

学位論文の要約

題目 磁気コンプトン散乱による GdFe フェリ磁性合金の補償温度評価および Tb/CoFeB 人工フェリ磁性体における磁壁クリープ現象の研究

氏名 平田 雄翔

序論

現在、磁気記録として広く使用されているハードディスクドライブには、記録密度を向上させるため、垂直磁化膜が使用されている。本研究で扱った遷移金属-希土類元素合金は、代表的な垂直磁気材料の一つであり、1980~1990年代には光磁気ディスクの材料として用いられていた。一方、角型比の高い垂直磁化膜は保磁力が大きいため、スイッチング磁場の低減が課題である。スイッチング磁場を低減するためには、これらの材料における磁化反転機構を明らかにする必要がある。興味深いことに、これらの磁性体における磁化のスイッチングは、内部の磁化が一斉に反転するのではなく、一部の磁化まず反転し(核生成)、次に反転した領域が全体に広がっていく(磁壁移動)という過程を経る。ここで、同じ向きに磁化が揃った領域を磁区、磁区と磁区の境界領域を磁壁と呼ぶ。したがって、磁壁移動機構を明らかにすることは、磁化反転挙動を解明し、スイッチング磁場を低減する上でも重要な課題であると言える②。

さらに、これらの遷移金属-希土類元素合金は、遷移金属元素と希土類元素の磁化が反平行に配列した構造を持つため、これに起因した反強磁性的な高速磁化ダイナミクスが観測され、近年注目を集めている。この高速な磁化ダイナミクスは特に、角運動量補償温度と呼ばれる、それぞれの磁化の持つ角運動量が等しくなる温度において特に強く観測されることが知られている。この高速磁化ダイナミクスに関する機構を解明し、さらにデバイスへ応用するためには、これらの材料における微視的な磁気特性の理解が不可欠である。特に、各元素の角運動量が等しくなる角運動量補償温度は一般に評価が難しく、報告例は限られている①。

上記のような背景から本研究では、①フェリ磁性合金における微視的な磁気特性の解明、及び補償温度評価方法の提案、ならびに②フェリ磁性体における磁場駆動磁壁移動機構の解明を目的として、以下の課題 1、2 に関して研究を行った。

1. 磁気コンプトン散乱による GdFe フェリ磁性合金の補償温度評価

近年、今井らによって、バーネット効果を用いて遷移金属-希土類元素フェリ磁性体の $\text{Ho}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ における角運動量補償温度を評価する手法が報告された。これは、実際に磁性体を回転させることで角運動量を与える手法であるが、元素別、あるいはスピン、軌道別の磁気モーメントに関する情報が不足している。これらの磁気特性は材料設計上、及び磁化反転機構の解明においても重要な情報である。そこで、本研究では、元素別、スピン、軌道別の磁気モーメントの温度依存性を明らかにし、それらを元に角運動量補償温度を評価することを目的として実験を行った。

