

論文内容の要旨

博士論文題目

Ru 系間接交換結合多層膜における磁性/非磁性両層の元素選択的磁気状態

氏 名

山岸 隆一郎

(論文内容の要旨)

数原子層程度の非磁性層を磁性層中に挿入することにより磁性層間に反強磁性的な間接交換結合が生じ、隣接する磁性層の磁化が反平行に配列することが知られている。中でも Ru は特に強い反強磁性簡潔交換結合を示すことが知られており、磁化のピン止め材料としてハードディスクに使われている。しかし、Ru 系間接交換結合の機構を明らかにするための体系的な研究は進んでいない。本論文では、間接交換結合を示す Co/Ru 系の磁性層だけでなく非磁性層も含めた磁性を放射光を用いて総合的に研究する手法を開発し、これを用いて、Ru 層の誘起磁性、Co 層磁化の深さ分布、磁場に直交する磁化成分も含めた Co 層のベクトル磁化過程を明らかにした。

Ru 層の伝導電子に誘起された磁性を調べるには、円偏光を用いた X 線磁気円二色性分光や共鳴 X 線磁気散乱法が適しているが、現状ではこれらの測定法を行うために必要な Ru K 吸収端 (22.1 keV) の円偏光を得ることができない。そのため、直線偏光を用いた高感度の共鳴 X 線磁気散乱法を開発することにより、円偏光を用いずに Ru 層の磁性を調べることを可能にした。これにより、Ru 層に誘起磁性が発生していることを見出した。また、K 吸収端磁気散乱振幅の大きさは Co のその 10 倍程度と評価した。Ru が大きな磁気散乱振幅を持つことが、Ru 系の強い間接交換結合の原因の一つとして示唆された。

強い間接交換結合が Co 層の磁性に与える影響を調べるため、Co/Ru 多層膜の Co K 吸収端共鳴 X 線磁気回折実験を行い、Co 層磁化の深さ分布を調べた。共鳴磁気回折法を用いると、Co 層磁化が強い間接交換結合により飽和していない状態でも、Co 層が一様に磁化された状態と、界面に磁気不活性層 (dead layer) が存在する状態を区別することができる。磁気回折強度の反射次数依存性から、Co 層磁化分布は一様であると結論した。つまり、Co 層の磁性には変化は生じていない。

反強磁性結合した磁性/非磁性/磁性三層膜のベクトル磁化過程を明らかにするために、共鳴 X 線磁気反射率ヒステリシスを測定した。三層膜の上層と下層について、磁場に平行な磁化成分、磁場と直交する磁化成分の挙動を区別して求める方向を開発し、Co/Ru/Co、Fe/Ru/Fe、Co/Ru/Fe 三層膜のベクトル磁化過程を明らかにした。磁化過程は、上層と下層の磁化が互いに逆方向に回転する磁化過程であること、各三層膜で時計回り磁区と反時計回り磁区の割合がことなることを明らかにした。

(論文審査結果の要旨)

Co/Ru/Co 膜は非常に強い反強磁性間接交換結合を示すことが知られており、その性質はハードディスクの磁気ヘッド等に利用されている。しかし、Co/Ru 系が他の系と比べて強い間接交換結合を示す理由については研究が進んでいない。本論文では、放射光を利用して Ru 層の誘起磁性、Co 層内の磁化の深さ分布、Co 層のベクトル磁化過程を研究し、Co/Ru 系の磁性を強磁性層だけでなく、非磁性層も含めて研究している。

振動的間接交換結合系の非磁性層伝導電子に誘起される微弱な磁性は、一般に、円偏光放射光を用いた X 線磁気円二色性 (XMCD) 分光や共鳴 X 線磁気散乱 (RXMS) 法を用いて調べられている。Ru 伝導電子の磁性を調べるためには、Ru K 吸収端 (22.1 keV) の X 線を用いて XMCD や RXMS を測定するのが有効な研究法と考えられるが、現状ではこのエネルギーの円偏光放射光を得ることができない。本論文では、直線偏光を用いた高感度の共鳴 X 線磁気散乱法を開発することにより、円偏光を用いずに Ru 層の磁性を調べることを可能にした。これにより、Ru 層に誘起磁性が発生していることを見出した。また、誘起磁性の強さの目安である K 吸収端共鳴磁気散乱振幅は Co のそれと比べて 10 倍程度大きいことを示唆する結果を得ており、強い間接交換結合発現の原因の一端を明らかにしている。

強い間接交換結合の発現は Co 層の磁性に影響を与える可能性がある。しかし、Co/Ru 系は確実に磁化を飽和させることが困難であるため、飽和磁化値から Co 界面層に磁気不活性層 (dead layer) が存在するかどうかを判断するのが困難である。本論文では、Co/Ru 多層膜の Co K 吸収端磁気回折強度の反射次数依存性が、Co 層が飽和しているかどうかにかかわらず、Co 層が一様に磁化されている場合と、dead layer が存在する場合で異なることを利用して、Co 層内の磁化分布を調べ、Co 層磁化分布は一樣であると結論している。

反強磁性結合した Co/Ru/Co 膜などの磁化過程は、単純なモデル計算から Co 上層と Co 下層が互いに逆方向に回転する磁化過程が提唱されている。これを実験的に確認するためには、磁場に平行な磁化成分だけでなく磁場と直交する磁化成分も含めて、Co 上層と下層を区別して測定することが必要となる。直交磁化成分は、上層磁化と下層磁化の和がゼロになるため、通常の方法では測定することができない。本論文では、Co K 吸収端磁気反射率ヒステリシス測定から Co 上下層の磁化を区別してベクトル磁化過程を求める方法を見出し、回転磁化過程を検証している。また、モデルでは決めることのできない、反時計回り磁区と時計回り磁区の割合を評価している。同様の測定を Fe/Ru/Fe および Co/Ru/Fe 膜についても行い、磁化過程の相違を明らかにしている。

以上のように、本論文は、放射光を用いて間接交換結合系の磁性を研究する手法を開発し、従来法では測定できなかった Co 層や Ru 層の磁気特性を明らかにしている。このような手法は他の系にも適用することが可能であり、今後、この分野の研究の進展に寄与すると考えられる。また、得られた結果は、Co/Ru 系が強い間接交換結合を示す原因の一端を示しており学術的にも意義がある。よって、審査委員一同は本論文が博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認めた。