



2014年3月17日

報道関係者各位

慶應義塾大学

導電性高分子中で磁気の流れを作り出すことに室温で初めて成功 - 次世代の省エネルギーデバイス実現へ前進 -

ポイント

- 次世代省電力電子技術の鍵として磁気の流れに関する研究が世界規模で進められてきた
- 導電性高分子中に磁気の流れを作り出すことに成功し、この性質を世界で初めて解明
- 磁気（スピン）を利用した省電力・高機能デバイス開発に期待

慶應義塾大学理工学部物理情報工学科の安藤和也専任講師らは、電気を流すプラスチック「導電性高分子（注1）」の中で磁気の流れ「スピン流（注2）」を作り出すことに成功し、この性質を世界で初めて明らかにしました。

電子は電気と磁気両方の性質を併せ持っています。従来のエレクトロニクスが電気のみを利用してきたのに対し、磁気（スピン）の流れ「スピン流」を利用することで超低消費電力デバイスや量子コンピュータの実現が可能となるため、これまで金属や無機半導体といった材料でスピン流に関する膨大な研究が行われていました。しかし、フレキシブルかつ印刷が可能で更に安価であるといった優れた特徴を持つ次世代のエレクトロニクス材料である導電性高分子中にスピン流を作り出すことは困難であり、その性質はほとんど理解されていませんでした。

今回、磁気ダイナミクスを利用することで導電性高分子中にスピン流を作り出すことに成功し、これまで未解明であった有機材料中のスピン流の特異な性質を明らかにしました。この発見は、他の物質と比較して著しく長いスピン情報保持時間を示す有機材料の特長を利用した次世代省エネルギー電子技術への大きな推進力となることが期待されます。

本研究成果は、2014年3月16日（英国時間 * 日本時間3月17日）に英国科学誌「Nature Physics」のオンライン速報版で公開されました。

< 研究の背景と経緯 >

現代の電子機器は電流により動作しています。しかし電子の電氣的性質（電荷）の流れである電流を利用した場合、ジュール熱（注3）による巨大なエネルギー損失を避けることが原理的に不可能です。このため近年は素子の発熱・高電力化が深刻な問題となり、この状況を打開する新しい電子技術の開発が急務となっています。このような次世代の省エネルギー電子技術として期待されているのがスピントロニクスです（図1）。エレクトロニクスが電流を利用していたのに対し、スピントロニクスでは電流に代わり電子の磁氣的性質（スピン）の流れ「スピン流」が主役となります。このため様々な物質中でスピン流の性質を調べることが必要であり、特に現在のエレクトロニクスの基幹材料である金属や無機半導体では10年以上にわたり詳細な研究が進められてきました。しかし、あらゆる物質中にスピン流を作り出すことは容易ではなく、スピン流の性質が理解されている物質は限られていました。

最近では、有機ELをはじめとして導電性高分子をベースとしたエレクトロニクス技術にも注目が集まっています。有機材料は金属や無機半導体と比較して柔軟性に富んでいるため、薄くて軽く曲げられるようなトランジスタ回路や発光デバイスを作製できます。さらに印刷技術を利用して塗布することができるため低価格化・大面積化が容易な次世代のエレクトロニクス材料です。導電性高分子は炭素や水素といった軽元素から構成されるため、金属や無機半導体と比較してスピン情報の保持時間が著しく長く、スピントロニクス材料としても非常に有望な物質であると期待されています。導電性高分子中にスピン流を作りこの性質を解明することができれば、導電性高分子の上記優位性とスピンを利用した電子技術を融合した有機スピントロニクスが実現可能となります。

