

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 24 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26286041

研究課題名(和文) スピン波熱移送の制御と冷却効果の観測

研究課題名(英文) Control of spin-wave heat conveyer effect and observation of cooling effect

研究代表者

AN TOSHU (安東秀) (AN, TOSHU)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：70500031

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：まず、スピン波熱移送効果の原理の解明に取り組み、イットリウム鉄ガーネット(YIG)磁性体試料において励起スピン波の周波数依存性を観測した。励起スピン波において、低周波数では試料端でのスピン波熱移送効果が観測されるが、高周波数ではより試料内側に効果がシフトして観測されることを明らかにした。続いてスピホール効果によるスピン波熱移送効果の制御を試みた。YIG試料上に製膜されたプラチナ薄膜やタングステン薄膜へ電流を印加し、スピホール効果によるスピン注入による熱移送量の変調に起因する可能性のある温度の変調信号を赤外線カメラにより観測することに成功した。

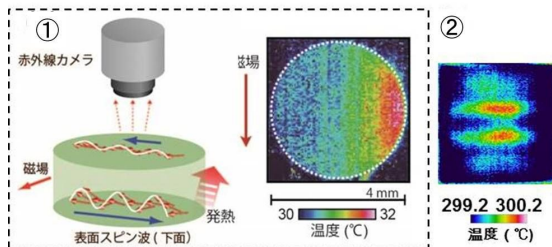
研究成果の概要(英文)：First, spin wave heat conveyer effect was investigated on an yttrium iron garnet (YIG) sample as a function of excited spin-wave frequencies. At lower frequency the heat conveyer effect was observed localized at the sample end. At higher frequency, the effect was observed shift to inner position from the sample end. Second, spin transfer torque was applied to spin waves by spin Hall effect through the Pt and/or W film evaporated on the YIG sample by flowing a current. The modulated spin-wave heat conveyer effect was observed at the sample end by using infrared camera. This observed effect is possible to be originated from spin Hall effect.

研究分野：スピンエレクトロニクス

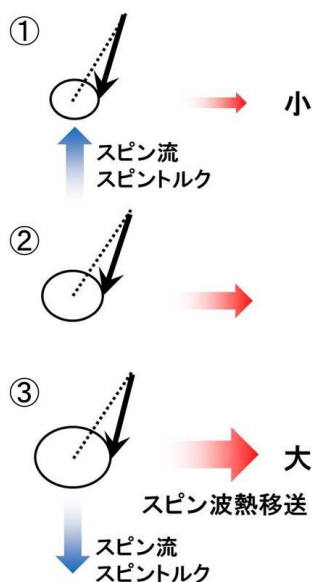
キーワード：スピンエレクトロニクス 熱工学 排熱利用 エネルギー効率 磁性

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は 2013 年に磁気波であるスピン波を利用した熱移送法である、スピン波熱移送の観測に成功した(図(1)、安等, Nature Materials, 12, 549 (2013))。スピン波熱移送は、磁性体試料表面にマイクロ波により励起された、非相反な(一方向にしか伝搬できない)表面スピン波を利用した手法であり、ミリメートルの長距離にわたり試料端まで伝搬した表面スピン波が熱エネルギーを放出して発熱する現象を捉えている。(一方で、通常のパルクスピン波を用いた際には試料端でのスピン波の反射が起こり、定在波が形成される(図(1) 安等, Appl. Phys. Lett. 103, 052410 (2013)))。



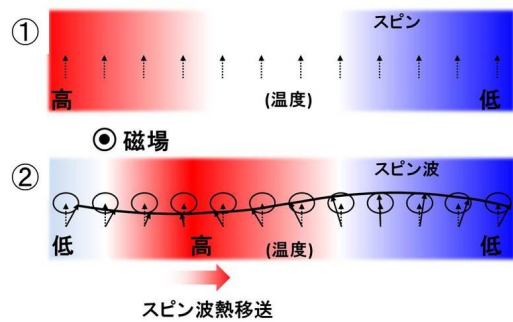
図(1), スピン波熱移送. ガーネット(YIG)円板の試料中において 下面左でマイクロ波により励起された表面スピン波は 右端まで伝搬した後エネルギーを放出し、生じる発熱が赤外線カメラにより観測される. パルクスピン波の定在波の熱イメージング.



