

PRESS RELEASE (2022/07/15)

Beyond 5G 世代向け超小型発振器の設計指針を確立

～スピントロニクス技術で小型、周波数可変、室温動作可能なミリ波発振器を実現～

ポイント

- ① ナノサイズ、周波数可変、室温動作可能なミリ波帯スピントルク発振器の数値シミュレーションを実演
- ② 磁性体のスピントルク発振に層間磁気結合を取り入れ、周波数約 25～570 GHz の高周波発振を数値シミュレーションで実証した。
- ③ Beyond 5G や車載レーダーなどへ向けたミリ波スピントルク発振器の研究開発の加速が期待される。

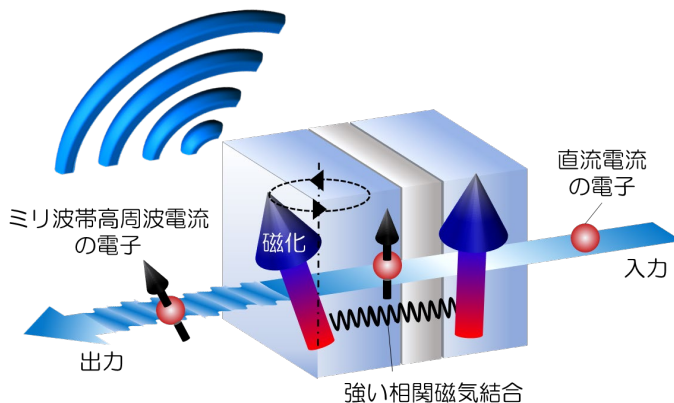
概要

電流中の電子のスピンの角運動量 ※1 を用いて磁性体の磁化を発振させるスピントルク発振器は次世代のマイクロ波・ミリ波発生器の候補技術として注目を集めています。スピントルク発振器は約 100 ナノメートルまで小型化でき、電流の大きさで周波数の操作が可能で、室温で使用することができるという利点を持ちます。一方で、数 100 GHz の周波数まで発振させようとすると巨大な外部磁場が必要となり、発振器全体が大型化してしまう問題がありました。

九州大学大学院システム情報科学研究院の黒川雄一郎助教、岐阜大学工学部の山田啓介助教、産業総合研究所の谷口知大上級主任研究員の研究グループ ※2 は、層間磁気結合 ※3 による巨大な内部磁場を利用することで、無磁場で動作する周波数可変なスピントルク発振器が実現できることを計算機シミュレーションと理論的解析によって実証しました。さらに、層間磁気結合の強さを表すパラメータを網羅的に変化させたことで、約 25-570 GHz というこれまで例を見ない超広域で周波数可変なスピントルク発振器の設計指針を得ることに成功しました。

30-300 GHz 帯の周波数を持つ電波はミリ波と呼ばれ、Beyond 5G ※4 や車載レーダーでの利用が期待されています。今回設計したスピントルク発振器はミリ波の周波数帯を完全にカバーしており、次世代のミリ波帯小型発振器の実現へ向けた大きな一歩になると考えられます。

本研究成果は英国の雑誌「Scientific Reports」に2022年7月19日（火）午後6時（日本時間）に掲載されました。



ミリ波スピントルク発振器の概要図

スピントルク発振器では電子のスピンの角運動量を電流によって磁性体の磁化へ受け渡すことにより磁化の振動を誘起することが可能です。従来は大きな外部磁場を印加しなければミリ波発振は実現できませんでした。本研究では内部の有効磁場を増強することに着目し、強い層間磁気結合を利用することで、外から印加する磁場が無い環境で実現しました。

【研究の背景と経緯】

スピントルク発振器は磁性体で構成される発振器の一種です。これに電流を流すことで、電子の持つスピン角運動量を磁性体の磁化に受け渡し、これをトルクと感じた磁化が高速回転しての高周波発振が得られます。この原理で、直流電流から GHz 帯の高周波交流電流を取り出すことが可能です。また、微細加工により約 100 ナノメートルの大きさまで小型化することが可能であり、室温で稼働することから、次世代の小型発振器として注目を集めています。さらに、この発振器は電流の大きさと周波数を変えることができ、所望の周波数を電流値の変更のみで得られる可能性を秘めています。しかし、数 100 GHz の高周波帯での信号を得ようとすると非常に大きな外部磁場を印加する必要があり、発振素子の大型化を招くといった問題がありました。