< 研究の内容 >

今回の研究では、導電性高分子にスピン流を作り出すため、代表的な高移動度導電性高分子であるPoly(2,5-bis(3-hexadecylthiophen-2-yl)thieno[3,2-b]thiophene (PBTTT)をスピン流の注入素子(パーマロイ)とスピン流の検出素子(白金)で挟んだ三層構造を作製しました(図2)。この三層構造にマイクロ波を照射してスピン流の注入素子層で磁気共鳴を駆動することで導電性高分子中にスピン流を流し込み、導電性高分子中を流れたスピン流を検出するために白金層に生じる電圧を測定しました。この測定の結果、電圧信号が磁気共鳴と同時に検出され、導電性高分子中にスピン流が流れたことが実証されました。さらに導電性高分子層の膜厚を変えたところ、この電圧信号の大きさが変化しました(図3)。この結果から導電性高分子中のスピン流の減衰長が200ナノメートル程度であることが明らかとなり、さらなるこの温度依存性測定から電気伝導度との関係を調べることによってスピン流の減衰メカニズムを世界で初めて明らかにしました。

今回の研究では、磁気のダイナミクスを利用することにより室温で導電性高分子にスピン流を作り出すことに初めて成功し、さらにスピン流の性質、特に減衰メカニズムが解明されました。これまで金属や無機半導体と同様に導電性高分子においてもスピン流の減衰長は移動度の向上によって長くなると信じられてきましたが、金属や無機半導体とはスピン流の伝導メカニズムが異なり、導電性高分子中ではこの常識が通用しないことが今回初めて示されました。この発見により、移動度を低下させることで有機材料中のスピン情報保持時間を劇的に長くすることが可能であることが初めて明らかとなりました。この重要な性質は他の物質とは顕著に異なるものであり、導電性高分子を利用したスピントロニクスデバイスの設計に非常に重要な指針となる発見です。

< 今後の展開 >

本研究の重要な点は、導電性高分子中にスピンの流れを作り出しこの性質を世界で初めて明らかにしたことにあります。本研究の成果は、電子のスピンを利用することで省エネルギー化を目指すスピントロニクスとフレキシブルで且つ低コスト・大面積化が可能な有機エレクトロニクスの両方のメリットを最大限利用した「プラスチックスピントロニクス」の基幹となり、新しい時代の電子技術と省エネルギー社会の実現に大きく貢献することが期待されます。

本研究はケンブリッジ大学キャヴェンディッシュ研究所の渡邊峻一郎博士とHenning Sirringhaus教授、東北大学原子分子材料科学高等研究機構の齊藤英治教授と共同で行ったもので、内閣府 最先端・次世代研究開発支援プログラム(研究代表者:安藤和也)、科学技術振興機構 さきがけ(領域名「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」)(研究代表者:安藤和也)の一環として実施されました。

<論文タイトル>

“Polaron Spin Current Transport in Organic Semiconductors”
(有機半導体におけるポラロンスピン流輸送)

<参考図>

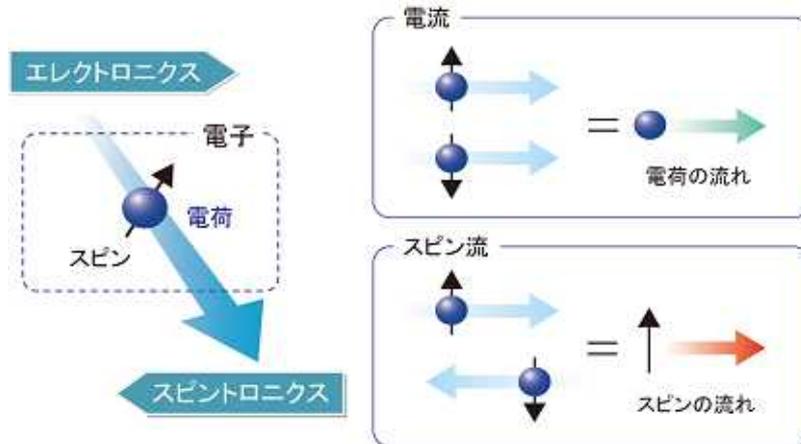


図1．スピントロニクスとスピン流。電流は電子の電気的性質の流れであり、スピン流は電子の磁気的性質の流れである。スピントロニクスは、スピン流を利用することでこれまで実現困難であった高機能・低電力な次世代電子デバイスを目指している。

