

Ag/Bi₂O₃ 界面誘起スピン流-電流変換

物質系専攻 126010 軽部 修太郎
指導教員：大谷 義近（教授）

キーワード：スピン流、スピン流-電流変換、ラシュバ効果、スピンプンピング

【背景および目的】

スピントロニクスにおけるスピン依存伝導に関する研究は、1988年に報告された巨大磁気抵抗効果の発見を契機に急速に発展し、現在では基礎のみならず産業応用まで幅広く遂行されている。中でも実効的な電荷の流れを伴わないスピン角運動量のみの流れであるスピン流は、省エネルギーな次世代デバイスへの応用が期待されている。このスピン流は、金属や半導体中のスピン軌道相互作用を介して、電流に変換される。この現象を逆スピンホール効果と呼ぶ。近年、バルク由来のスピン流-電流変換以外にも、ラシュバ効果が存在する系におけるスピン流-電流変換の実験的検証が注目を集めている[1,2]。そこで本研究では、非磁性体/酸化物界面のラシュバ効果によるスピン流-電流変換を期待して実験を行った。

【実験方法】

本研究では、ラシュバ効果が発現している系でのスピン流-電流変換の観測を目的に実験を行った。測定試料には、Ni₈₀Fe₂₀(Py)(5 nm)/Ag(wedge: 1.9-12.2 nm)/(Bi₂O₃ or Al₂O₃)(10 nm)三層構造で長さ $L = 3$ mm, 幅 $w = 5$ μ m の細線を用意した。測定は全て室温で行った。金属/酸化物界面は、ラシュバ効果を発現することが理論的に知られている[3]。この界面に、強磁性体 Py の磁化ダイナミクスを利用したスピンプンピング法によりスピン流生成およびスピン流注入を行った。図 1 に素子断面図と測定回路を示す。

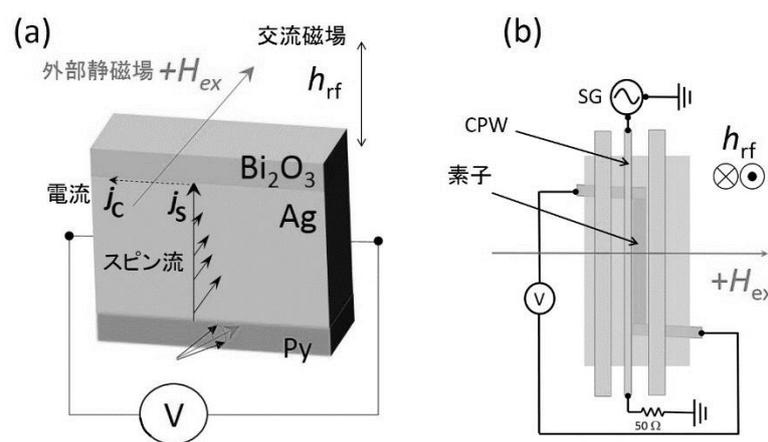


図 1 (a) 素子断面図 (b) 測定回路

三層構造をもつ細線試料の作製には、フォトリソグラフィーによるレジストのパターニング、電子線加熱蒸着による成膜、およびリフトオフ法を用いて行った。測定

手順は、まず外部静磁場 H_{ex} により Py の磁化を磁場方向に向かせる。その後、図 1(b) のコプレーナウェーブガイド(CPW)に rf 電流を流し、細線素子回りの交流磁場 h_{rf} を発生させ、Py の強磁性共鳴を励起する。 H_{ex} が Py の共鳴磁場になったとき、最も効率的にスピンプンピングされスピンプン流が Ag 中に注入される。注入されたスピンプン流は図 1(a)のように Ag 中を伝搬し Ag/Bi₂O₃界面に到達する。界面において、スピンプン流-電流変換が行われた場合、素子の両端に直流電圧を観測することができる。

【結果および考察】

Py/Ag(1.9 nm)/(Bi₂O₃ or Al₂O₃)の試料に、入力電力 0.05 mW、周波数 9 GHz の rf 電流を印加した時の測定結果を図 2 に示す。実線が Bi₂O₃、破線が Al₂O₃ の場合の結果である。Bi₂O₃ では、外部磁場 $H_{ex} = \pm 1050$ Oe 付近でローレンツ型のスペクトルの観測に成功した。出力電圧の符号から、スピンプン流-電流変換の効率 j_c/j_s は正であることがわかった。

この系では、変換メカニズムとして、1)Ag 中に Bi が拡散してできる AgBi 合金中でのスピンプン流-電流変換と 2) Ag/Bi₂O₃ 界面誘起のスピンプン流-電流変換の 2 つが考えられる。1)が支配的な場合、 j_c/j_s が負になることが、非局所スピンプンバルブにおけるスピンプン吸収の実験から明らかにされている[4]。そのため、今回検出した電圧は Ag/Bi₂O₃ 界面でのスピンプン流-電流変換によるものと予想される。

次に Py の歳差運動に起因した結果であることを確かめるために、印加周波数と共鳴磁場の関係を調べた。図 3(a)にその結果を示す。印加周波数と共鳴磁場の関係を Kittel の式で解析した結果、飽和磁化 $4\pi M_s$ が 0.87 T であることが分かった。この値は、SQUID で測定した値とほぼ一致していることから、検出された電圧が Py の FMR によって励起されたものであることが分かった。

また図 3(b)に検出電圧の入力電力依存性を示す。スピンプンポンピング法では、生成されるスピンプン流が入力電力に比例することが、実験的にも理論的にも知られている。そのため、図 3(b)の結果から、スピンプン流と検出電圧には比例関係があ