【研究の内容と成果】

今回の私たちの研究では、スピントルク発振器の内部に強い層間磁気結合を導入することを提案しました。これにより外部磁場なしでも高周波の信号が生成できることを示しました。層間磁気結合は非磁性体を二層の磁性体ではさみこんだ形の構造で、各層の磁化が特定の向きに結合する状態であり、様々な磁性デバイスで使用されています。この研究では磁化の小さい磁性体を磁化発振層に使用することで、層間磁気結合の強度を極めて大きくさせました。その結果、無磁場中で数 100 GHz の発振が実現可能であること、電流を変えることで周波数が制御できることを計算機シミュレーションと理論的解析から明らかにしました。さらに、層間磁気結合の強さや、磁化発振層の磁化の大きさなどのパラメータを網羅的に変化させ検証を行うことで、約 25-570 GHz という例を見ない超広域で周波数可変なスピントルク発振器の設計指針を得ることに成功しました（図 1 参照）。

【今後の展開】

今回、電流の変化のみで広い周波数帯で発振可能なスピントルク発振器の設計指針を得ました。30-300 GHz 帯の周波数を持つ電波はミリ波と呼ばれ、Beyond 5G や車載レーダーでの利用が期待されています。印加磁場が無い状態においておよそ 25 GHz から 570 GHz までの周波数を得ることができ、ミリ波の周波数帯を包括的にカバーしています。この設計指針を広く展開することで、次世代の広帯域小型発振器の実現が期待できます。

【参考図】

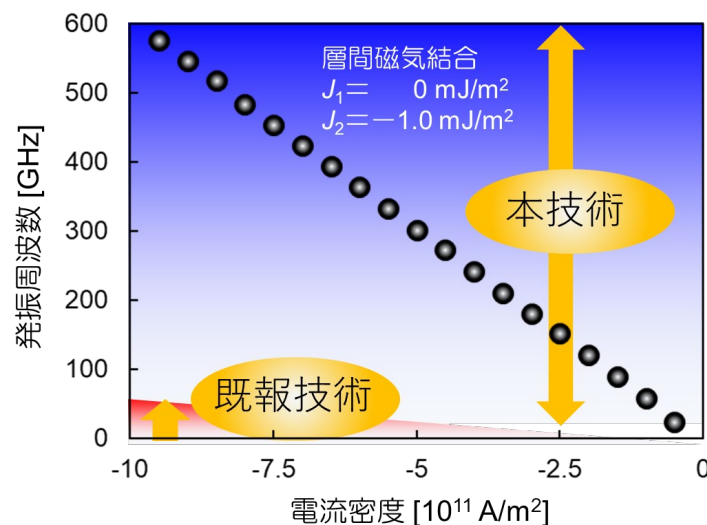


図 1 設計した素子における印加電流密度に対する発振周波数
層間結合の強さ J_1 、 J_2 をそれぞれ 0 mJ/m^2 、 -1.0 mJ/m^2 に設計した場合の電流で誘起される磁化発振の周波数を図に示しています。発振周波数は電流の強度を制御することにより、電流に比例する形でおよそ 25 GHz から 570 GHz まで制御可能であることが分かります。

【用語解説】

(※1) スピン角運動量

電子がもつ量子的な回転運動量で、磁性の起源となる量

(※2) 研究グループ

本論文著者（全員）

九州大学大学院システム情報科学研究院: 黒川雄一郎(助教)、田中輝光(准教授)、湯浅裕美(教授)

九州大学大学院システム情報学府: 堀池周(大学院生: 当時)

岐阜大学工学部: 山田啓介(助教)

産業総合研究所: 谷口知大(上級主任研究員)

(※3) 層間磁気結合

2つの磁性体を非磁性体で挟み込んだ形で発現する結合であり、二つの磁性層の磁化を特定方向へ向ける内部磁場を発生させる。層間磁気結合は主に二種類あり、一つ目の結合は二つの磁性層の磁化を平行、または反平行になるように結合する。二つ目の結合は二つの磁性層の磁化を互いに90度方向、または平行、反平行になるように結合する。

(※4) Beyond 5G

現在、携帯電話等の情報端末で実用化されつつある第5世代移動通信システム(5G)の、さらに次の世代の移動通信システム。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (JP20K05255, JP21K14487)、Micron Technologies Foundation Inc.、小川科学技術財団、服部報公会の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌: Scientific Reports

タイトル: Ultra-wide-band millimeter-wave generator using spin torque oscillator with strong interlayer exchange couplings

著者名: Yuichiro Kurokawa, Keisuke Yamada, Tomohiro Taniguchi, Shu Horiike, Terumitsu Tanaka, and Hiromi Yuasa

D O I : 10.1038/s41598-022-15014-y

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院システム情報科学研究院 助教 黒川雄一郎（クロカワユウイチロウ）

TEL：092-802-3738

Mail：ykurokawa@ed.kyushu-u.ac.jp

岐阜大学工学部 助教 山田啓介（ヤマダケイスケ）

TEL：058-293-2819

Mail：yamada_k@gifu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学広報室

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

岐阜大学総務部総務課広報グループ

TEL：058-293-3377 FAX：058-293-2021

E-mail：kohositu@gifu-u.ac.jp