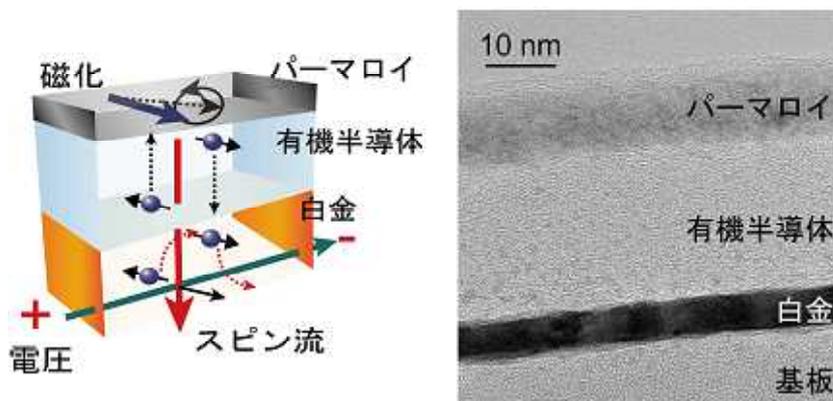


図2．三層スピン流注入検出構造。スピン流注入層（パーマロイ）から有機半導体層へスピン流が注入され、このスピン流が有機半導体層を通り過ぎるとスピン流検出層（白金）に電圧が生じる。右図は実験に用いた試料の透過型電子顕微鏡像。

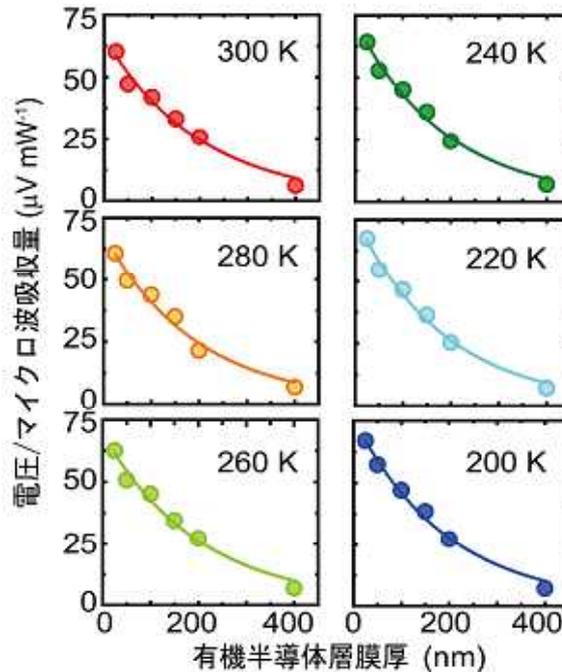


図3．有機半導体を流れるスピンの観測。縦軸は有機半導体層を流れ、スピン流検出層まで届いたスピンの大きさに比例する。有機半導体層の膜厚が厚くなると信号が減少するのはスピンの減衰のため。

<用語解説>

注1) 導電性高分子

電気伝導性を持つ高分子化合物であり、(パイ)電子と呼ばれる活性の高い電子を含む材料が利用される。プリンタブルエレクトロニクス実現の最有力の候補として期待されている。導電性高分子の発見と開拓により、白川英樹博士は2000年にノーベル賞を受賞した。

注2) スピン流

電子自身が持つ磁氣的性質をスピンと呼ぶ。電荷の流れを伴わないスピンだけの流れがスピン流である。

注3) ジュール熱

金属や半導体に電流を流すと電気抵抗により熱が発生する。このジュール熱の存在によりエネルギーの損失なしに電流を流すことはできない。

ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

本リリースは文部科学省記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

1. 本プレス発表の内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 専任講師 安藤和也 (あんどう かずや)

TEL : 045-566-1582 E-mail : ando@appi.keio.ac.jp

研究室 HP : <http://www.ando.appi.keio.ac.jp/>

2. 本発表資料に関するお問い合わせ

慶應義塾広報室 (渡辺) TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-koho@adst.keio.ac.jp <http://www.keio.ac.jp/>

