

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)

2023年1月11日
大阪公立大学

—超省エネデバイスの実現へ向けて— 実用化可能なスピン拡散長を持つ分子薄膜材料を発見

<ポイント>

- ◇有機 EL 材料 α NPD 分子薄膜の室温でのスピン輸送^{*1}に成功し、実用化可能なスピン拡散長^{*2}を持つことを発見。
- ◇可視光を用いたスピン輸送制御の実現により、超省エネデバイスの実現が期待。

<概要>

大阪公立大学大学院 工学研究科の仕幸 英治教授、手木 芳男客員教授（大阪市立大学名誉教授）の研究グループは、有機 EL 材料として知られる α NPD 分子薄膜の室温でのスピン輸送に成功しました。また、この分子薄膜が室温で約 62 nm という、実用化が期待できる長さのスピン拡散長を持つことを発見しました。

物質中の電子の持つ磁気情報（スピン）と電荷の両方を活用するスピントロニクス技術が次世代のキーテクノロジーとして注目されています。通常、電子デバイスにおける情報伝搬は電流で行うため、電力を消費することや、デバイスの小型化による発熱リスクが高まるなど問題がありますが、スピンの向きを揃えて電流のように輸送することにより、電力消費をほとんど行わず情報を伝搬することが可能になります。

スピン輸送の実用化には、製品化の際の加工精度の観点から室温で数十 nm のスピン拡散長を持つことが望まれますが、本研究で発見した分子薄膜材料は 62 nm と真空蒸着法で作製された分子材料の中では長いスピン拡散長を持ちます。また、これまでスピン輸送の制御には電気を用いていましたが、分子材料は光導電性^{*3}を持つため、本研究で発見した分子薄膜材料は可視光を用いてスピン輸送が制御できる可能性があります。この手法により電力をほとんど消費せずデバイスの発熱も低減した超省エネデバイスの実現が期待できます。

本研究成果は、Elsevier が刊行する国際学術誌「Solid State Communications」のオンライン速報版に、2022 年 12 月 8 日に掲載されました。

分子薄膜を用いるスピントロニクスデバイスの創製を目指しています。これまでに国内外で様々な分子薄膜におけるスピン輸送の報告がありますが、実用化には分子薄膜へのスピン注入やスピン輸送機構を詳細に解明することと、スピン輸送の自在な制御が必要であり、重要な研究課題です。それらの解決を目指しています。

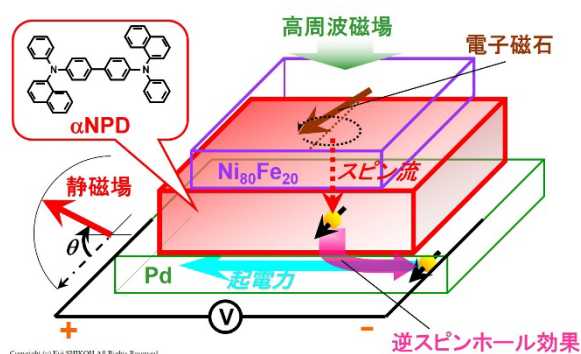
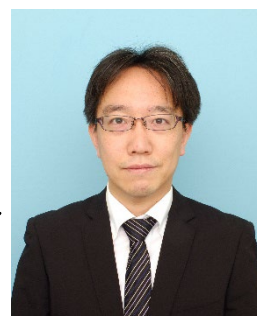


図1 α NPD 分子薄膜のスピン輸送実証の概要図



仕幸 英治教授

<研究の背景>

情報処理機器の高機能化は、情報記録密度の向上のため微細加工技術を駆使することで行われてきましたが、物理的な加工限界に達し、さらなる小型化が困難になっています。一方、小型 IT 機器の高機能化は求められ続けており、定められた時間内で必要な情報量进行处理するには、動作原理を根本から変えることが必要です。そこで、当研究グループでは新しいエレクトロニクスの一つであるスピントロニクスに着目し、新しい材料系である分子材料を用いたスピントロニクスデバイスの開発を行っています。

原子番号の小さい元素で構成される有機分子材料は、スピン軌道相互作用（スピン輸送におけるスピン情報の散乱要因の一つ）が弱いため、他の元素で構成される材料に比べて長い距離のスピン輸送が期待できます。これまでにさまざまな有機分子薄膜のスピン輸送特性が評価されてきましたが、本研究では有機 EL 材料の一つである α NPD 分子薄膜に着目し、室温でのスピン輸送を試みました。

