



令和3年5月14日

報道機関 各位

東北大学電気通信研究所
東北大学先端スピントロニクス研究開発センター
東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター
東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター
東北大学材料科学高等研究所

Wi-Fi の電波で発電するスピントロニクス技術を開発

【発表のポイント】

- Wi-Fi の 2.4GHz 帯の電波を送受信する磁気トンネル接合とその接続技術を開発
- 直列接続した素子 8 個でコンデンサーを 5 秒間充電し、LED を 1 分間光らせることに成功
- 電池交換不要な無線 IoT センサー、プロセッサなどのエッジ情報端末への応用が期待

【概要】

電池無しで駆動するワイヤレスのセンサーやプロセッサなどのエッジ情報端末の必要性が高まっている一方で、身の回りにありふれている Wi-Fi 電波の電力源としての利用が期待されています。

東北大学電気通信研究所の深見俊輔教授、大野英男教授（現東北大学総長）らは、シンガポール国立大学の Hyunsoo Yang 教授のグループと共同で、電子の持つ電氣的性質と磁氣的性質（スピン）の同時利用に立脚するスピントロニクス^(注1)の原理を活用し、Wi-Fi の 2.4 GHz の周波数の電磁波を効率的に送受信する技術を開発しました。さらにこれを環境発電技術へと発展させ、直列接続した 8 個のスピントロニクス素子を用いて、2.4 GHz の電磁波を直流電圧信号に変換してコンデンサーを 5 秒間充電し、発光ダイオード(LED)を 1 分間光らせ続けることに成功しました。

本技術を発展させることで、電力源としては捨てられ続けている Wi-Fi の電波から効率的に電力を抽出して情報のセンシングや処理を行う、ワイヤレス・バッテリーフリーのエッジ情報端末などの実現が期待されます。

本研究成果は 2021 年 5 月 18 日付で英国の科学誌「Nature Communications」で公開されます。

【詳細な説明】

2.4GHz の電波による環境発電の原理実証実験

情報通信技術の進展に伴い、スマートフォンやパソコンだけでなく、車、家電、日用品、公共財などの様々なモノがインターネットに繋がる IoT (Internet of Things) 社会が到来しており、来るべき Society5.0 では、世の中に散りばめられるセンサー端末の数はトリリオン(1兆)個にも上ると言われています。ここで問題となるのが端末一つ一つの電池交換のコストであり、これを克服する上で鍵となる技術の一つが環境発電(エナジーハーベスティング)です。ところで、IoT 社会では多くの情報端末が無線 LAN (Wi-Fi) を介してインターネットに接続されています。Wi-Fi は主には 2.4 GHz 帯の電波を使用して通信が行われており、言い換えると私たちの身の回りには 2.4 GHz の電波が飛び交っており、そのエネルギーが捨てられ続けていることになります。環境発電の電力源の一つとして、この捨てられ続けている電波のエネルギーを利用することが考えられます。

今回、東北大学とシンガポール国立大学の共同研究チームは、磁気トンネル接合^(注2)というスピントロニクス素子を用い、2.4 GHz の電波から発電を行える重要技術を開発しました。この技術を用いて、直列接続された8個の磁気トンネル接合、コンデンサー、昇圧コンバーター、1.6 V で発光する LED からなる簡易デモシステムを構築し、環境発電の原理実証実験を行いました。磁気トンネル接合の 2.4 GHz の電波からの発電によりコンデンサーが 3~4 秒で充電され、この充電を開放することで 1 分間に渡って LED が光り続けることが確認されました。

本成果は、身の回りで「捨てられ続けている」電力である Wi-Fi の電波を効率利用して IoT 情報端末を駆動する技術の確立に向けた重要な一歩と位置付けられます。磁気トンネル接合は不揮発性メモリーの記憶素子として量産技術が確立されており、今回用いた素子もこれと同等な材料系で構成されていることから、比較的容易に大量生産へと結びつけられると考えられます。スピントロニクス技術は IoT 向け情報端末自体の超低消費電力化、高性能化、多機能化にも貢献できることが示されており、今後包括的な研究開発を行うことでエレクトロニクスの新しいパラダイムが切り拓かれていくことが期待されます。

無線通信・発電向け磁気トンネル接合技術の概要

本研究の主役である磁気トンネル接合は、スピントロニクスの原理を利用する機能性素子の代表例です。すでに磁界センサーや不揮発性メモリーで実用化されており、他にも様々な応用に向けた研究開発が進められています。発振・整流現象^(注3)は磁気トンネル接合が発現する機能の一つであり、これによって高周波の電気信号や電磁波の送信・受信が可能となります。これまでに研究が行われてきた高周波応用に向けた磁気トンネル接合素子は、単体では Wi-Fi の周波数帯で高強度の信号を生成する性能が不十分でした。この課題の解決法の一つとして、複数の磁気トンネル接合を相互作用させる方式が提案されていましたが、様々な制約からその有効な実現方法は明らかにはなっていませんでした。

今回、研究チームはこの用途に特化して特性を制御した磁気トンネル接合とその接続技術を開発しました。図1に開発した磁気トンネル接合の構造が模式的に示されています。磁気トンネル接合は CoFeB という強磁性材料からなる自由層と固定層が絶縁体(MgO)をサンドイッチした構造から成ります。今回の研究の重要なポイントは、この自由層の磁化の方向にありま

