

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	西村 幸恵
論文題目	フェリ磁性薄膜を用いた磁化ダイナミクス		
(論文内容の要旨)			
<p>希土類 (RE) -遷移金属 (TM) 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されているが、そのほとんどはアモルファス薄膜に焦点を合わせている。一方、これまでの研究では界面における空間反転対称性の破れがスピン軌道トルク (SOT : spin orbit torque) やジャロシンスキー-守谷相互作用 (DMI : Dzyaloshinskii-Moriya interaction) などの現象につながることから界面が重視されてきた。そこで、人工的に空間反転対称性の破れた多層膜構造を作製し、DMI・SOTに関する研究を行った。</p> <p>本論文の1つ目の研究課題は「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」である。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/SiO<sub>2</sub> sub./Ta(5)/Pt(3)/[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]<sub>N</sub>/Ta(3) (unit : nm)多層膜 (1 ≤ N ≤ 50) を作製した。X線プロファイルと透過電子顕微鏡の観察結果から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<sub>M</sub>を持ち、また、垂直磁気異方性を示した。また、Nの増加に伴って磁気特性の変化が見られた。そこで、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。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唆された。</p> <p>本論文の2つ目の研究課題は「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」である。本研究では、先の研究で作製した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 ≤ N ≤ 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<sub>SOT</sub>の最大値、DMIによる有効磁場μ<sub>0</sub>H<sub>DMI</sub>ともに単調に減少した。ε<sub>SOT,sat</sub>とμ<sub>0</sub>H<sub>DMI</sub>の減少傾向の理由を考察するために、スピンホール角θ<sub>SH</sub>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。DMI定数Dが変化しない理由はユニット数の増加が磁性層の厚さの増加と同義であるためであると考察した。また、スピンホール角θ<sub>SH</sub>が変化しない理由は各々の界面から上下方向に生じるSOTが打ち消しあつてしまい、正味の寄与は下地層、キャップ層のみであるためであると考察した。</p> <p>本論文の3つ目の研究課題は「フェリ磁性体GdFeCoを用いた磁場駆動磁壁ダイナミクスにおける磁気特性とデピニング磁場の相関」である。磁性材料の磁壁ダイナミクスは基礎物理への理解やデバイス応用のために広範囲で調査されてきたが、フェリ磁性体では報告例が少ない。そこで、フェリ磁性体GdFeCoにおける磁壁のデピニング磁場と磁気特性の関係について実験的に検証を行った。温度変化によってデピニング磁場μ<sub>0</sub>H<sub>dep</sub>が変化することを発見し、磁化測定の結果、デピニング磁場μ<sub>0</sub>H<sub>dep</sub>は飽和磁化の逆数1/M<sub>s</sub>と相関があることが示唆された。ここで、クリープスケールリング則を考慮したところ、デピニング磁場μ<sub>0</sub>H<sub>dep</sub>と(μ<sub>0</sub>H<sub>K</sub>/M<sub>s</sub>)<sup>1/2</sup>の関係性が説明された。さらに異なる磁気特性を持つ薄膜を用いて検証を行い、この関係性の一般性が示された。</p>			

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

本論文は「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」、「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」及び「フェリ磁性体GdFeCoを用いた磁場駆動磁壁ダイナミクスにおける磁気特性とデピニング磁場の相関」の3つの内容で構成されている。

「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」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/SiO<sub>2</sub> sub./Ta(5)/Pt(3)/[Co(0.5)/Gd (1)/Pt (1)]<sub>N</sub>/Ta(3) (unit : nm)多層膜 ( $1 \leq N \leq 50$ ) を作製し、その構造及び磁気特性を評価した。X線プロファイルと透過電子顕微鏡の観察結果から設計通りの空間反転対称性が破れた試料構造が示唆された。SQUIDによる磁気特性評価の結果、すべての薄膜はRE-TMフェリ磁性体であること、 $N$ の増加に伴う磁気特性の変化が示された。この理由について、界面の違いによる磁化の大きさの違いとして妥当な考察がされている。

「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」では、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、磁壁移動現象からDMIとSOTの変化を系統的に調査した。DMI定数 $D$ 、スピンホール角 $\theta_{SH}$ ともに $N$ に依存せず一定値であることが実験的に示された。 $N$ の増加により磁性層の厚さも増加することからDMI定数 $D$ が変化しない理由を示した。また、スピンホール効果によるスピン流が界面に影響する方向からスピンホール角 $\theta_{SH}$ が変化しない理由を示した。

これら2つの研究結果は、人工的に空間反転対称性の破れた多層膜を作製し、DMIとSOTの変化を測定したものであるが、 $N$ を増加させることでDMI・SOTが増加するという予想通りの結果にはならなかった。しかし、空間反転対称性を破るために界面に着目した研究が報告されている中で、薄膜全体で人工的に空間反転対称性を破る多層膜構造を作製するという新たな視点に重要性があり、また、近年注目されている反強磁性スピントロニクスの発展に有用な知見を含んでいる。この結果は、電子やスピンの拡散長を考慮し、界面の粗さ・HM/TMの膜厚比などを変化させることによって人工的に作製した空間反転対称性の破れた多層膜のバンド構造が変化することを示唆したものであり、今後の材料設計に影響を与えることが期待される。

「フェリ磁性体GdFeCoを用いた磁場駆動磁壁ダイナミクスにおける磁気特性とデピニング磁場の相関」では、フェリ磁性体GdFeCoを用いた磁壁のデピニング磁場と磁気特性の相関を調査する研究を行った。クリープ則に基づく、デピニング磁場 $\mu_0 H_{dep}$ と $(\mu_0 H_K / Ms)^{1/2}$ の関係式が説明された。この発見は、磁壁ベースのデバイス作製および性能向上の際にピニングに関する最適な設計への寄与が期待される。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降