<研究の内容>

本研究では、真空蒸着法を用いて「強磁性金属 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 薄膜 / α NPD 分子薄膜 / パラジウム(Pd)薄膜」の三層構造試料 (図 1) を作製しました。次に $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 薄膜の強磁性共鳴 (FMR) ^{*4} によって駆動するスピンプンピングを使って、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 薄膜から α NPD 分子薄膜へスピン流を生成し、Pd 膜へスピン輸送する実験を行いました (図 2)。スピンプンピングとは、強磁性材料 ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) が FMR 状態にあるときに、別の材料 (α NPD) が接している場合に共鳴状態の磁気情報を強制的に受け渡すことができる現象です。 α NPD 分子薄膜 (スピン輸送層) にはさらに Pd 層 (スピン検出層) が接しており、 α NPD 分子薄膜に生成されたスピン流は Pd 層に吸収されます。したがって、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 薄膜の FMR 状態下で Pd の逆スピンホール効果 ^{*5} を起源とする起電力が観測できれば、スピン流が輸送された証拠になります。

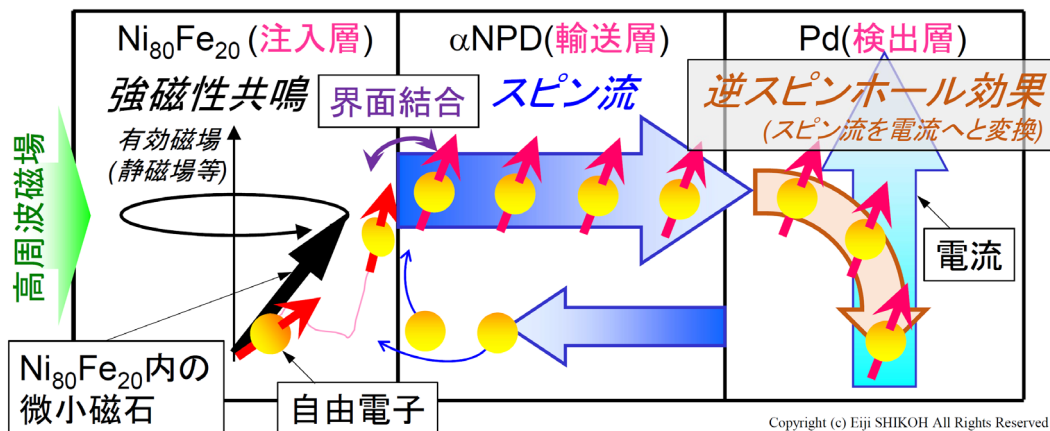


図 2 強磁性共鳴で駆動するスピンプンピングによるスピン注入、スピン輸送とスピン検出の概要

まず、図 3(a)に三層構造試料の FMR 特性を示します。静磁場が約 96 mT のとき (FMR 磁場付近のとき)、高周波磁場を最も強く吸収し、FMR 状態になっていることがわかります。次に、図 3(b)に Pd 膜で検出される起電力の静磁場依存性を示します。 θ は静磁場の方向を表しており (図 1)、 $\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 180^\circ$ において、FMR 磁場付近で起電力が観測され、その起電力の符号は、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 薄膜の磁石の方向の反転に伴って (θ が 0° から 180° になることによって) 逆転しました。このことは、観測された起電力が逆スピンホール効果に由来する可能性の一つの特徴です。

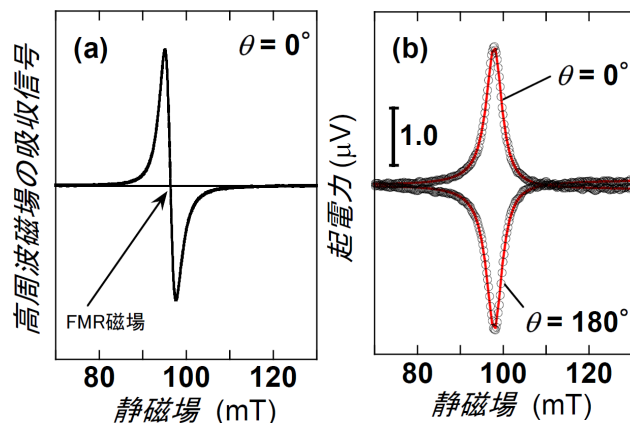


図 3 (a) 「 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ / α NPD / Pd」三層試料の FMR 特性と、(b)同試料の Pd で検出される起電力特性

そこで対照実験として、Pd 膜の代わりにスピン軌道相互作用が弱い銅 (Cu) 膜を使ったところ、起電力が明らかに小さくなりました。

以上により、Pd を使った試料で観測された起電力の主要な起源は逆スピンホール効果である、すなわち α NPD 分子薄膜中のスピン輸送が室温で達成されたことを示すことができました。また、逆スピンホール効果の電気信号は、三層試料の α NPD 分子薄膜が厚くなるにつれて減衰しました。この特性を解析することにより、 α NPD 分子薄膜のスピン拡散長をおよそ 62 nm と見積もることができました。

