

強磁性体/半導体スピノ素子の性能と界面磁性の相関

山田道洋¹, 白土優², 塚原誠人¹, 神部広翔¹, 工藤康平¹, 山田晋也^{3,1}
 澤野憲太郎⁴, 中谷亮一^{2,3}, 浜屋宏平^{3,1}

(¹阪大基礎工, ²阪大工, ³阪大基礎工 CSRN, ⁴都市大総研)

Correlation between spintronic properties and ferromagnetism of ferromagnet/semiconductor interfaces

M. Yamada¹, Y. Shiratsuchi², M. Tsukahara¹, H. Kambe¹, K. Kudo¹, S. Yamada^{3,1},
 K. Sawano⁴, R. Nakatani², K. Hamaya^{3,1}

(¹Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ., ²Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.,

³CSRN, Osaka Univ., ⁴Advanced Research Laboratories, Tokyo City Univ.)

我々はこれまで、強磁性ホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ (CFAS)と半導体 Ge のヘテロ界面を有する横型スピバルブ素子を用いて、室温でもスピ信号取得することに成功している[1, 2]が、その信号強度は非常に小さいという課題があった。一方、この素子を 300°C でアニール処理すると、ヘテロ界面の反応の影響で低温でのスピ信号が約 90%減少することを観測し、スピ信号と界面品質の関係は明らかになり始めている[3]。本研究では、CFAS/Ge 界面に Fe 終端層挿入することで界面近傍の品質を改善し、明瞭なスピ信号の増大を観測したので報告する。また、磁気特性の観点からも界面品質を評価し、スピ信号との相関を評価した。

Fig.1(a)に示すような $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ (CFAS)/*n*-Ge 横型スピバルブ素子を作製し、Fe 終端後の室温スピ信号を測定した結果、従来の素子[1]と比べて信号強度が約 60 倍に増大することが判った[Fig.1(b)]. HAADF-STEM 観察より、従来 CFAS/Ge 界面で見られていた組成のゆらぎ[3]は、Fe 終端を行うことで大幅に改善されていることを確認した[4]。一方、ヘテロ界面の磁性を評価するために、スピ注入電極構造の界面近傍の状態を模擬するための Ge(111)基板上の CFAS(5 ML)/Fe(5 ML)薄膜と CFAS(10 ML)薄膜をそれぞれ作製し、室温で面内磁気光学 Kerr 効果測定を行った。その結果、Fe 5ML を挿入した薄膜では、Kerr 回転角が 10 倍程度になっており(Fig.2), 界面近傍の磁性が大きく改善されていることが示唆された。

講演では、スピ信号の温度依存性と Kerr 効果信号の温度依存性の相関も併せて議論する。

本研究の一部は、JSPS 科研費(Grant No. 16H02333, 17H06832, 17H06120, 18J00502)の支援を受けた。

参考文献

- [1] M. Yamada *et al.*, Appl. Phys. Exp. **10**, 093001 (2017).
 [2] K. Hamaya *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **51**, 393001 (2018).
 [3] B. Kuerbanjiang *et al.*, Phys. Rev. B **98**, 115304 (2018).
 [4] M. Yamada *et al.*, (in preparation).

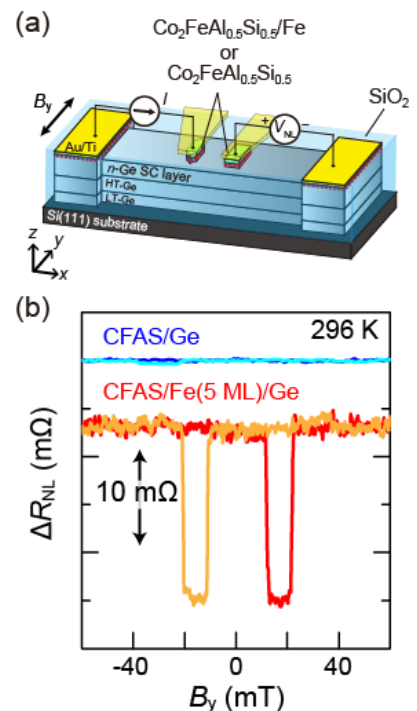


Fig. 1. (a) Schematic of a lateral spin valve device with $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}/\text{Ge}$ electrodes. (b) Room temperature nonlocal spin signal for devices with CFAS/Ge and CFAS/Fe(5 ML)/Ge contacts.