図(2), スピン流スピントルクによるスピン波熱移送の変調, 減衰, 変調なし, 増強.

2. 研究の目的

本研究では、磁気波(スピン波)を用いた新奇な熱移送法であるスピン波熱移送法の確立とこの手法を応用したスピン波ペルチェ効果の実現を目指した。先ず、スピン波熱移送を担う物理パラメータを特定しスピン波熱移送を効率化する。続いて、電荷をもたないスピンの流れであるスピン流を注入してスピン波を変調し、スピン波熱移送効率を制御する図(2)。さらには、温度勾配と磁場を試料に印加しスピン波を熱的に励起する方法によりスピン波熱移送を用いた試

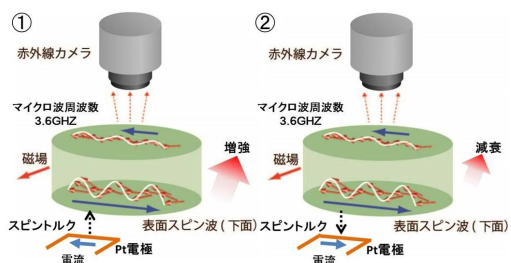


図(3), スピン波熱移送を用いた冷却効果, 温度勾配中におかれた磁性体試料に磁場を印加して熱スピン波を励起し試料左端での冷却効果を観測する. 料冷却効果(スピン波ペルチェ効果)の観測を狙った(図3)。

3. 研究の方法

技術的には、微弱なスピン波熱移送を捉えるための高性能な温度計測装置の真空中での構築を行った。試料にはイットリウム鉄ガーネット(YIG: 磁性絶縁体)を用いた。またマンガテレル(反強磁性磁性半導体)等に着目し、キュリー温度やネール温度付近に試料温度を設定してスピン波熱移送効率を高めて用い、スピン波冷却効果の観測を試みた。

並行して、スピン波熱移送効率を制御する



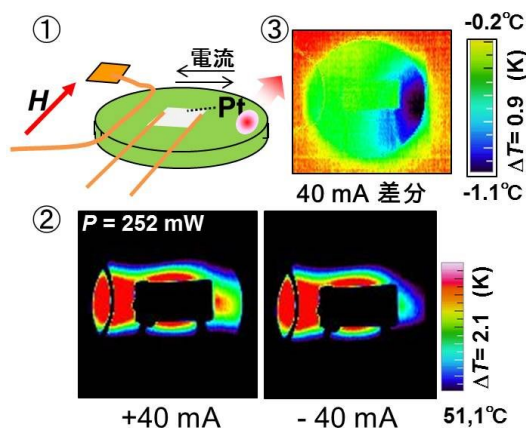
図(4),スピントルクによる熱移送効果の変調 表面スピン波をスピントルクにより 増強 減衰して熱移送量を変調する.

目的でスピン注入による熱移送量の変調を試みた。図(4)に示すように図(4)中のYIG試料下面に常磁性体であるプラチナ(Pt)細線を蒸着して電流を印加する。この際、スピン軌道相互作用が大きいPt細線からYIG界面へスピンの流れによるスピントルクが電流の向きに依存して正負の向きに印加され、これにともない表面スピン波が増強・減衰され、試料端まで運ばれる熱量を変調できると着想している。この手法によりスピン波熱移送量の制御を実現する。温度は赤外線サーモカメラを用いて試料温度を空間・時間分解して計測した。

