

表面弾性波の渦度を用いて生成したスピンの定量解析

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(spin 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の櫛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。

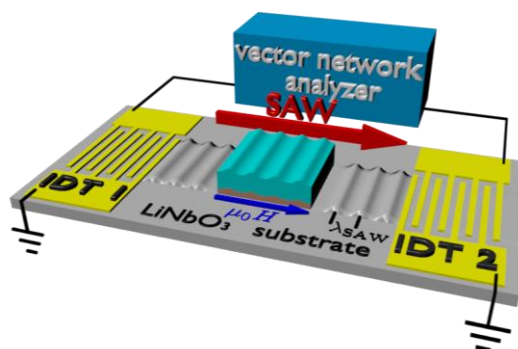


図1 SAWによって生成されたスピン流によるスピン波励起の測定系。

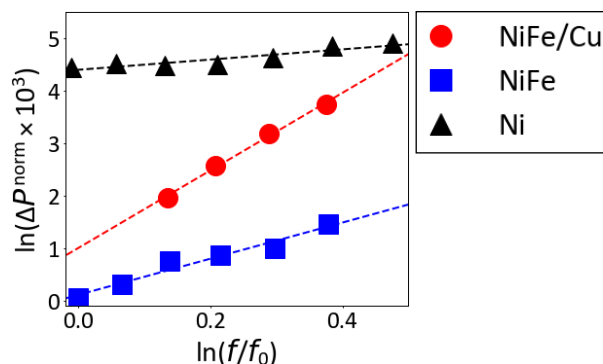


図2 NiFe/Cu二層膜、及びNiFe, Ni単層でのマイクロ波吸収強度の周波数依存性。

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)