本実験では Al 箔基板上にスパッタされた $\text{Gd}_{22.5}\text{Fe}_{77.5}$ 試料を用いた。まず、 $\text{Gd}_{22.5}\text{Fe}_{77.5}$ 試料の全磁気モーメントの温度依存性及びキュリー温度 $T_C = 520 \text{ K}$ 、磁化補償温度 $T_M = 131 \text{ K}$ を SQUID 測定により決定した。次に、同試料を用いて SPring-8 の Beam Line08 において 10 K から 289 K の温度範囲において、磁気コンプトン散乱測定を行った。磁気コンプトンプロファイルの強度は物質中の磁性電子の数に比例しており、解析からスピン磁気モーメントを選択的に算出することができる。さらに、得られた磁気コンプトンプロファイルが構成元素の Gd 及び Fe 元素のプロファイルの重ね合わせで表されることから、各温度において得られた GdFe の磁気コンプトンプロファイルをフィッティングし、Gd の寄与と Fe 元素の寄与を分離した。これにより、各温度における Gd 元素と Fe 元素のスピン磁気モーメントの値を得た。この結果、各元素のスピン磁気モーメントが補償するスピン磁気補償温度は $207 \pm 5 \text{ K}$ であり、SQUID 測定から得られた磁化補償温度 131 K と大きく異なることが明らかになった。さらに、各温度における Fe 元素のスピン磁気モーメントの値と、全磁気モーメントの差分から、Fe の軌道磁気モーメントを算出した。こうして得られた Fe のスピン磁気モーメント及び軌道磁気モーメントから Fe の g 因子の値を見積もり、得られた値を用いて角運動量補償温度 T_A を評価した。この結果、角運動量補償温度 T_A は $202 \pm 2 \text{ K}$ であることが分かった。これらの結果から、 $\text{Gd}_{22.5}\text{Fe}_{77.5}$ においてはスピン磁気補償温度と角運動量補償温度が非常に近いことが分かった。これは結晶中の Fe の軌道磁気モーメントが凍結しており非常に小さいという事実と整合性があり、得られた補償温度の妥当性を示唆している。

本研究は、遷移金属-希土類元素フェリ磁性合金の角運動量補償温度近傍における、スピン、軌道別、元素別のミクロスコピックな磁気モーメントの温度依存性を明らかにし、また、磁気コンプトン散乱測定が角運動量補償温度の評価手法として有効であることを示唆したという点において意味を持つ。

2. Tb/CoFeB 人工フェリ磁性体における磁壁クリープ現象の解明

これまで、磁壁が試料中の欠陥や結晶粒界等によるピンニングよりも大きな駆動磁場によって移動する場合(フロー領域)においては、角運動量補償温度において磁壁速度が非常に高

速になることが遷移金属-希土類元素フェリ磁性体において知られていた。しかし、外部磁場が弱く、磁壁が熱活性エネルギーによって確率的にピニングサイトから抜け出し、またピニングサイトに留まるという過程を繰り返しながら移動する場合(クリープ領域)の振る舞いは明らかになっていなかった。そこで本研究では、Tb/CoFeB/MgO 人工フェリ磁性体中の磁壁クリープ移動現象を明らかにし、補償温度との相関を明らかにすることを目的とした。本実験では、CoFeB 層の膜厚が異なる 5 種類の Tb(5.0)/CoFeB(1.0~1.8)/MgO(1.1)試料を用いた()内の単位は nm)。まず、これらの薄膜試料を微細加工によって幅 10 μm 、長さ 200 または 400 μm の細線に加工した。次に、加工後の試料において、異常ホール抵抗及び保磁力の温度依存性を調査し、これらの試料が加工後においても磁化補償温度を有し、フェリ磁性的な磁化構造を有することを確認した。さらに、磁壁の実時間測定法を用い、これらの試料の磁場駆動磁壁速度を測定した。その結果、CoFeB 膜厚が厚く、全体膜厚が厚い試料ほど、同一磁場下における磁壁速度が速いという結果が得られた。この結果は、同様に強磁性体の Pt/Co/Pt 系試料において行われた磁壁クリープ速度の強磁性膜厚依存性の結果と異なる傾向を示している。すなわち強磁性体試料においては磁性層膜厚が薄くなるにつれて、磁壁速度が増大するのに対し、本研究から得られた結果は逆の傾向を示した。この結果について考察を行うために、Creep Scaling 則に従って得られた結果をフィッティングし、特性速度 v_0 及び Creep Scaling 定数 α の膜厚依存性を調査したところ、強磁性体を用いた先行研究においては Creep Scaling 定数 α が支配的に働いているのに対し、本研究においては特性速度 v_0 によって磁壁速度が支配的に決まっていることが明らかになった。本結果は、クリープ領域においても強磁性体と異なる磁壁の磁化ダイナミクスが存在することを示しており、フェリ磁性体における磁壁クリープ現象解明の道筋となることが期待される。