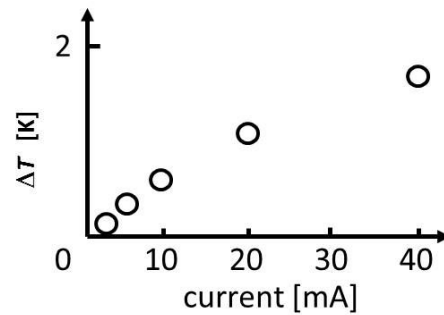
4. 研究成果

まず、スピン波熱移送効果の原理の解明に取り組み、イットリウム鉄ガーネット(YIG)磁性体試料において励起スピン波の周波数依存性を赤外線カメラにより観測した。励起スピン波において、低周波数では試料端においてスピン波熱移送効果が観測されるが、高周波数ではより試料内側に効果がシフトして観測されることを明らかにした。これは励起されたスピン波の波長が短いほど試料端に到達する以前に散逸が起りやすいことを示唆し、スピン波熱移送効果の原理を解明する上で有用な結果を得た。これまでに、表面スピン波の局所位置での群速度の変化が散逸の要因であるとの理論が提唱されており、これらの理論との整合性を検証可能な研究成果である。

本研究において、物質・材料研究機構、内田氏のサポートを得て、通常の赤外線カメラに加えて、ロックインサーモグラフィを用



図(5), スピントルクによる熱移送効果の変調、表面スピン波をプラチナ中に生成されたスピンホールスピントルクにより変調、異なるスピンホール効果の極性における熱画像 差分画像



図(6), スピンホール効果生成のための電流と差分温度

いて温度計測を行った。これにより、より高感度、高分解能にスピン波熱移送効果による発熱を観測することが可能となった。

続いて、スピンホール効果によるスピン波熱移送効果の制御に関する研究を行った。スピン波熱移送効果を観測しながら、YIG試料上に製膜されたプラチナ薄膜、またはタングステン薄膜へ電流を印加し、スピンホール効果によるスピン注入による熱移送量の変調に起因する可能性のある温度の変調信号を赤外線カメラにより観測した。この結果、電流印加の極性に依存しないジュール熱由来の温度変化とは別に、試料端のスピン波熱移送効果による発熱が電流印加の極性に依存して変化して観測された(図(5))。差分温度とスピンホール効果生成のための電流密度はおおよそ比例して観測された(図6)。以上、スピン波熱移送効果がスピンホール効果により変調された可能性を示唆する結果を得た。続いて、スピンホール効果の極性が異なるタングステン薄膜をYIG上に作成した系において同様の実験を行った結果、この際には異なる極性の温度変化が観測された。これにより、スピン波のエネルギーを熱に変換して移送する効果をスピンホール効果により変調可能なことを実証することができた。

さらに、スピン波熱移送効果を利用した冷却効果の観測に向けて、微小熱電対を用いた真空環境下でのより高感度な温度計測装置の構築を行った。関連して、研究期間中にロックインサーモグラフィによる高感度・高空間分解能温度計測の有用性にも着目し、内田氏の支援の下ロックインサーモグラフィを用いたスピン波熱移送効果の観測についても研究を行い、スピンホール効果による変調信号についてより精細な観測結果を得た。

YIG 以外の磁性体にマンガテレル(反強

磁性磁性半導体)等、キュリー温度やネール温度が室温付近に設計可能な試料の再検討を行い薄膜作成の準備を進めた。試料中に温度勾配を印加し、マイクロ波を用いずにスピン波熱移送効果によるスピン波冷却効果の観測を試みた。研究期間中にスピン波冷却効果の観測には成功しなかったが、ロックインサーモグラフィー法を利用した、より高感度・高空間分解能での計測法に着目し、今後の研究について展望を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

(1) 安 東秀、内田健一、井口亮、大門俊介、齊藤英治、スピン波熱移送効果のスピンホール効果による変調、日本物理学会 2016 年秋季大会、2016 年 9 月 14 日、金沢大学(石川県、金沢市)

(2) 安 東秀、内田健一、井口亮、大門俊介、齊藤英治、スピン波の熱イメージングと応用、日本磁気学会第 63 回スピンエレクトロニクス専門研究会、2017 年 3 月 31 日、日本大学理工学部駿河台キャンパス(東京都、千代田区)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホ - ム ペ - ジ 等
<http://www.jaist.ac.jp/index-j2.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

安 東秀 (TOSHU AN)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：70500031

(2)研究分担者

研究者番号：

(3)連携研究者

齊藤 英治 (EIJI SAITOH)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：80338251

金 有珠 (KIM YOUSOO)

独立行政法人理化学研究所・主任研究員

研究者番号：50373296

(4)研究協力者