

論文内容の要旨

博士論文題目 振動的間接交換結合を示す磁性/非磁性多層膜の非磁性層
伝導電子に誘起された磁気構造

氏名 上垣 伸

(論文内容の要旨)

ナノメートルオーダーの磁性層と非磁性層が交互に積層した磁性/非磁性多層膜のなかには、非磁性層の膜厚を変化させると、隣接する二つの強磁性層の磁化配列が反平行-平行と周期的に変化する系がある。この現象は振動的間接交換結合と呼ばれている。振動的間接交換結合の発現機構は理論的に量子井戸モデルや RKKY モデル等で説明されている。これらのモデルは非磁性層の伝導電子に磁気分極が誘起される可能性を示唆している。したがって、非磁性層に誘起された磁気構造を実験的に調べることにより振動的間接交換結合に対する理論モデルを検証することができる。一般に非磁性層の誘起磁性を実験的に調べることは容易ではないが、本論文では元素選択的な磁気構造の決定が可能な共鳴 X 線磁気散乱法を用いて典型的な振動的間接交換結合を示す Fe/Au(001)および Co/Cu(111)多層膜の非磁性層に誘起された磁気構造を決定した。Fe/Au 系では Au L₃ 吸収端で実験を行い、局在性の強い Au 5d 電子の誘起磁性を調べている。Co/Cu 系では Cu K 吸収端での測定により、自由電子に近い Cu 4p 伝導電子の誘起磁性を調べている。

Fe/Au 系の研究では、金属 MBE 法で作製した反強磁性間接交換結合を示すエピタキシャル Fe/Au(001)超格子を試料とした。既に小角領域の Au L₃ 吸収端共鳴 X 線磁気反射率測定により Au 層 5d 電子の誘起磁化分布は界面に集中した成分と内部層まで一様に分布した成分の和で与えられることが分かっている (大河内モデル)。本研究では、超格子構造に由来する高角領域の磁気衛星反射プロファイルを詳細に解析することにより、先行研究より分解能の高い誘起磁化分布を求めた。高角領域では Au 層誘起磁化による共鳴磁気散乱に加えて、Fe 層 3d 磁気モーメントからの非共鳴磁気散乱の寄与も無視できないので、両者を合わせて解析することにより Au 層 5d 電子の誘起磁気構造を決定した。得られた Au 層磁気構造は小角領域から求めた大河内モデルと概ね一致した。高角磁気回折測定は磁気構造に対する分解能が高いため誘起磁気構造に短周期の変調が存在するか否かを定めることが可能である。解析結果は短周期変調の存在を否定している。これは、単純な RKKY モデルを否定する結果である。

Co/Cu 系の研究はスパッタ法で作製した強磁性結合および反強磁性結合を示す Co/Cu(111)超格子を対象とした。Cu K 吸収端小角磁気反射率プロファイルの解析により、Cu 層 4p 電子に誘起された磁化は比較的界面近傍に集中しており、Au 層の場合とは異なることが明らかになった。

(論文審査結果の要旨)

ナノメートルオーダーの磁性層と非磁性層が交互に積層した磁性/非磁性多層膜のなかには、非磁性層の膜厚を変化させると、隣接する二つの強磁性層の磁気モーメントの配列が反平行-平行と周期的に変化する系がある。この現象は振動的間接交換結合と呼ばれている。振動的間接交換結合の発現機構は理論的に量子井戸モデルやRKKYモデル等で説明されている。しかし、これらのモデルは磁性層や非磁性層を構成する物質のバルクの電子状態に基づいている。このため、理論モデルが現実の系にどの程度適用可能かは依然として不明である。理論モデルは空間的に変調された磁気分極が非磁性層に発生することを示唆している。本研究ではこの点に着目して、非磁性層に誘起される磁気構造から振動的間接交換結合の発現機構を明らかにすることを目指している。測定対象はFe/Au(001)およびCo/Cu(111)エピタキシャル多層膜である。

実験的に非磁性層の誘起磁性を明らかにすることは、磁性層の圧倒的に優勢な磁性のため一般に困難である。本研究では、元素選択的な磁気構造解析が可能な共鳴X線磁気散乱法を利用することによりこの困難を克服している。小角領域の磁気反射率測定は原子層ごとに変調された磁気構造を検出するに足る分解能を持たない。これに対して高角領域の磁気回折測定は短周期の磁気変調の検出が可能である。元素選択性という観点では、小角領域測定では強磁性層の正常磁気散乱は磁気散乱強度に寄与しないので、共鳴磁気散乱の元素選択性は保証されるが、高角領域測定では両者がともに磁気散乱強度に寄与するので、非磁性層の磁気構造を得るには両者を考慮した解析が必要となる。本研究では上記の特徴を適切に使い分けて、間接交換結合系の非磁性層に誘起された磁気構造を明らかにしている。

Fe/Au(001)系では、小角領域のFe K吸収端磁気反射率測定によりFe層が一様に磁化されていることを確認したうえで、高角領域のAu L₃吸収端磁気回折プロファイル解析して、Au層の誘起磁気構造が界面成分と一様成分の和で与えられることを示している。この結果は小角磁気反射率測定による先行研究の結果と一致している。また、高角領域測定が磁気構造に対する分解能が高いことを生かして、RKKYモデルに特徴的な短周期磁気変調が存在しないことを実験的に明確に示した。Co/Cu(111)系ではCu K吸収端小角磁気反射率プロファイルの解析からCu層誘起磁化は界面付近に集中しているという結果を得ている。

本研究は、高角共鳴X線磁気回折測定及びその解析が可能なことを実証し、非磁性層の精密な磁気構造を決めることに成功している。得られた結果は間接交換結合の原因を判断するための重要な知見を与えると考えられる。また、本研究で示された高角領域磁気回折法は、間接交換結合だけでなく、スピントロニクスを含むナノ磁性分野に広く応用できる。以上の点で本研究は学術的に大きな意義を有する。よって審査委員一同は本研究が博士(理学)の学位論文として価値があるものと認めた。