

L1₀型磁性合金のスピン異常ホール効果に関する第一原理計算

三浦 良雄, 名和 憲嗣, 増田 啓介
(物質・材料研究機構)

A first-principles study on spin anomalous Hall effect of L1₀-type magnetic alloys

Yoshio Miura, Kenji Nawa, and Keisuke Masuda
(NIMS)

[背景]

近年、スピン軌道相互作用に起因するトルク(スピン軌道トルク:SOT)を用いた電流誘起の磁化反転がスピンメモリにおける有効な書き込み手段として盛んに研究されている[1]。SOTは磁気接合の強磁性層に隣接した非磁性金属層にスピンホール効果(SHE)によってスピン流を生じさせ、強磁性層にスピン注入することにより強磁性体の磁化にトルクを与える。SOTによる磁化反転は、スピントランスファートルクによる磁化反転よりも高速な磁化反転が期待できる一方で、強磁性層に注入されるスピン量子化軸の向き、及び強磁性層の磁化に与えるトルクの向きが電流方向や強磁性層の磁気異方性などに依存するため、デバイス構造に制約を受ける。そこで、強磁性金属におけるスピンホール効果(スピン異常ホール効果:SAHE)を利用した新しいスピン軌道トルクを用いた磁化反転が理論的に提案されている[2,3]。この手法では、強磁性層に電流を流してその垂直方向に発生するSAHEによって、非磁性層を挟んだもう一方の強磁性層にスピン流を注入し、トルクを発生させて磁化反転を行う。SAHEを用いた磁化反転の利点は、注入するスピン流のスピン量子化軸の向き、及び他方の強磁性層の磁化に与えるトルクの向きがSAHEを発現する強磁性層の磁化の向きによって制御可能なことである。先行の理論研究[2]では、SAHEによって大きなSOTを得るためには、強磁性層のスピン異常ホール伝導度(SAHC: $\sigma_{xy}^{\text{spin}}$)と異常ホール伝導度(AHC: σ_{xy})の比 $\zeta = \sigma_{xy}^{\text{spin}} / \sigma_{xy}$ を大きくすることが重要であると指摘されている。そこで本研究では第一原理計算により内因性のSAHCとAHCを理論解析し大きな $\zeta = \sigma_{xy}^{\text{spin}} / \sigma_{xy}$ を得るための指針を明らかにする。

[結果]

内因性のSAHCおよびAHCは線形応答理論に基づいて第一原理計算を行い、強磁性層として大きな磁気異方性を有するL1₀型のFePtおよびFeAu合金に着目した。この計算では磁化はz軸方向に固定し、通常の電流はx方向、ホール電流はy方向に流れるものとしている。

Fig. 1にスピン分解したホール伝導度の計算結果を示す。

ここで、AHCは $\sigma_{xy} = \sigma_{xy}^{\uparrow\uparrow} + \sigma_{xy}^{\downarrow\downarrow} + \sigma_{xy}^{\uparrow\downarrow} + \sigma_{xy}^{\downarrow\uparrow}$ で、SAHCは $\sigma_{xy}^{\text{spin}} = \sigma_{xy}^{\uparrow\uparrow} - \sigma_{xy}^{\downarrow\downarrow}$ で与えられる。Fig.1よりL1₀-FePtのAHCは $\sigma_{xy} = 761 [\text{S/cm}]$, SAHCは $\sigma_{xy}^{\text{spin}} = 498 [\text{S/cm}]$ であるため、その比 $\zeta = \sigma_{xy}^{\text{spin}} / \sigma_{xy}$ は1より小さい。これはFePtの↓

スピン電子がPtの大きなスピン軌道相互作用によりスピン反転散乱を受けて $\sigma_{xy}^{\downarrow\downarrow}$ が負に減少し、代わりに $\sigma_{xy}^{\uparrow\uparrow}$ が正に増加したためと考えられる。一方FeAuのSAHCは $\sigma_{xy}^{\text{spin}} = 472 [\text{S/cm}]$ でありこれはAHC $\sigma_{xy} = 79 [\text{S/cm}]$ より大きく、よってその比は $\zeta = 5.9$ と1を大きく超える。これはFeAuの↑スピン電子の状態密度がフェルミ準位付近で小さいためスピン反転散乱が抑制され $\sigma_{xy}^{\downarrow\downarrow}$ が負に増加したためであると考えられる。本研究は、文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(S) (JP16H06332)の助成を受けて行われた。

参考文献

- 1) Miron, *et al.*, Nature **476**, 189 (2011).
- 2) Taniguchi, *et al.*, Phys. Rev. Appl. **3**, 044001 (2015).
- 3) S. Iihama, *et al.*, Nature electronics **1**, 120-123 (2018).

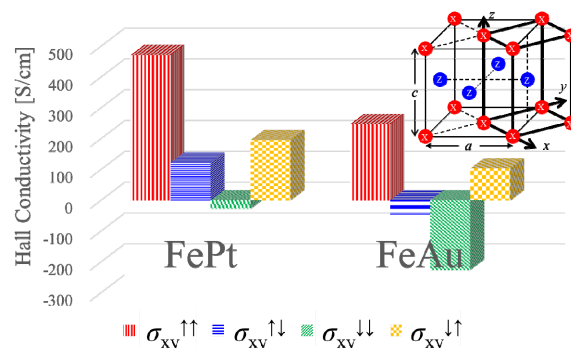


Fig.1: Spin-resolved anomalous Hall conductivity of L1₀-FePt and FeAu.