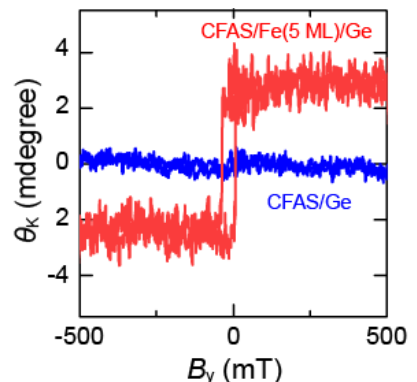


Fig. 2. In-plane magneto-optical Kerr effect loops for CFAS/Ge and CFAS/Fe(5 ML)/Ge films at room temperature.

強磁性体/半導体スピン素子におけるスピン蓄積信号の非線形バイアス依存性

藤田裕一¹, 山田道洋¹, 塚原誠人¹, 内藤貴大¹, 山田晋也^{2,1}
 澤野憲太郎³, 浜屋宏平^{2,1}

(¹阪大基礎工, ²阪大基礎工 CSRN, ³都市大総研)

Nonlinear bias dependence of spin accumulation signals in ferromagnet/semiconductor devices

Y. Fujita, M. Yamada¹, M. Tsukahara¹, T. Naito¹, S. Yamada^{2,1}, K. Sawano³, K. Hamaya^{2,1}

(¹Grad. Sch. Eng. Sci., ²CSRN, Osaka Univ., ³Advanced Research Laboratories, Tokyo City Univ.)

我々は、強磁性ホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ (CFAS)と半導体 Ge のヘテロ界面を有する横型スピンバルブ素子を用いて、スピン信号を室温で取得することに成功している[1, 2]が、その2端子磁気抵抗(MR)比は未だ小さい[3]。一方、半導体スピン素子における2端子MR信号に関するこれまでの研究では、バイアス電圧印加によりスピンドリフト効果が増大することでスピン信号が増強されると報告されてきたが[4]、最近の詳細な研究では、スピン検出電極側の非線形なスピン変換効率を考慮することが重要であるとの指摘もある[5]。本研究では、半導体横型スピンバルブ素子において2端子MR信号のバイアス依存性を詳細に評価した結果、バイアス電圧に対してスピン蓄積電圧(ΔV_L)が非線形に変化する現象を観測したので報告する。

Fig.1(a)に示すようなCFAS(FM)/n-Ge横型スピンバルブ素子を作製し、2つのFM端子間に直流電流(I)を印加することでスピン信号を測定した。Fig.1(b)には、様々な印加電流下でのスピン蓄積電圧(ΔV_L)信号を示す。興味深いことに、 I の極性が同符号の条件であっても、スピン信号の符号が反転する現象が観測されている。ここで、電極間距離の異なる別々の素子をDevice A, Device Bとし、 ΔV_L と I の関係をまとめたのがFig. 1(c)である。 ΔV_L はFertとJaffrèsのモデル[6]にあるような I に対する単調な変化を示すのではなく、 \sin カーブのような非線形な変化を示している。また、 $I > 0$ ($I < 0$)の領域でも負(正)の ΔV_L が観測されている[7]。このことは、半導体スピン素子における2端子スピン信号が、印加電流 I のみで記述できるものではなく、何らかの効果が重畳されて非線形性を発現したことを示唆している。

講演では、同じ素子で測定される非局所4端子スピン信号を詳細に考察することに加え、スピン検出電極側のスピン検出電極側の非線形なスピン変換やスピンドリフトの影響などを併せて議論し[7]、上記の現象を定性的に理解する。

本研究の一部は、JSPS 科研費 (Grant No. 16H02333, 17H06832, 17H06120, 18J00502)の支援を受けた。

参考文献

[1] M. Yamada *et al.*, Appl. Phys. Express **10**, 093001 (2017).
 [2] K. Hamaya *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **51**, 393001 (2018).
 [3] M. Tsukahara *et al.*, Appl. Phys. Express **12**, 033002 (2019).
 [4] T. Sasaki *et al.*, Appl. Phys. Lett. **98**, 262503 (2011).
 [5] R. Jansen *et al.*, Phys. Rev. Appl. **10**, 064050 (2018).
 [6] A. Fert and H. Jaffrès, Phys. Rev B. **64**, 184420 (2001).
 [7] Y. Fujita *et al.*, (submitted).

