

円偏光共鳴 X 線磁気回折法による間接交換結合 Fe/Au 金属多層膜の 中間磁場領域での Au 層磁気分極分布

Depth-resolved Magnetic Polarization in Au layers of Fe/Au Metallic Multilayers with Interlayer Exchange Coupling in the Intermediate Applied Field Region by Resonant X-ray Magnetic Diffraction with Circularly Polarized Beam

細糸信好、児玉謙司、小池 崇、山岸隆一郎、甘崎晋次郎、徳永真生

Nobuyoshi Hosoi, Kenji Kodama, Takashi Koike, Ryuichiro Yamagishi, Shinjiro Amasaki, Masao Tokunaga

奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

反強磁性間接交換結合を示す Fe/Au 多層膜の Au 層内に誘起された磁化分布の磁場変化を、Au L_3 吸収端共鳴 X 線磁気回折法で調べた。測定には SPring-8 の BL39XU で得られる円偏光を利用した。1 次から 5 次反射までの磁気回折強度ヒステリシスの測定結果から、磁場に平行な Au 層誘起磁化の大きさは、磁場に平行な Fe 層の磁化に比例すること、誘起磁化分布の形状は相似形を保って変化することが明らかになった。

Applied field dependence of the distribution of the magnetization, which is induced in the Au layer of the Fe/Au metallic multilayer with antiferromagnetic interlayer exchange coupling, is investigated by resonant x-ray magnetic diffraction at the Au L_3 absorption edge. The measurements were done with using circularly polarized x-rays available at BL39XU/SPring-8. From the hysteresis measurements of the magnetic diffraction intensities of the 1st to the 5th order Bragg peaks, it is found that the size of the magnetization parallel to the applied field induced in the Au layer is proportional to the Fe layer magnetization parallel to the applied field, and that the distribution of the induced Au magnetization keeps a similar shape against the change of applied field.

背景と研究目的

金属多層膜に見られる非磁性層を介した磁性層間の間接交換結合は、基礎物性として興味深い現象であるだけでなく、ハードディスクなどの磁気デバイスの性能向上にも寄与している。その発現機構としては、RKKY モデル¹⁾や量子井戸モデル²⁾が提唱されている。しかし、非磁性層の実際の電子状態とこれら

のモデルとの関係は明白にはなっていない。

我々は、間接交換結合を示す Fe/Au 多層膜の平行磁化配列状態における Au 層内の誘起磁化分布を、Au L_3 吸収端共鳴 X 線磁気回折によって明らかにした³⁾。本課題では、反強磁性間接交換結合を示す Fe/Au 多層膜を試料として、Au 層内の誘起磁化分布の磁場依存性を求めることを目的とする。

実験

磁気回折実験は BL39XU で行った。試料に可変磁場を印加するため、Huber 回折計の χ サークルに小型電磁石を取り付けた。はじめに 2000 Oe の磁場を [Fe(11.4 Å)/ Au(34.4 Å)] × 31 多層膜に印加して、平行磁化配列状態で、共鳴 X 線磁気回折プロファイルを 5 次反射まで測定し、その散乱角 2θ を求めた。磁気回折測定は、円偏光のヘリシティ反転と磁場反転を組み合わせて行なった。X 線のエネルギーは Au L_3 端近傍の 11921 eV に設定した。次に、60 Oe の印加磁場下で同様の測定を行い、磁場によって磁気回折ピークの散乱角が変化しないことを確認した。その後、散乱角を各磁気回折のピーク位置に固定して、磁気回折強度の磁場依存性を測定した。磁場は散乱面に平行に印加したので、磁場に平行な磁化成分を観測している。各磁気回折ピークの強度比は Au 層内の磁化分布の形状を反映する。したがって、 n 次磁気回折強度と 1 次磁気回折強度の比 $I_n(H)/I_1(H)$ が磁場 H によって

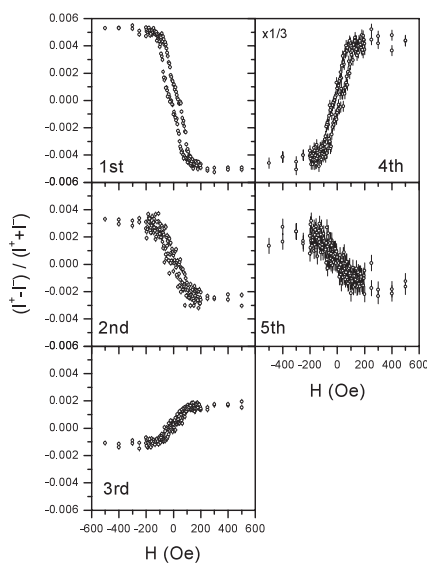


Fig. 1 Hysteresis curves of magnetic diffraction intensities for the 1st to 5th magnetic Bragg peaks measured near the Au L_3 absorption edge (11921 eV).

