

氏名	はま だ すなお 濱 田 直
学位(専攻分野)	博士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2200 号
学位授与の日付	平成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科化学専攻
学位論文題目	^{57}Fe メスバウアープローブによる Co/Au 人工格子の磁性

論文調査委員 (主 査)
教授 新庄輝也 教授 高野幹夫 教授 佐藤直樹

論 文 内 容 の 要 旨

磁性層と非磁性層からなる人工格子は、新しいタイプの磁性体として基礎と応用の両面から興味を引いている。人工格子の各層厚は原子レベルで制御が可能であり、二種類の物質をどのように組み合わせるかで多様な性質を付加することができる。垂直磁気異方性をもつ人工格子は、磁気記録媒体としての可能性にも注目されており、その構造の基礎的研究は重要である。さらに巨大磁気抵抗効果が発見されて以来、磁性層にはさまれた非磁性層における磁気分極の様子の解明が重要課題となっている。本研究は、垂直磁気異方性を示す典型的な系である Co/Au 人工格子の局所的な磁性を、主として ^{57}Fe メスバウアープローブを利用して実験的に詳細に検討した内容である。Co は磁性金属の中でも強い垂直磁気異方性を示す例であり、一方 Au は典型的な非磁性金属で、スペーサー物質としてしばしば利用される。したがって本研究でえられる成果はかなり普遍性のあるものと期待できる。今回の研究でえられた成果は以下のように要約される。

1) Au (111) 層の局所的なスピン分極

Co 強磁性層スピンにはさまれた Au (111) 非磁性層の位置 (深さ) 依存した伝導電子のスピン分極状態を調べるため、 ^{57}Fe メスバウアー吸収体同位元素を原子層単位で深さ選択的に挿入した試料を作製し、そのスペクトルを測定した。その結果深さに依存した磁気緩和型のスペクトルが観測され、1 オングストロームの位置の違いがスペクトルに有意の差となって表れることを確認した。スピン分極が位置に依存して大きく異なること、原子層単位でスピン分極の大きさの差を検出できること、スピン分極は Co 層界面から Au 層中央部にいくにつれて単調に減少すること、などが明らかになった。したがって位置依存する局所的電子状態を原子層単位のレベルで分析できることが明らかになった。

2) Co/Au 人工多層膜の深さ依存した磁気構造とそのスピン配向

Co 超薄層は界面効果による垂直磁気異方性を持ち、容易磁化方向は層の厚さに依存する。Co/Au 人工格子では、Au 層の存在によって Co 層間の結合が弱められ、それぞれの Co 層の磁化が異なった方向を向くことができる。

Co/Au 人工格子内の各 Co 層の磁化の向きを調べるため、Co 層の中央部に ^{57}Fe プローブを挿入した構造を持つ多層膜を作製し、かつ多層膜中でのドーピングする磁性層を位置選択した。すなわち多層膜中の上部から中央部、下部の磁性層群にわたってそれぞれの群がドーピングされた試料を作製した。これら試料により、磁気構造の深さ依存性を調べた結果、上部または下部のほうが中央部よりも磁化の方向がより面内に近いことがわかった。外部磁場中の実験から双極子相互作用による寄与を評価した。多層膜全体としては還流型磁区構造を持ち、表面部ではスピン方向は面内に近く、一方中央部ではより垂直方向に向いていることが示された。この結果は、マイクロマグネティクスによるモデル計算が示唆する結果と一致しており、また MFM による表面付近の磁気構造の観測結果ともコンシステントであることがわかった。

3) Co/Au 人工多層膜の磁気構造の膜厚および膜数依存性

MFM、磁化曲線およびメスバウアー分光の手段を利用して、Co/Au 多層構造膜の磁気構造が Co 層厚および多層膜中の Co 層数にどのように依存するかを総合的に考察し、モデル磁気相図を提出した。層厚が変化したときに、磁気容易方向が変化するスピン再配列が示唆された。

以上のようにメスバウアープローブを局所的に配置した試料を作製することにより、磁化方向が均一でない多層構造膜における局所的磁化方向を観測することに成功した。

論文審査の結果の要旨

金属人工格子は、二種類以上の元素を原子レベルで各膜厚を制御しつつ積層して人工的な構造を与えた物質であり、多様な物性の発現を期待して種々の元素の組合せについて研究が行なわれてきたが、構造と物性の関連性はまだ十分には解明できていない。特に注目される対象は磁性層と非磁性層を組み合わせた多層構造膜であり、垂直磁化膜が実現されることや、1988年に発見された巨大磁気抵抗効果との関連性から基礎研究面のみならず、応用面でも注目される研究対象となっている。多層構造内では複雑な磁気構造が可能であり、たとえば磁化方向が一定とは限らず、深さ方向に依存する場合が予想される。しかし薄膜中で深さ方向に一様でない磁気構造を観測するための適当な実験手段はなく、従来は困難な研究課題であった。本研究ではメスバウアープローブを場所選択的に配置することにより深さ方向に依存する磁気構造の解明に成功している。

メスバウアー分光に利用する ^{57}Fe 同位元素は天然の鉄中に約2%存在し、濃縮した同位元素を利用すれば厚さとしては1オングストロームで実験可能である。本研究ではCoとAuの多層構造を取り上げている。Coは典型的強磁性金属であり、界面原子が強い界面異方性をもつことから膜の厚さによって異方性が制御できる。Auは貴金属の代表として知られ、非磁性スペーサー物質によく利用される。Co層どうしの直接の結合がAuを介することによって弱められると、隣接Co層どうしの磁化方向が同一である必要がなく、多層膜全体として還流磁区的構造が可能になる。本実験では名目的膜厚1オングストロームの厚さの ^{57}Fe をCo層中央に配置し、Co層の磁化方向を考察した。またAu層の内部に深さを変えて配置し、磁気分極の場所依存性を観測した。この結果、Co/Au多層構造において表面近傍ではスピン方向が膜内にあり、内部のCo層に行くほど垂直方向に向きを変えていることが観測された。すなわち還流型磁気構造が実現していることが確認された。この構造は理論的にマイクロマグネティックス計算を用いて考察した結果とほぼ一致していることが示された。Co層の数を1枚から次第に増やして行った場合にもスピン方向が次第に変化することが見いだされている。このように薄膜中で磁化方向が不均一な場合の構造の解明は他の手法では極めて困難であり、本研究の顕著な成果と考えられる。メスバウアー測定を詳細に注意深く行い、必要に応じて外部磁場を加えて測定し、極めて信頼性の高い結果を提出している。その結果原子核位置の内部磁場としてはごく小さい寄与である双極子相互作用による磁場の導出にも成功しているが、このような精度の高い実験の報告例は世界的にもごく限られている。

非磁性のAu層内の磁気分極の分布の様子を明らかにするために、Au層内にFeプローブを配置する研究も行ない、深さ方向に極めて感度の高い分解能があることを示している。Fe自身が磁性を持つため、この方法でAu層内の分極の検出が可能かどうかは不明であったが、1オングストロームのFe層が極めて変動しやすい磁性をもつことを巧みに利用し、相対的な変化を感度よく検知することに成功した。Feプローブが検知する磁性と本来Au層に存在する分極とを定量的に比較することは困難であるが、ほぼ比例する関係にあることは明らかであり、Au層内の磁気分極のプロファイルの観測に成功したといえる。このような不均一な磁化方向が含まれる薄膜の内部構造を解明した例は少なく、本研究成果は高く評価できる。

主論文の基礎となる論文2報は共著であるが、いずれも本人の寄与が中心となっていることが認められる。参考論文2報もやはりCo/Au多層構造膜に関連する報告であり、本研究の予備的報告などが含まれている。

以上のように、本申請論文は当該分野に重要な寄与をなすものであり、博士(理学)の学位論文として十分価値あるもので判定される。なお申請論文に報告されている研究業績を中心として、これに関する研究分野について口頭試問を行なった結果、合格と認めた。