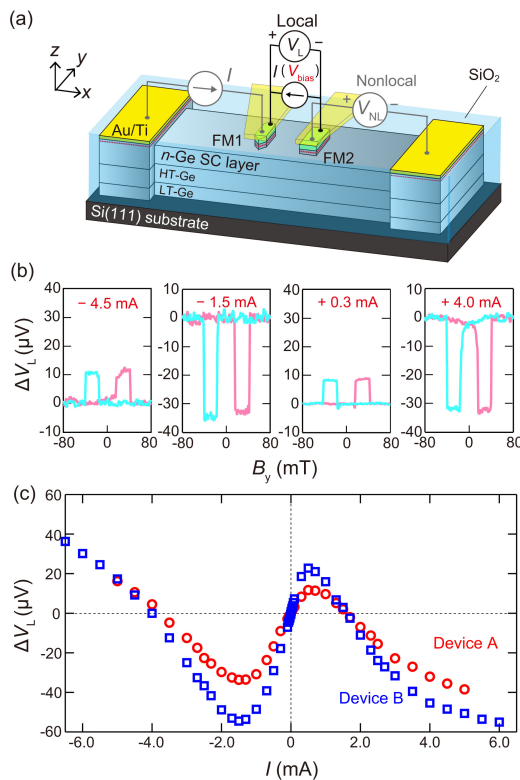


Fig. 1. (a) Schematic illustration of a lateral ferromagnet/semiconductor device. (b) Local spin accumulation signals at 8 K at various I for devices A. (c) Bias I dependence of ΔV_L at 8 K for devices A (open circles) and B (open squares).

表面弾性波の渦度を用いて生成したスピン流の定量解析

栗宗 勇貴^A, 松尾 衛^{B,C}, 前川 禎通^{C,B}, 能崎 幸雄^{A,D}
 (慶大理工^A, 国科大カブリ研^B, 理研^C, 慶大スピン研^D)

Quantitative analysis of spin current generated using vorticity in surface acoustic waves

Yuki Kurimune^A, Mamoru Matsuo^{B,C}, Sadamichi Maekawa^{C,B}, Yukio Nozaki^{A,D}

(^ADept. of Phys. Keio Univ., ^BKITS, UCAS, ^CRIKEN, ^DKeio Spintronics Center)

はじめに

磁性体やスピン軌道相互作用(SOI)の大きな貴金属を用いずにスピン流を生成することは、スピントロニクスデバイス研究における大きな挑戦である。2013年に松尾らは、スピン角運動量と力学的回転による渦度の結合(spín vorticity coupling, SVC)を用いて、表面弾性波(SAW)からスピン流を生成する手法を理論提案した[1]。この理論では渦度の時間微分がスピン流源となり、スピン流強度がスピン緩和時間に比例するため、SOIの弱いCuやAlがスピン流生成に有利と考えられていた。これに対し、水銀の流体運動に含まれる定常的な渦度も直流スピン流を生成することが実験検証され[2]、理論的にも2つの生成機構が存在することが示された[3]。このように流体運動によるスピン流は実験・理論の両面で生成機構に関する研究が進んでいる一方、SAWを用いたスピン流生成に関しては、NiFe/Cu二層膜におけるスピン波共鳴の実験検証が報告されたのみであり[4]、デバイス応用の観点からもSAWによるスピン流生成機構の解明が不可欠である。そこでSVC効果の微視的理論に基づき、非磁性体に生成されるスピン流の材料・周波数依存性を詳しく調べた。さらに、強磁性体内の渦度による磁気弾性効果とバーネット効果についても調べ、二層膜にSAWを注入した際に生じるスピン波共鳴を定量的に解析した。

実験方法

図1に示すようなSAWフィルター素子を作製し、SAWを生成、検出するすだれ状電極(IDT)の間にNiFe(20 nm)/Cu(200 nm), NiFe(20 nm)及びNi(20 nm)を成膜した。CuにSAWが注入されると、SVC由来の交流スピン流が強磁性層へ流れ、磁化にスピントランスファートルクを与えることでスピン波共鳴が励起される。このときの透過マイクロ波の減衰を、ベクトルネットワークアナライザを用いて測定した。なお、IDTの幅と配列周期を変化させることにより、誘引されるSAWの固有周波数を制御した。

