

学位論文の要約

題目 フェリ磁性薄膜を用いた磁化ダイナミクス

氏名 西村 幸恵

序論

電子の持つ自由度のうち、スピントロニクス分野では電荷とスピンを扱う。スピンは約 100 年も前に発見されたが、スピン拡散長は $1 \mu\text{m}$ ほどしかなく、スピンを対象とする研究は困難であった。しかし 1980 年頃から、真空技術や成膜技術の発展により、金属人工格子を始めとするナノスケールで物質を制御する技術が開発され、スピンを研究対象として扱うことができるようになった。そして、巨大磁気抵抗効果の発見によりハードディスクドライブ技術へ応用され、磁気メモリの開発のためにスピントロニクス分野は注目されている。

希土類(RE : Rare Earth)-遷移金属(TM : Transition Metal)フェリ磁性体では、2つの非等価な副格子の磁気モーメントが反強磁性結合している。RE と TM は、異なる磁気モーメントと異なるランダウの g 因子を持つため、RE-TM フェリ磁性体は、磁化補償温度 T_M と角運動量補償温度 T_A の2つの特殊な温度を持つ。 T_M (T_A) では、RE と TM の磁気モーメント (角運動量) が互いに相殺され、正味の磁気モーメント (角運動量) は消失する。これまでのスピントロニクス領域の研究では強磁性体を用いた報告が多かったが、このようにフェリ磁性体は強磁性体や反強磁性体とは異なる特性があるため、磁化反転に要するエネルギーを小さくすることができ、次世代高速スピントロニクスデバイス材料の候補として魅力的である。以下ではフェリ磁性多層膜の作製およびジャロシンスキー-守谷相互作用とスピン軌道トルクの測定について報告する。

1. 空間反転対称性の破れた Co/Gd/Pt フェリ磁性多層膜の作製

これまで、フェリ磁性体特有の補償温度に関連した興味深い報告が数多くなされているが、そのほとんどはアモルファス合金に焦点を合わせている。一方で近年、空間反転対称性の破れが界面におけるスピン軌道トルク(SOT : spin orbit torque)やジャロシンスキー-守谷相互作用(DMI : Dzyaloshinskii-Moriya interaction)などの新しい現象につながることを示された。そこで、本研究では空間反転対称性の破れた構造を持つフェリ磁性体に着目した。

本研究では、DC マグネトロンスパッタを用いて空間反転対称性の破れたフェリ磁性体 Si/SiO₂ sub./Ta(5)/Pt(3)/[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]_N/Ta(3) (unit : nm)多層膜を作製した。[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]を 1 ユニットとし積層回数を $1 \leq N \leq 50$ まで変化させた。[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]ユニットと全体の膜厚に対応した X 線反射率プロファイルが得られた。また、透過電子顕微鏡の観察結果から Gd と Pt が合金化していることが分かったが、この混合層は元素分布が一様でなく、系全体の空間反転対称性が破れていることが示唆された。SQUID による磁気特性評価の結果、すべての薄膜は RE-TM フェリ磁性体に特有の磁化補償温度 T_M を持ち、また、垂直磁気異方性を示した。 $N < 20$ の面直方向の測定では典型的な垂直磁化膜が示す角型のヒステリシスループが確認された。一方、 $20 \leq N$ では徐々に反転する様子が確認され、磁場印加によって多磁区構造を形成することを反映したヒステリシスループになった。これは N が大きくなるほど反磁場が強く働くためであると考えられる。 T_M は N が大きくなるにつれて同様に大きくなる挙動を示し、 $20 \leq N$ で $T_M \sim 210$ K となった。Co の磁化、Gd の磁化を分離して考え、さらに、[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]ユニット中の Co と下地層 Pt と接する Co の磁化が異なると仮定して計算したところ、測定結果と良い一致を示した。また、MOKE 顕微鏡を用いて $N = 50$ の垂直磁場掃引による磁区変化を観察した。その結果、磁場掃引に対応して磁区幅が変化する様子が観察された。この結果から、積層回数を制御する事によって磁気特性を系統的に制御可能であることが示された。

2. Co/Gd/Pt フェリ磁性多層膜におけるジャロシンスキー守谷相互作用とスピン軌道トルク

重金属(HM : Heavy Metal)と強磁性金属(FM : Ferromagnetic Metal)の界面では空間反転対称性が破れており、界面 DMI が生じる。DMI は磁気スキルミオンや Néel 磁壁などのキラルなスピン構造の形成に重要な役割を果たす。また、スピン軌道相互作用の大きな HM では薄膜面内方向の電流はスピン流に変換され、隣接する強磁性層に注入される。このようなスピン流は、強磁性体の磁気モーメントにスピン軌道トルク(SOT)を与えることができる。これら 2 つの効果は低電流密度でのメモリ駆動、メモリデバイスの高密度化・安定性のために重要であると考えられているため、これらを制御することが重要である。

本研究では、先に作製した Co/Gd/Pt フェリ磁性多層膜を用いて、[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]ユニット数を $1 \leq N \leq 5$ まで変化させ、DMI と SOT の変化を系統的に調査した。 N が大きいほど SOT 効率 ε_{SOT} の最大値、DMI による有効磁場 $\mu_0 H_{\text{DMI}}$ ともに単調に減少した。 $\varepsilon_{\text{SOT,sat}}$ と $\mu_0 H_{\text{DMI}}$ の減少傾向の理由を考察するために、スピンホール角 θ_{SH} と DMI

定数 D を計算したところ、どちらも N に依存せずほぼ一定値であることが分かった。これは、[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]中のそれぞれの上下界面での作用が互いに打ち消しあつてしまい、正味の寄与は下地層およびキャップ層との界面のみであるためであると考察した。