントルク強磁性共鳴法によるスピホール効果の測定方法

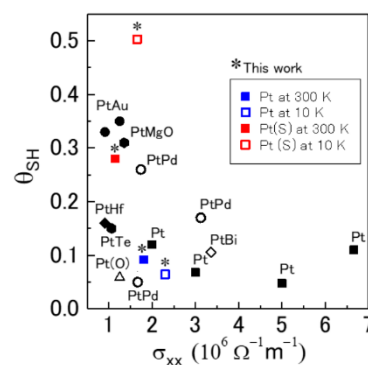


図 2 白金系材料にて報告されているスピホール角 θ_{SH} と電気伝導度 σ_{xx} の関係

強いスピン軌道相互作用*1 をもつ材料では上向き電子と下向き電子の運動方向を異なる方向に曲げることができます。このような材料に対して横方向に電流を流すと、縦方向にスピン流*2 を生成することができます（図 1）。このスピン流を磁性体層へ流すと、磁化（スピンの集団的振る舞い）にスピン軌道トルクが作用して歳差運動（強磁性共鳴）が励起されます。この歳差運動の様子を精密に測定することで、電流から生じる磁場トルクとスピン流から生じるスピン軌道トルクの割合を見積もり、電流からスピン流への変換作用であるスピンホール効果の大きさ（スピンホール角）を算出することができます。タングステンや白金などの重金属ではスピンホール効果が著しいのですが、その大きさは高々0.1程度（効率にて10%）に留まっていました。

今回の研究では、スパッタ法にて作製した白金薄膜に対して、半導体デバイス製造技術として利用されているイオン注入技術により、白金に対して10%程度の硫黄イオンを打ち込みました。上述のスピン軌道トルク強磁性共鳴法を利用してスピンホール角を評価した結果、硫黄イオンを注入した白金（Pt(S)）においては室温で0.276（低温で0.502）となり、白金（Pt）の室温で0.092（低温で0.064）と比較して飛躍的に向上していることが分かりました。また、NiFeの強磁性共鳴における減衰トルク変調実験や、Pt(S)へと流れ込むスピン流を電流へと変換する逆スピンホール効果実験においてもPt(S)のスピンホール効果は大きく向上していることが分かり、現在、報告されている材料系にて世界トップクラスのスピンホール性能をもつ材料の開発に成功しました（図2）。

インターネット上を行き交う情報量は飛躍的に増加しており、それらの情報を処理し、記録する情報機器の低省電力化は、地球環境やエネルギーの制約の観点から喫緊の研究課題です。今後は今回の発見により、スピンホール効果からのスピン軌道トルクを利用した磁化制御技術の進展が可能になり、上述課題の解決に資する次世代のMRAMや強磁性共鳴（振動子）ネットワークを利用した人工知能デバイスに関する技術革新に寄与するものと考えられます。

なお、この研究成果は、ドイツ科学雑誌「Advanced Quantum Technologies」（2020年12月3日）に掲載されました。また、2021年1月号の表紙として紹介されました。

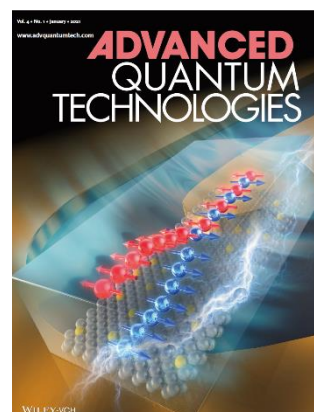


図 3 Pt(S) 中のスピンホール効果

*1 スピン軌道相互作用：電子の自転運動によって生じるスピン角運動量と電子が原子核の周りを周回運動すること（軌道運動）によって生じる軌道角運動量との間に働く相対論的相互作用。

*2 スピン流：電子自身のスピンによって生じる磁気モーメント（磁気の方向性）をスピン角運動量と呼ぶ。電荷の流れを伴わないスピン角運動量だけの流れがスピン流で、純スピン流とも呼ばれる。

論文の詳細情報

タイトル： Enhanced Spin Hall Effect in S - Implanted Pt

著者名： Utkarsh Shashank, Rohit Medwal, Taiga Shibata, Razia Nongjai, Joseph Vimal Vas, Martial Duchamp, Kandasami Asokan, Rajdeep Singh Rawat, Hironori Asada, Surbhi Gupta, Yasuhiro Fukuma

雑誌： Advanced Quantum Technologies

D O I : 10.1002/qute.202000112

※ 本研究は JSPS 科研費 18H01862、18H05953、19K21112 および日本板硝子材料工学助成会 の助成を受けたものです。