実験結果

図2は各素子について測定したスピン波共鳴に伴うマイクロ波吸収強度のSAW周波数依存性である。NiFe/Cu二層膜では吸収強度が周波数の7乗に比例する変化を示した一方で、NiFe及びNi単層ではそれぞれ周波数の3乗と1乗に比例する変化が見られた。前者はSAWのSVCによってCu内で生成されるスピン流のトルクによって、後者はバーネット磁場と磁気弾性効果が磁性体の磁化に与える磁気トルクによって、予想されるスピン波共鳴の強度の式で良くフィッティングされた。このスピン波共鳴強度の周波数依存性の違いは、CuにおいてSAWのSVCがスピン流を生成したことを示す実験的な証拠であり、SVC効果の微視的機構の理解に向けた重要な知見である。

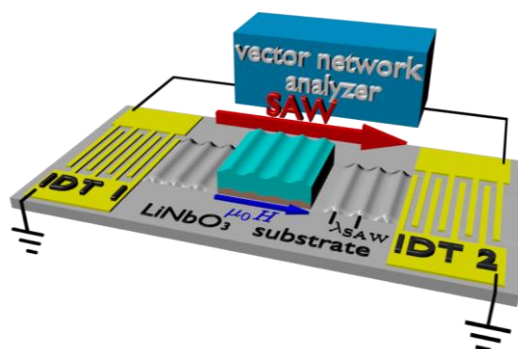


図1 SAWによって生成されたスピン流によるスピン波励起の測定系。

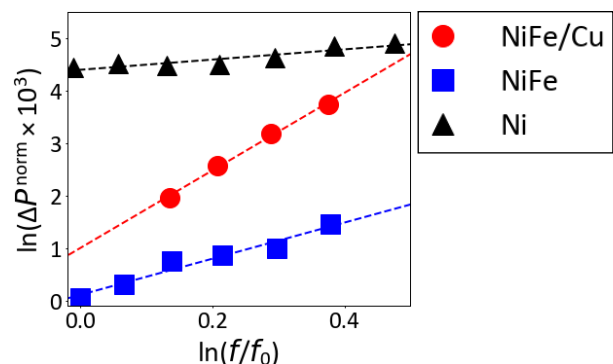


図2 NiFe/Cu二層膜、及びNiFe, Ni単層でのマイクロ波吸収強度の周波数依存性。

参考文献

- [1] M. Matsuo *et al.*, Phys. Rev. B87, 180402(R) (2013). [2] R. Takahashi *et al.*, Nat. Phys. 12, 52 (2015).
 [3] M. Matsuo *et al.*, Phys. Rev. B96, 020401(R) (2017). [4] D. Kobayashi *et al.*, Phys. Rev. Lett 119, 077202 (2017)

常磁性重金属界面におけるスピンの吸収とスピン変換

伊藤大樹¹, 木村崇^{1,2}
(九大理¹, 九大スピンセ²)

Spin absorption and spin conversion at paramagnetic heavy metal interfaces

D. Ito¹, T. Kimura^{1,2}

(¹ Dept. of Physics, Kyushu University, ² Research Center for Quantum Nano-Spin Sciences)

Pt や Bi などの非磁性重金属体の界面では、高いスピン軌道相互作用に伴う高効率なスピン-電気変換が期待されるため、精力的に研究されてきた。これまで、このような界面スピン軌道相互作用を有する物質系へのスピン注入法として、専らスピンプンピング法が用いられているが、この手法では、強磁性近接効果や異常 Nernst 効果のような擬似的な信号が重畳するため、純粋なスピン-電気変換信号の解析を困難にしている。一方で、横型スピンバルブ構造における非局所スピン注入法を用いれば、拡散スピン流のみを、非磁性重金属界面に注入できるため、系の特性を決定付けるのに適した方法である。そこで、本研究では、非磁性重金属界面におけるスピン-電気変換信号の定量評価のための新規横型構造を開発した。

図 1 に本研究に使用されたデバイスの SEM 像及び、測定機構について示す。このサンプルでは、Bi/Ag 界面に生じる inverse Rashba-Edelstein effect (IREE) にフォーカスした。IREE は、Rashba 効果が存在する 2 次元系系において、スピン流が電流へと変換される現象である。CoFeAl 細線から非局所的に注入されたスピン流は Bi/Ag 界面へと著しく吸収され、IREE によって電流へと変換され、Bi/Ag 細線に沿った電圧として検出できる。Bi/Ag 中のスピン流は強いスピン吸収によって急速に減衰されるが、高いスピン分極を持つ CoFeAl を注入電極に適用することによって数十 nm にわたり信号の検出を可能となる。