変化するかどうかを調べることにより、Au 層内の誘起磁化分布の形状が磁場、あるいは Fe 層の磁化配置によって変化するかどうかを知ることができる。

結果と考察

対応する電荷回折強度で規格化した磁気回折ピーク強度 $(I^+ - I^-) / (I^+ + I^-)$ の磁場依存性を Fig. 1 に示す。反射次数によって符号の違いはあるが、各磁気回折ヒステリシスはほぼ同じ形状を示している。磁気回折の強度比 $I_n(H)/I_1(H)$ の磁場依存性を調べるため、横軸に 1 次磁気反射強度、縦軸に n 次磁気反射強度をプロットして比較した。結果を Fig. 2 に示す。反射次数によらずデータは直線上に分布している。このことは、磁場を変化させても各磁気反射強度の比 $I_1(H): I_2(H): I_3(H): I_4(H): I_5(H)$ が変化しないことを示している。このことから、Fe 磁化の配列が強磁性配列から反強磁性配列に変化する過程で、Au 層内に誘起された磁化分布の形状（磁場に平行な成分）は相似形を保って変化していると結論できる。

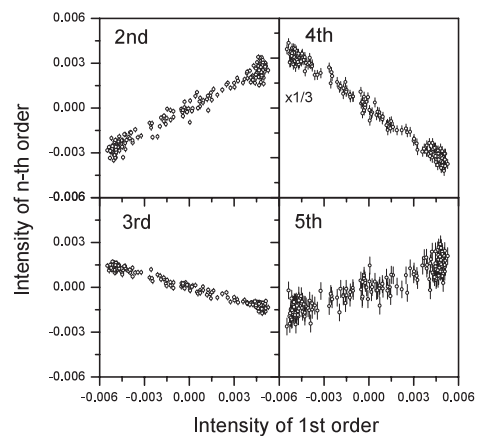


Fig. 2 Comparison of the n -th order magnetic diffraction intensity with that of the 1st order.

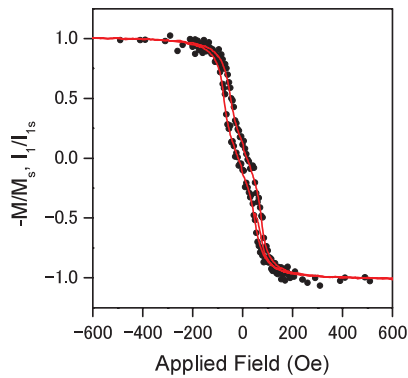


Fig. 3 Comparison of the 1st order magnetic diffraction hysteresis (dots) with the sign-reversed magnetization curve (line). Each plot is normalized to its saturation value.

次に1次磁気回折ヒステリシス $I_1(H)$ と Fe 磁化 (磁場に平行な成分) との対応を考える。振動試料型磁力計 (VSM) で測定した磁化曲線 $M(H)$ と 1次磁気回折ヒステリシスをそれぞれの飽和値で規格化して比較した。形状を合わせるため、磁化のデータは符号を反転した。結果を Fig. 3 に示す。両者は非常に良く一致する。このことは、Au 層に誘起された磁化が Fe 層の磁化に比例することを示している。

以上の結果を総合すると Fe 層磁化が平行配列から反平行配列に変化する過程で Au 層内に誘起された磁化分布は Fig. 4 のように変化すると考えられる。強磁場を印加して Fe 磁化を飽和させた状態では既に報告したように、Au 層内磁化分布は界面に集中した成分と、内部層まで一様に広がった成分の和で与えられる (Fig. 4a)³⁾。中間磁場領域では、Au 層の磁化分布の大きさは磁場に平行な Fe 層磁化成分の大きさに比例して減少するが、形状は飽和磁化状態のときと相似形を保っている (Fig. 4b)。Fe 磁化が反平行に配列する状態では磁場方向の Fe 磁化が零になり、Au 層内の誘起磁化も消失する (Fig. 4c)。

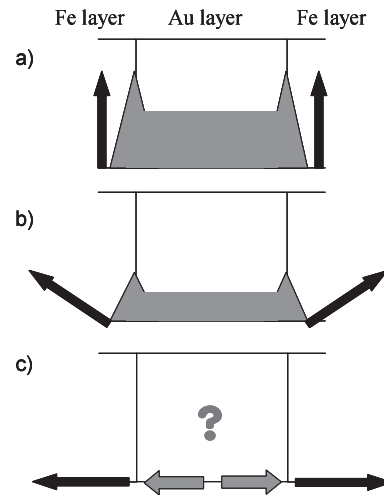


Fig. 4 Schematic pictures of the distribution of induced magnetization in the Au layer; a) parallel alignment state of the Fe layers, b) intermediate state, c) antiparallel alignment state.

今後の課題

本課題では、Au L_3 端共鳴 X 線磁気回折を用いて Au 層に誘起された、磁場に平行な磁化分布を調べた。Fe 層磁化が反平行配列状態では、Fig. 4c に示すように、磁場に垂直な誘起磁化成分が Au 層内部で一様な分布を生じることができない。しかし、現在の試料では電荷散乱の消滅則のため、磁場に垂直な方向の誘起磁化分布を求めることができない。今後試料構造を工夫して、磁場に垂直な方向の磁化分布を調べる予定である。

参考文献

- 1) P. Bruno and C. Chappert, Phys. Rev. Lett. **67** (1991) 1602.
- 2) J. E. Ortega and F. J. Himpsel, Phys. Rev. Lett. **69** (1992) 844.
- 3) T. Ohkochi, K. Mibu and N. Hosoi, J. Phys. Soc. Jpn. **75** (2006) 104707.

論文発表状況

- [1] 細糸信好、大河内拓雄、児玉謙司、甘崎

晋次郎、徳永真生、日本物理学会 2007 年
春季大会（口頭発表予定）。

キーワード

・ 共鳴 X 線磁気散乱

X 線吸収端近傍では特定の準位間の電子励起が顕著に起こるため X 線散乱振幅に異常分散項が加わる。このうち、スピンの向きに依存する散乱を共鳴磁気散乱という。磁化反転やヘリシティ反転で電荷散乱振幅と磁気散乱振幅の干渉項を取り出すことができる。