す。通常の薄膜磁性体の磁化の方向は膜面内方向か膜面直方向のいずれかを向きますが、今回用いた自由層は、その膜厚と形状を精密に制御することで、磁化が安定状態で斜め方向を向くように設計されています。これによって微弱な入力で大きな出力が得られるようになりました。

この磁気トンネル接合を直列に接続した場合と並列に接続した場合のそれぞれについて、交流(AC)を入力した時に整流効果で出力される直流(DC)、及び直流(DC)を入力した時に発振により出力される交流(AC)が詳細に調べられました。その結果、並列接続はDCからACを生成するのに適しており、一方で直列接続はACからDCを生成するのに適していることなどが分かりました。また直列接続の場合に2.4 GHzの高周波電流を入力した際に発生するDC電圧は入力電力あたり20,200 mV/mWとなりました。これは現行のショットキーダイオードの特性を凌ぐ値です。上述の環境発電の原理実証実験はこの知見を基礎としてなされたものです。

【図面】

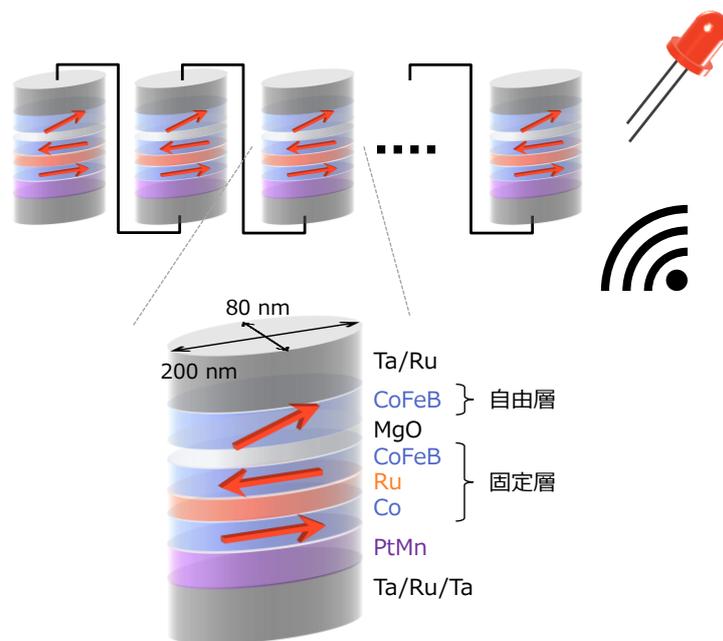


図 1) 本研究で用いた磁気トンネル接合と原理実証実験の模式図。磁気トンネル接合の自由層のCoFeBは、膜厚と形状を適切に選ぶことで、その磁化が安定状態で斜め方向を向くように設計されている。これを直列接続して2.4 GHzの電波で発電し、LEDを光らせることに成功した。

【用語解説】

注1) スピントロニクス

電子は電氣的性質(電荷)と磁氣的性質(スピン)を有しており、これらはそれぞれ電子工学、磁気工学において別々に利用されてきた。スピントロニクスとは、この2つの性質を同時に利用することで発現する新しい現象を明らかにし、工学的に利用することを目指す学問分野である。

注2) 磁気トンネル接合

磁気トンネル接合は、スピントロニクス機能性を利用した素子の代表例である。2層の磁性層が薄い絶縁層をサンドイッチした構造(図1)を有する。磁性層の片側(固定層)の磁化方向を固定し、もう一方(自由層)の磁化が磁界の方向に応じて変化するように設計すれば磁界センサーになり、また自由層の磁化方向が0度と180度の2方向で安定するように設計してそれにデジタル情報の0と1を割り当てればメモリー素子になる。今回の実験では自由層の磁化は電磁波(電界と磁界の波)や印加する電流によって運動するように設計されており、これにより発振や整流^(注3)が起こる。

注3) 発振と整流

磁気トンネル接合^(注2)にある閾値以上の強度の直流電流を導入すると、磁気トンネル接合の自由層の磁化が一定の軌道で歳差運動(すりこぎ運動)を起こす。これをスピントルク発振と言う。歳差運動の周波数は自由層の磁気特性と外部から印加する磁界などで決まる。これを利用することで高周波の電流や電磁波を出力できる。一方、磁気トンネル接合にある閾値以上の強度でかつ特定の周波数の交流電流を導入すると、自由層の磁化が共鳴(スピントルク強磁性共鳴)して歳差運動し、直流の電圧が生じる。交流が直流に変換されることから整流の機能を果たす。

【論文情報】

Title:	“Electrically connected spin-torque oscillators for 2.4 GHz WiFi band transmission and energy harvesting” (WiFi 2.4 GHz 帯での伝送および環境発電向け電気接続スピントルク振動子)
Authors:	Raghav Sharma, Rahul Mishra, Tung Ngo, Yong-Xin Guo, Shunsuke Fukami, Hideo Sato, Hideo Ohno, and Hyunsoo Yang
Journal:	Nature Communications
DOI:	https://doi.org/10.1038/s41467-021-23181-1

問い合わせ先

- 研究に関すること
東北大学電気通信研究所
教授 深見 俊輔
電話 022-217-5555
E-mail s-fukami@riec.tohoku.ac.jp
- 報道に関すること
東北大学電気通信研究所 総務係
電話 022-217-5420
E-mail riec-somu@grp.tohoku.ac.jp