本発表では、Bi/Ag 界面以外の種々の常磁性重金属界面についての適用結果も示す。

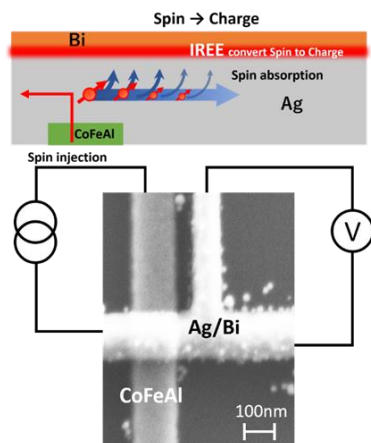


図 1 デバイスの SEM 像と IREE 検出の概念図。

参考文献

- 1) T. Kimura, Y. Otani, et al.: Phys. Rev. Lett. **98**, 156601(2007)
- 2) J. C. Rojas Sánchez, L. Vila, G. Desfonds, et al.: Nature Communications **vol.4**, Article number: 2944 (2013)

Fe 薄膜の Ga 置換による異常ネルンスト効果の増大機構

中山裕康¹, 増田啓介¹, 三浦飛鳥¹, 内田健一¹, 村田正行², 桜庭裕弥¹
(¹ 物材機構, ² 産総研)

Mechanism of strong enhancement of anomalous Nernst effect in Fe by Ga substitution
H. Nakayama¹, K. Masuda¹, A. Miura¹, K. Uchida¹, M. Murata², and Y. Sakuraba¹
(¹NIMS, ²AIST)

はじめに

熱電変換現象に基づいた熱電発電技術は基礎物理のみならず環境発電手法という応用の観点からも着目されている。特に近年、異常ネルンスト効果の応用が期待されており、応用上、異常ネルンスト効果の大きな材料の開拓が求められている。^{1,2)} これまでに FeGa 合金である Galfenol において比較的大きな異常ネルンスト効果が報告されているものの、そのメカニズムは明らかになっていない。³⁾ 異常ネルンスト効果の増大には異常ホール効果と横ペルチェ係数が重要な役割を果たすことから、⁴⁾ 本研究では、系統的な輸送測定と第一原理計算を併用することで、Fe 薄膜の Ga 置換による異常ネルンスト効果の増大機構について検討を行った。

実験方法

MgO(001)基板上にコスパッタ法により膜厚 50 nm の Fe_{1-x}Ga_x (x = 0 - 0.44) 薄膜を作製した。作製した薄膜試料について XRD, VSM, XRF により、構造および磁気特性を調べた。これらの薄膜試料について、フォトリソグラフィおよびアルゴンイオンエッチングを用いてホールバー形状に加工した。加工した試料を用いて異常ネルンスト効果、異常ホール効果および電気抵抗の測定を行った。

実験結果

図 1(b) に異常ネルンスト効果の Ga 濃度 x 依存性測定結果を示した。Fe を Ga に置換したことで、Fe から構造が変わっていないにもかかわらず異常ネルンスト効果の大きさが劇的に増大することが分かった。同一の薄膜において異常ホール効果およびゼーベック効果の測定を行うことで決定された横ペルチェ係数が図 1(c)に示した。横ペルチェ係数の x 依存性は振動的な振る舞いを示しているが、これは Fe の電子構造と Ga 置換による電子ドーピング効果を反映しているものと考えられる。⁵⁾ 横ペルチェ係数は x = 0.1 および 0.3 近傍でピークを持つが、Ga 濃度を増大させると電気抵抗率が単調に増大するため、異常ネルンスト効果の大きさは x = 0.3 近傍において最大の値をとることが明らかとなった。

参考文献

- 1) M. Mizuguchi *et al.*, Appl. Phys. Express **5**, 093002 (2012).
- 2) Y. Sakuraba *et al.*, Scr. Mater. **111**, 29 (2016).
- 3) Y. Yang *et al.*, AIP Advances **7**, 095017 (2017).
- 4) Y. Sakuraba *et al.*, arXiv: 1807.02209.
- 5) J. Weischenberg *et al.*, Phys. Rev. B **87**, 060406(R) (2013).

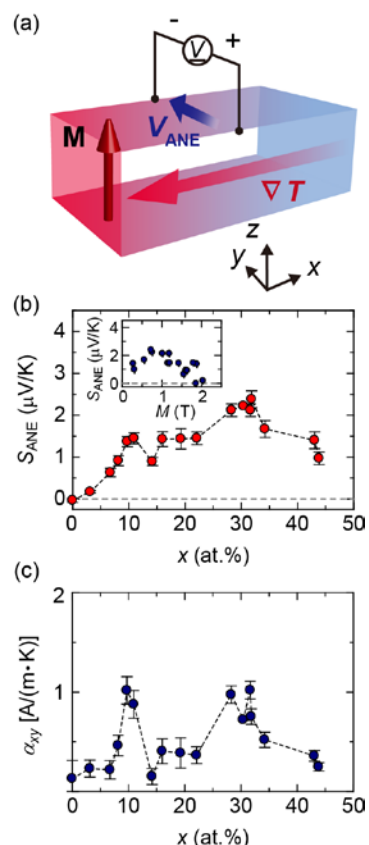


FIG. 1. (a) Schematic of experimental configuration for the anomalous Nernst effect (ANE). (b) The Ga composition x dependence of the magnitude of the ANE S_{ANE} in Fe_{1-x}Ga_x thin films. The inset shows M_s dependence of the S_{ANE} . (c) x dependence of the transverse Peltier coefficient α_{xy} in Fe_{1-x}Ga_x thin films.

レーザー加熱による異常ネルンスト効果の時間分解測定

水口将輝^{1,2,3}、齊藤真博^{1,4}、飯浜賢志⁵、Himanshu Sharma^{1,2}、小嗣真人⁴、水上成美^{3,5,6}
 (1) 東北大金研、(2) JST-CREST、(3) 東北大 CSRN、(4) 東京理科大、(5) 東北大 WPI-AIMR、(6) 東北大 CSIS)

Time-dependent measurements of the anomalous Nernst effect using a laser heating

M. Mizuguchi^{1,2,3}, M. Saito^{1,4}, S. Iihama⁵, H. Sharma^{1,2}, M. Kotsugi⁵, S. Mizukami^{3,5,6}

(¹IMR, Tohoku Univ., ²JST-CREST, ³CSRN, Tohoku Univ., ⁴Tokyo Univ. Sci.,

⁵WPI-AIMR, Tohoku Univ., ⁶CSIS (CRC), Tohoku Univ.)

はじめに

熱磁気効果の一つである異常ネルンスト効果は、熱電変換素子などのエネルギーハーベスティング技術への応用が期待されている¹⁾。我々は、これまでに主に薄膜について、異常ネルンスト効果の系統的な測定を行ってきた。その結果、 $L1_0$ 型規則合金 FePt が比較的大きな異常ネルンスト効果を示すことを見出し²⁾、異常ネルンスト効果を用いた熱電素子への応用の可能性について報告した³⁾。また、様々な規則合金における異常ネルンスト効果と磁気異方性の相関⁴⁾や、ハーフホイスラー合金における異常ネルンスト効果の低温特異性⁵⁾についても報告した。実際に、異常ネルンスト効果の応用を見据えた場合、熱流に対する高速時間応答が重要な知見となる。そこで、本研究では、熱スピン流から異常ネルンスト電圧への変換過程についてさらに考察を深めるため、パルスレーザーを用いて試料を加熱し、異常ネルンスト効果の時間分解測定を行った。特に、試料の膜厚や磁気異方性と時間分解異常ネルンスト効果の関係について、詳細な検討を行った。

実験方法

超高真空マグネトロンスパッタリングにより、 $L1_0$ 型規則合金 FePt 薄膜を作製した。膜厚が 1 - 500 nm の範囲で複数の膜厚の試料を作製した。振動試料型磁力計を用いて作製した薄膜の磁気特性の評価を行った。異常ネルンスト効果の測定時には、波長 800 nm の Ti: Sapphire レーザーを光源とするパルス幅 120 fs のレーザーパルスを繰り返し周波数 1 kHz で試料に照射した。光源から発振されたレーザー光は、ポンプ光とプローブ光に分割され、それぞれ光学パスを通過して試料に照射した。レーザー光は、光チョッパーを介して 800 Hz に変調した。薄膜面内方向に 15 kOe の磁場を印加した。磁場方向と直交する方向に端子を取り付け、ストレージオシロスコープで電圧をモニタした。

実験結果

いずれの試料についても、パルスレーザーの照射後に、電圧が急激に増加する振る舞いが見られた。レーザー強度を増加すると、観測される電圧が比例して大きくなった。また、印加する磁場の角度を変化すると、電圧も系統的に変化した。これらの結果から、レーザーパルスにより FePt 薄膜面直方向に熱勾配が生じ、これによる異常ネルンスト効果から電圧が生じていると考えられる。膜厚を変えた試料で測定を行ったところ、ネルンスト電圧の膜厚依存性が大きいことが分かった。これは、薄膜内に生じる熱勾配の分布が、膜厚に強く依存しているためと考えられる。当日は、磁気異方性との相関や、有限要素法による熱勾配の分布の計算結果と実験結果の比較などについても議論する。

本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究(A) (17H01052) および JST-CREST 研究 (JPMJCR1524) の支援を受けた。

参考文献

- 1) M. Mizuguchi and S. Nakatsuji, *Sci. Tech. Adv. Mater. (review)*, **20**, 262 (2019).
- 2) M. Mizuguchi *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **5**, 093002 (2012).
- 3) Y. Sakuraba, M. Mizuguchi *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **6**, 033003 (2013).
- 4) K. Hasegawa, M. Mizuguchi *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **106**, 25245 (2015).
- 5) H. Sharma, M. Mizuguchi, *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SBBI03 (2019).

非磁性重金属における熱流—スピンの変換の実験的観測

松田亮^A, 須小遼河^A, 伊藤大樹^A, 有木大晟^A, 木村崇^{A,B}
(九大理^A, 九大スピNSE^B)

Experimental observation of a conversion of spin and heat currents in nonmagnetic heavy metals

R. Matsuda^A, R. Suko^A, D. Ito^A, T. Arika^A, T. Kimura^{A,B}

(Dept. of Phys. Kyushu Univ.^A, Research Center for Quantum Nano-Spin Science, Kyushu Univ.^B)

背景

近年、スピントロニクス分野の発展に伴い、スピン流と熱の相互作用に起因する諸現象を扱うスピントロニクスという分野が新たな発展を見せている。電子の電荷とスピンの相互作用によって生じるスピンホール効果と、電子の熱とスピンの相互作用によって生じるスピネルンスト効果では、発現の仕方が物質によって異なることが報告された¹。物質の構造のさらなる理解のために両分野の研究がより重要になることが示唆され、注目を集めている。

一方で、熱電現象は古くから知られており、様々な研究成果が報告されている。それらの熱電現象の中には、熱流と磁化の相互作用に起因する磁気熱電効果をはじめ、熱と電子スピンのホール効果¹や熱流自身のホール効果なども存在し、各現象は極めて類似の磁場依存性や電流依存性を引き起こすため、実験的に観測された信号の真の起源を見分けることは容易ではない。さらに、強磁性/常磁性遷移金属の界面は、強磁性近接効果などの効果が競合し²、現象をますます複雑にしている。

今回は、非磁性重金属細線と強磁性細線を架橋した構造における熱流とスピン流の変換について、常磁性重金属細線の膜厚依存や物質依存(Pt, Ta, Nb)の観点から実験結果を比較し議論する。

実験方法

電子線リソグラフィによる微細加工のパターニング、および金属成膜において、SiO₂ (1 μm)/Siの基板の上に測定素子を作成した。金属成膜にはマグネトロンスパッタリング法と電子ビームおよび抵抗加熱蒸着法を用いた。

測定は、外部磁場を試料面内方向に印加し、第一高調波電圧の磁場依存性をロックイン検波することで、電気的に生成されたスピン流の特性を、また、第二高調波も同様にロックイン検波することで、熱的に生成されたスピン流の特性を評価した。

試作した素子の電子顕微鏡像を図1、および図2に示す。各素子において、第一高調波を用いてスピンホール効果を測定することで、スピン流の伝搬特性を評価した。次に、熱によるスピン流生成に関して、図1の素子では、スピネルンスト効果によって生成されるスピン流を強磁性電圧端子を用いて検出し、図2の素子では、スピン吸収効果によって生じる逆スピネルンスト効果による温度変化を、ゼーベック効果を用いて検出した。

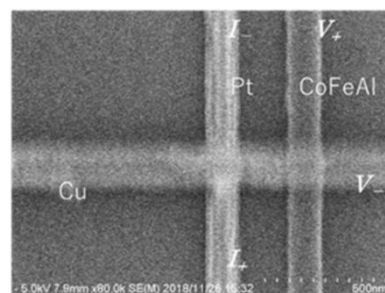


図1:熱流からスピン流への変換の測定素子

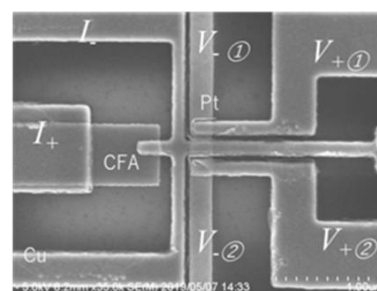


図2:スピン流からスピン流への変換の測定素子

参考文献

- 1 Sheng, P. et al. Science Advances 3, 7, doi:10.1126/sciadv.1701503 (2017).
- 2 Suzuki, M. et al. Physical Review B 72, 8, doi:10.1103/PhysRevB.72.054430 (2005).

横型スピバルブを用いたスピン依存ペルチェ効果の観測

須小遼河、松田亮、伊藤大樹、有木大晟、大西紘平*、木村崇*
(九大理、*九大スピンセ)

Observation of the spin-dependent Peltier effect in lateral spin valve
R.Suko,R.Matsuda,D.Ito,T.Ariki,K.Ohnishi*,T.Kimura*
(Kyushu Univ., *Spin Research Center of Kyushu Univ.)

はじめに

異なる金属の接合面に電流を流すことでその界面に放熱又は吸熱現象が発生するペルチェ効果は広く知られているが、近年この効果が電流だけでなくスピン流を流すことでも生じることが知られている。我々は、特にスピン依存型のペルチェ効果について、興味を持っている。既に、熱スピン注入の実験において、強磁性体 CoFeAl(CFA) が非常に大きなスピン依存ゼーベック係数を持つことを報告しており、オンサーガーの相反定理から、CFA は高いスピン依存ペルチェ係数を持つと考えられる。今回はこの CFA を用いて、より効果的なスピン依存ペルチェ係数の観測を期待するべく実験を行ったので報告する。

実験方法

今回の実験では Cu と CFA の二つの金属細線からなる横型スピバルブ構造を電子線リソグラフィにより Si/SiO₂ 基板上に作成し、測定を行った。Fig.1 試作した素子の電子顕微鏡写真とスピン依存ペルチェ効果測定時の端子配置を示す。電気的非局所スピン注入とスピン吸収効果により、Cu1-CFA2 界面に純スピン流を注入し、その際に生じた発熱(吸熱)効果を、熱電対として付加した Cu2 および CFA2 電極のゼーベック電圧により評価した。測定には交流電源を用い、外部磁場を付加した上で、ロックインアンプによって信号検出をおこなった。

また測定温度を室温から 2.4K まで変化させ、測定温度と得られた信号の相関にも着目した。

実験結果

Fig.2 は、Fig.1 の端子配置において測定温度 20K で観測された電圧の磁場依存性である。得られた曲線は、横型スピバルブにおけるスピン流検出の際に観測されるスピン信号に類似している。この結果から、CFA2 内部の磁化方向と電子スピン流の持つスピン方向の関係が CFA2-Cu2 検出端子の温度変化に関係していることがわかり、これはスピン依存ペルチェ効果によって発生した熱流が検出端子の温度変化を誘発していることを強く示唆している。得られた信号と CFA-Cu の相対ゼーベック係数のデータから検出端子の温度変化は 0.5mK 程度であることが分かった。

加えて発表では他の強磁性金属でのスピン依存ペルチェ信号とその温度依存性について報告する。

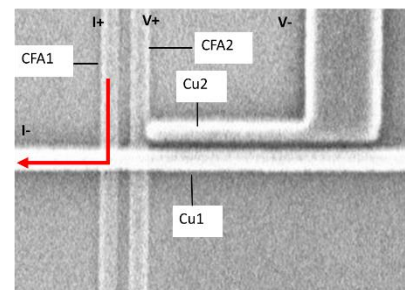


Fig.1 the lateral spin valve structure

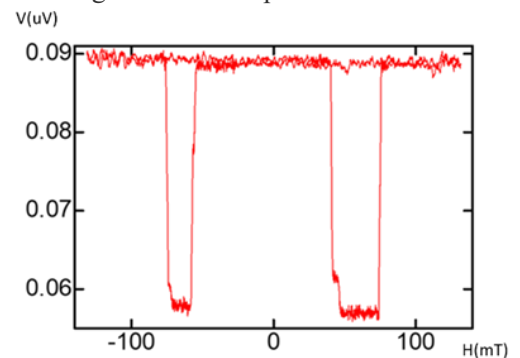


Fig.2 spin-dependent Peltier signal on 20K

参考文献

- J. Flipse, F. L. Bakker, A. Slachter, nature nanotechnology, Vol.7, p.166-168 (2012)
A. Slachter, F. L. Bakker, B. J. van Wees, Phys. Rev. 84, 174408 (2011)