

FePt 薄膜における異常エッティングスハウゼン効果の可視化

関剛斎^{1,2,3}、井口亮³、高梨弘毅^{1,2}、内田健一^{2,3}
 (¹東北大金研、²東北大 CSRN、³物材機構)

Visualization of Anomalous Ettingshausen Effect in an FePt thin film

T. Seki^{1,2,3}, R. Iguchi³, K. Takanashi^{1,2}, and K. Uchida^{2,3}
 (¹IMR, Tohoku Univ., ²CSRN, Tohoku Univ., ³NIMS)

はじめに

異常ネルンスト効果 (Anomalous Nernst Effect: ANE) と異常エッティングスハウゼン効果 (Anomalous Ettingshausen Effect: AEE) は、強磁性体における熱磁気効果として古くから知られている現象である¹⁾。磁化 (M) と温度勾配 (∇T) の外積方向に電圧を生じさせる現象が ANE であり、AEE では電流 (J_c) と M によって ∇T が現れる。これら熱磁気効果はエネルギーハーベスティング技術としての応用可能性から注目を集めており、特に ANE はバルク、薄膜を問わず様々な物質において研究が進められている。一方で、AEE の研究報告はバルク強磁性体を対象としたものに限られており^{2,3)}、強磁性薄膜における AEE の観測は皆無である。また、スピン流 (J_s) と M の相互作用を起源としたスピンペルチエ効果 (Spin Peltier Effect: SPE)^{4,5)} と AEE の対称性の違いについても実証はなされておらず、温度変調のメカニズムを理解するためにも両者の寄与を明確に区別することが重要である。そこで本研究では、ロックインサーモグラフィ法⁵⁻⁷⁾を用いることで、FePt 薄膜試料における AEE の可視化を行った^{8,9)}。AEE と SPE の対称性の違いを明確にすることを目指し、さらに、AEE で誘起される温度変調のプロファイルを明らかにすることを目的とした。

実験結果

AEE を可視化するための薄膜試料として、SrTiO₃ (100) 基板上にエピタキシャル成長させた FePt (001) 薄膜を用いた。超高真空対応マグネトロンスパッタ装置により 10 nm 厚の FePt 層を 350°C で成長させた後、微細加工プロセスにより FePt 層を 500 μm 幅のコの字形状素子へと加工した。交流の J_c を素子に印加しながら赤外線カメラによる熱画像をロックイン検出することで、ジュール熱の寄与を取り除いた温度変化分の振幅および位相情報を得た。また、AEE と SPE の対称性を調べる目的で、参照試料としてイットリウム鉄ガーネット (YIG) 基板上に 10 nm 厚の Pt 層を成膜した YIG/Pt 素子も作製した。

素子面内方向に磁場を印加する IM 配置では、FePt 素子および YIG/Pt 素子ともに J_c の極性に依存した発熱および吸熱が観測され、類似のロックイン熱画像が得られた。一方で、面垂直方向に磁場印加した PM 配置では、FePt 素子でのみ明瞭な温度変調が観測された。PM 配置における熱画像の違いは、AEE と SPE の対称性の違いから理解することができ、FePt 素子では AEE が主要なメカニズムとなっており、YIG/Pt 素子における温度変化は SPE によって生じていることが実験的に示された。また、AEE の温度変調プロファイルを詳細に調べた結果、温度変調の空間分布が IM 配置と PM 配置で大きく異なっていることが明らかとなった。数値計算と比較した結果、熱源の分布と基板への放熱を考慮することで実験結果を再現できることがわかった⁸⁾。

参考文献

- 1) S. R. Boona *et al.*, *Energy Environ. Sci.* **7**, 885 (2014).
- 2) P. W. Bridgman, *Phys. Rev.* **24**, 644 (1924).
- 3) E. H. Hall, *Phys. Rev.* **26**, 820 (1925).
- 4) J. Flipse *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **113**, 027601 (2014).
- 5) S. Daimon *et al.*, *Nat. Commun.* **7**, 13754 (2016).
- 6) Y. Hirayama *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **111**, 163901 (2017).
- 7) K. Uchida *et al.*, *Nature* (2018) doi: 10.1038/s41586-018-0143-x.
- 8) T. Seki *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **112**, 152403 (2018).
- 9) T. Seki *et al.*, *J. Phys. D: Appl. Phys.* (accepted).