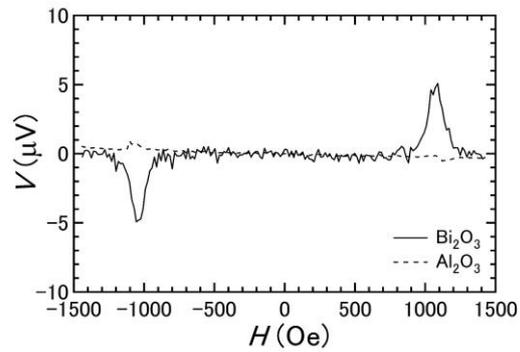


図 2 Py/Ag/ (Bi₂O₃ or Al₂O₃) に対してスピンプンポンピングを行い観測された DC 電圧の概形

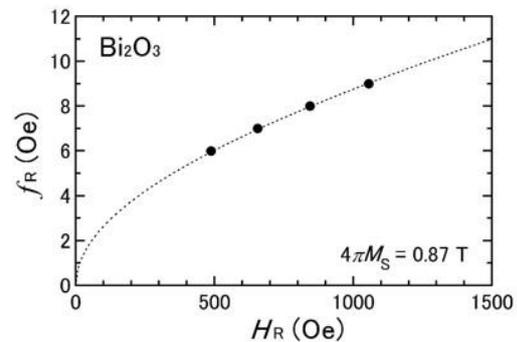


図 3(a) 印加周波数と共鳴磁場の関係

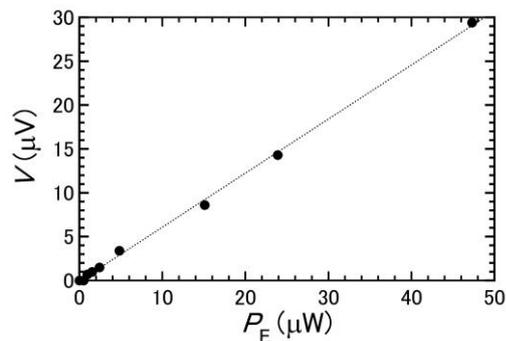


図 3(b) 検出電圧の入力電力依存性

ることを明確に示せた。

最後にスピン流-電流変換効率 j_c/j_s のAgの膜厚依存性を示す。まず検出された電流密度 j_c は、検出電圧、素子抵抗、素子幅、および膜厚を用いて算出した。図4(a)のようにAg膜厚の増加に伴い、 j_c が減少していくことが分かった。また注入したスピン流密度のAg膜厚依存性は図4(b)に示した。この j_c と j_s を用いてスピン流-電流変換効率 j_c/j_s を算出し、図4(c)にAg膜厚依存性を示した。 j_c/j_s はAg膜厚が減少するにつれて増加することが分かった。AgやAgBi合金などのバルクで、スピン流-電流変換が起こっている場合、この変換効率はAgの膜厚に対して一定になるはずである。しかし、ここで示したようにAgが薄いほど変換効率が大きくなっていることから、Ag/Bi₂O₃界面でスピン流-電流変換が起こっていると考えられる。

【まとめ】

本研究では、スピンプンピング法を用いたAg/Bi₂O₃界面誘起のスピン流-電流変換の観測に成功した。周波数依存性や入力電力依存性を調べることによって、スピン流注入を反映した結果を得ていることを確認した。また変換効率の符号が正であること、検出電流密度が膜厚依存性を持つことから、Ag中ではなくAg/Bi₂O₃界面誘起のスピン流-電流変換であることを明確にした。

【参考文献】

- [1] S. D. Ganichev *et al*, Nature, 417, 153 (2002).
- [2] J.C. Rojas Sánchez *et al*, Nature Commun. 4, 2944 (2013).
- [3] X. Wang *et al*, Phys. Rev. B, 87, 081407 (2013)
- [4] 川西庸平, 本学修士論文 (2012).

【論文】

- [1] H. Idzuchi, S. Karube, Y. Fukuma, T. Aoki, and Y. Otani, Appl. Phys. Lett. 103, 162403 (2013).

【学会発表】

国際学会 1 件、国内学会 4 件 (内口頭 2 件)

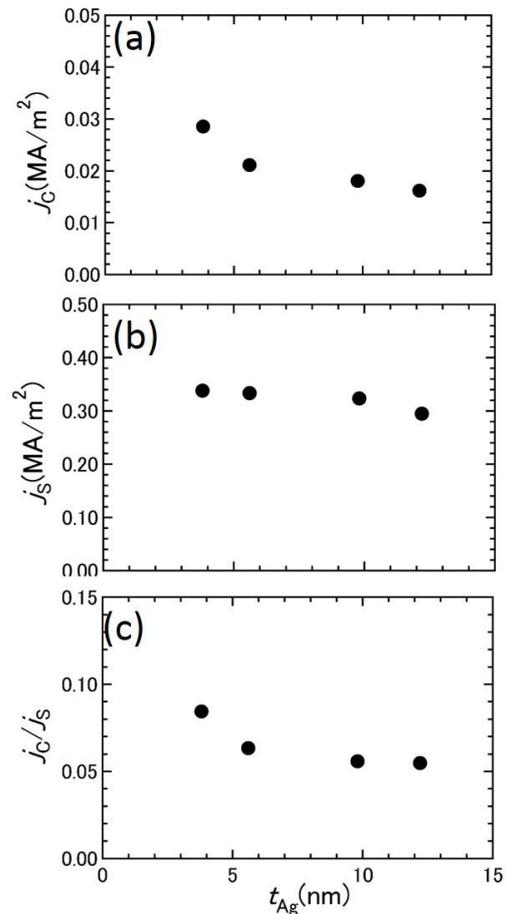


図4 各膜厚依存性 (a)検出電流密度(b)スピン流密度(c)スピン流-電流変換効率