<期待される効果・今後の展開>

本研究で発見した 62 nm というスピン拡散長は、近年の微細加工技術では比較的容易に作製可能なサイズであり、 α NPD 分子薄膜がスピントロクスデバイスの実用化に向けて有望な材料であることを示すことができました。

実用化には、分子薄膜材料へのスピン注入機構や分子薄膜中のスピン輸送機構を詳細に解明することと、スピン輸送の自在な制御が必要です。現状では、分子薄膜のスピン輸送の主な担い手はそもそも何であるか？それらはどこからやって来るのか？という基本的なことも推論段階であり、議論の余地があります。 α NPD に限らず多くの分子薄膜材料は光導電性を示すため、スピン輸送の主要な担い手が電子などの電荷であるならば、光照射でスピン輸送が制御できるはずで、それを達成することがこの分野のブレイクスルーの一つです。

<資金情報>

本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費補助金 (B) (20H02715) および文部科学省 物質・デバイス領域共同研究拠点 基盤共同研究の支援を受けて実施されました。

<用語解説>

※1 スピン輸送…例として電子が、その磁気情報 (スピン: 電子の持つ磁石のような性質) を保ったまま輸送する現象。電子に依存しないスピン輸送現象もある。

※2 スピン拡散長…スピン輸送の特性の一つであり、最初のスピン状態を保ったままスピンの輸送が可能な距離。

※3 光導電性…物質に光を照射すると、物質中の電気伝導を担う物質 (電荷) の量が変わることにより電気の流れやすさが変化する特性。

※4 強磁性共鳴…磁石材料 (強磁性材料) に静磁場 (直流磁場) と、静磁場に直角な高周波磁場 (交流磁場) を加えると、ある条件のとき高周波磁場を強く吸収し、磁石材料内で磁石の起源となる微小磁石 (電子磁石) の方向がいつまでたっても定まらない現象。

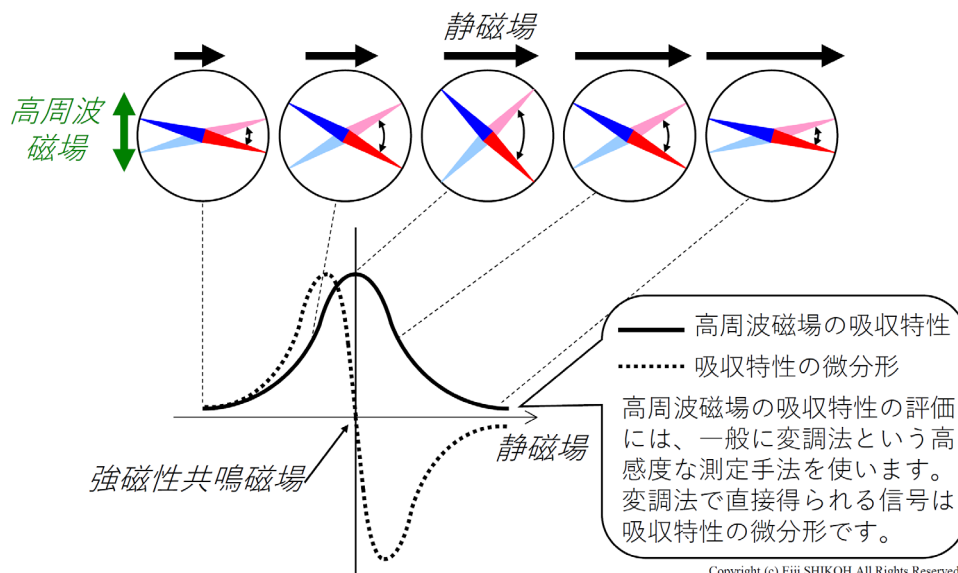


図 4 強磁性共鳴の概要と得られる磁気共鳴信号 (高周波磁場の吸収特性) の例

※5 逆スピンホール効果…材料のスピン軌道相互作用によって、スピン流を電流へと変換する現象のことで、スピン流を電気信号として検出する方法として知られている。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Solid State Communications

【論文名】 Spin transport properties in a naphthyl diamine derivative film investigated by the spin pumping

【著者】 Yuichiro Onishi, Yoshio Teki, Eiji Shikoh

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2022.115035>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院 工学研究科
教授 仕幸 英治 (しこう えいじ)
TEL : 06-6605-2690
E-mail : shikoh@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 : 竹内
TEL : 06-6605-3411
E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp