



大阪科学・大学記者クラブ 御中
(同時提供先：文部科学記者会、科学記者会)

2024年10月22日
大阪公立大学

有機半導体材料の利用で スピン流の新たな特性を発見

<ポイント>

- ◇強磁性層と非磁性層の界面におけるスピン流の特性を調査。
- ◇非磁性層に有機半導体材料を採用し、非磁性層側からのスピン流効果の観測に成功。
- ◇強磁性共鳴 (FMR) 信号の線幅が狭まるという、通説を覆す結果に。

<概要>

物質中の磁気の流れであるスピン流は、電流に似た働きをするため、次世代情報通信機器の低消費電力化を目指す技術として研究が進んでいます。特に、強磁性層と非磁性層の界面におけるスピン流の発生と伝達は、スピントロニクス*の研究において重要なテーマとされています。

大阪公立大学理学研究科の鐘本 勝一教授、高石 晃平氏（研究当時、大学院生）、堤 晴香氏（研究当時、大学院生）らの研究グループは、強磁性層と、非磁性層として有機半導体材料を使用した積層デバイスを構築。これまでは確認ができなかった非磁性層側からの、スピン流効果の観測に成功しました。また、スピン流が生成される際、強磁性層における FMR 信号の線幅は、これまでの研究では元の線幅に比べて広がると考えられていましたが、本研究では FMR 信号の線幅が狭まるという結果を得ました。本研究結果は、スピン流の特性の理解に重要な知見を与えることが期待できます。

本研究成果は、2024年8月2日に国際学術誌「Advanced Electronic Materials」にオンライン公開されました。

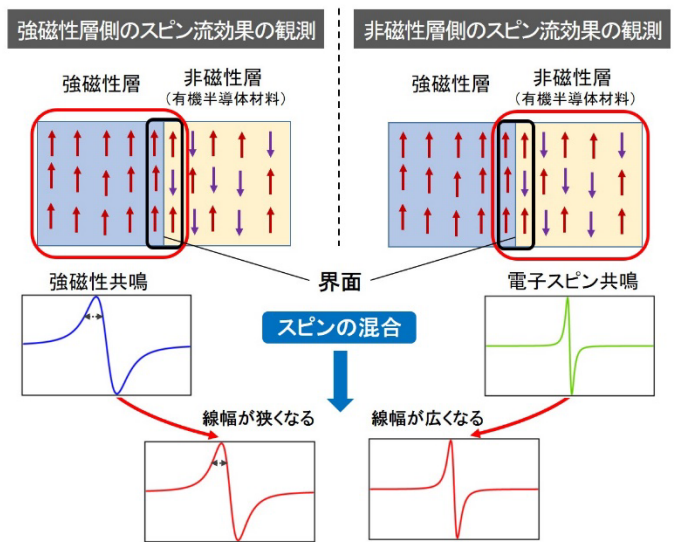


図 積層デバイスの界面におけるスピン流効果の観測

<鐘本 勝一教授のコメント>

線幅が減少する実験結果は当初信じられず、幾度となく実験を重ね、理論的考察を経た結果、従来の理屈が万全ではないとの結論に至りました。特に、その実証に向けて、緻密かつ多くの実験を加えた苦勞の末、今回の成果を得ることができました。

<研究の背景>

角運動量の流れであるスピン流の中でも、電荷の流れを伴わない純スピン流は、次世代の情報通信媒体の候補として大きな期待を集めており、特に強磁性層と非磁性層の界面におけるスピン流の発生と伝達は、スピントロニクスの研究において重要なテーマです。スピン流の生成は通常、強磁性共鳴（FMR）というスピン励起技術を利用して強磁性層からスピン流を「ポンプ」し、逆スピホール効果を経たスピン流からの変換電流により観測されます。しかし、これまでのスピン流研究では、FMRによる強磁性層側のみの情報が主体で、非磁性層側からスピン流の挙動を調べるのが困難でした。それは、非磁性層に用いられる金属材料の大きなスピン軌道相互作用が原因で、非磁性層からの磁気共鳴信号が広がり、観測が難しくなったためです。

<研究の内容>

本研究では、これまでの課題を克服するために、強磁性層と有機半導体材料で構成された積層デバイスを設計・構築し、スピン流の特性を調査しました。長いスピン緩和時間は、スピン情報を調べる磁気共鳴測定の実験的強度を増加させるため、有機半導体材料に長いスピン緩和時間をもつ導電性ポリマー（ポリアニリン）を採用。それにより、スピン流の伝達や生成の影響を非磁性層側から観測することに成功しました。また、スピン流が生成される際に、強磁性層における FMR 信号の線幅は、元の線幅に比べて広がるのが通説となっていますが、その理論に反して、本研究における長いスピン緩和時間をもつ非磁性層を用いた積層デバイスでは、FMR 信号の線幅が狭まる結果を得ました。また、本結果に伴い、スピン流発生に関する新たなモデルの提案を行いました。

近年、強磁性層と有機半導体層の界面で「スピインターフェース」とよばれる両層間で部分的に混合した特異な状態が形成され、それが高いスピン偏極状態の伝達に有効であることが注目されています。本研究で用いた強磁性層と有機半導体層の関係が、そのスピインターフェースの形成によって説明できることを、磁気共鳴信号の特性から示しました。この形成を磁気共鳴法により示したのは初めての例であり、これまで実験的な知見が限られていたスピインターフェースに対して、新たな視点からの計測方法を提案できた点でも意義が大きいと考えます。

<期待される効果・今後の展開>

スピン流は次世代の情報通信媒体として期待されていながらも、その発生機構、伝達機構などは不明な点が多く、新しい技術の導入による進化が期待されています。本研究で採用した長いスピン緩和時間をもつ有機半導体の活用は、これまで情報を引き出せなかった非磁性層側からの物性追究を可能にするため、今後のスピン流物性の理解の深化への貢献が期待できます。

<用語解説>

※ スピントロニクス：電子の“スピン”という特性を利用した技術のこと。従来のエレクトロニクスは、電子の「電荷」によって情報を処理するが、スピントロニクスでは電子がもつ小さな磁石のような性質（スピン）を活用する。これにより、従来よりも高効率で高速なデータ処理が可能となり、コンピューターの記憶装置やエネルギー効率の改善に役立つ次世代技術として注目されている。

<資金情報>

本研究は科学研究費助成事業 19K22172、21H01906 の支援を受けて実施しました。本研究で使用した導電性ポリマー（ポリアニリン）は、出光興産株式会社から提供を受けました。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Advanced Electronic Materials

【論文名】 Spin Current Generation at The Hybrid Ferromagnetic Metal/ Organic Semiconductor Interface as Revealed by Multiple Magnetic Resonance Techniques

【著者】 Kohei Takaishi, Haruka Tsutsumi, Hideto Matsuoka, Takayuki Suzuki, Katsuichi Kanemoto* (* 責任著者)

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1002/aelm.202400322>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院理学研究科・南部陽一郎物理学研究所
教授 鐘本 勝一（かねもと かついち）

TEL : 06-6605-2550

E-mail : kkane@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課

担当：谷

TEL : 06-6605-3411

E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp