

直線偏光共鳴 X 線磁気回折によるエピタキシャル Co/Ru 多層膜中の Ru 層の磁気分極

Magnetic Polarization of Ru layers in the Epitaxial Co/Ru Multilayers by Resonant Magnetic Diffraction with Linearly Polarized X-rays

細糸 信好、児玉 謙司、山岸 隆一郎、甘崎 晋次郎、徳永 真生

Nobuyoshi Hosoito, Kenji Kodama, 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

Ru K 吸収端において直線偏光共鳴 X 線磁気回折測定を行ない、エピタキシャル hcp Co/Ru 多層膜の Ru 層に誘起された磁気分極分布を評価した。hcp 002 主反射とその+1 次衛星反射の磁気回折ピーク強度比から Ru 5p バンドに誘起された磁気分極の侵入長を $2.7 \pm 0.3 \text{ \AA}$ と評価した。Ru K 端の共鳴磁気散乱振幅の大きさは Co/Cu 系における Cu K 端の数十倍程度であると予想される。hcp 002 磁気主反射強度のエネルギー依存性の測定を試みたが、良好なデータは得られなかった。

Distribution of induced magnetic polarization in the Ru layer of an epitaxial hcp Co/Ru multilayer is estimated by resonant magnetic diffraction with linearly polarized x-rays around the Ru K absorption edge. The penetration depth of magnetic polarization induced in the 5p band of Ru is estimated to be $2.7 \pm 0.3 \text{ \AA}$ from the intensity ratio of hcp 002 main peak and its +1 satellite peak. Magnitude of the resonant magnetic scattering amplitude for the Ru K-edge is expected to be several tens times as large as that for the Cu K-edge in the Co/Cu system. The energy dependence of magnetic diffraction intensity for the hcp 002 peak is attempted to measure, but good S/N data cannot be obtained.

キーワード：直線偏光共鳴磁気散乱、誘起磁気分極、Co/Ru 多層膜

背景と研究目的：非磁性層によって隔てられた強磁性層間に働く間接交換結合は、基礎研究の対象として重要であるだけでなく、ハードディスクの磁気ヘッドや磁気記録媒体などの性能向上に役立っている。振動的な間接交換結合を説明するモデルとしては、Cu や Au の電子状態を念頭においた RKKY モデルや量子井戸モデルがある。Ru スペーサ層は強い反強磁性間接交換結合を示すことが知られているが、その発現機構が Co/Cu 系などと同じかどうかは不明である。我々は、間接交換結合発現のキーとなる非磁性層の電子状態、特に非磁性層に誘起された磁気分極分布を、円偏光硬 X 線を用いた共鳴磁気回折により調べてきた。しかし Ru の K 吸収端は 22 keV 付近にあるため、現在のところ Ru 層の誘起磁気分極分布を円偏光を用いて調べることはできない。このため、直線偏光を用いた共鳴磁気回折法により、Ru 層内の磁気分極分布を調べた。

実験：測定に用いた試料は、サファイア(11 $\bar{2}$ 0)基板上にエピタキシャル成長させた bcc (110)

Nb バッファ膜上にエピタキシャル成長させた Co/Ru 多層膜である。X 線回折プロファイルから Co/Ru 多層膜は hcp (001)面エピタキシャル成長していることを確認した。Co(8 \AA)/Ru(14 \AA)多層膜(試料 A)と Co(24 \AA)/Ru(18 \AA)多層膜(試料 B)を真空蒸着法で作製した。試料 A の Co はほぼ非磁性、試料 B の Co は強磁性を示すことを VSM による磁化測定により確認した。試料 B は反強磁性的な間接交換結合を示す。共鳴 X 線磁気回折実験は BL39XU で行った。測定法は、Namikawa らの方法に従った¹⁾。散乱面に平行な直線偏光(π 偏光)を入射し、散乱面に垂直な方向に印加した磁場を反転させて磁気散乱成分を電荷散乱成分から分離した。磁場反転は 10-15 秒ごとに行なった。X 線エネルギーは Ru K 端近傍の 22119 eV に設定した。

結果と考察：

磁気散乱の分離

我々は、円偏光を用いた測定では磁場反転とヘリシティ反転を組み合わせると共鳴磁気散乱が電

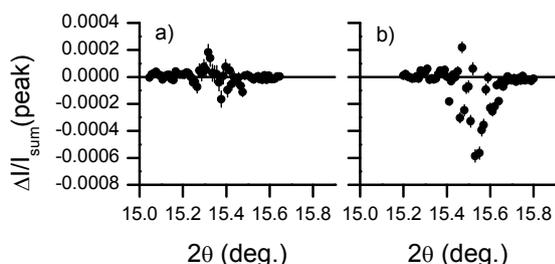


Fig.1. Resonant magnetic diffraction profiles of a) Co(8 Å)/Ru(14 Å) and b) Co(24 Å)/Ru(18 Å) multilayers measured near the Ru K edge (22119 eV).

荷散乱から分離できていることを確認している。直線偏光の場合はこのような方法による確認ができないため、Co層が非磁性の試料 A と強磁性の試料 B の共鳴磁気回折プロファイルと比較することにより確認を行なった。±磁場に対する差強度 $\Delta I = I^+ - I^-$ を和強度 $I_{\text{sum}} = I^+ + I^-$ のピーク値 $I_{\text{sum}}(\text{peak})$ で規格化したデータを Fig. 1 に示す。Co が非磁性の試料 A はほとんど磁気散乱を示さないが、Co が強磁性の試料 B は明瞭な磁気散乱を示す。これにより、直線偏光法でも共鳴磁気散乱強度を電荷散乱強度から分離できていることを確認した。

磁気回折プロファイル

Figure 2 に試料 B の hcp 002 反射と +1 次衛星反射の共鳴磁気回折プロファイルを示す。主反射は 4 回、衛星反射は 8 回の測定を積算した。各磁場方向、各角度あたりの全測定時間は主反射が 120 秒、衛星反射が 230 秒である。Ru 層内の磁気分極が $\exp(-x/\lambda)$ で減衰すると仮定して解析を行なった。主反射と衛星反射の強度比を計算結果と比較することにより、Ru 層内の 5p バンドの磁気分極は $\lambda = 2.7 \pm 0.3 \text{ \AA}$ で減衰すること

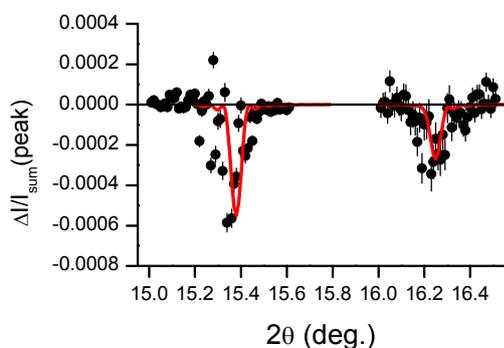


Fig.2. Resonant magnetic diffraction profiles of a Co(24 Å)/Ru(18 Å) multilayer around the hcp 002 main and +1 satellite peaks. The red lines are the results of simulation.

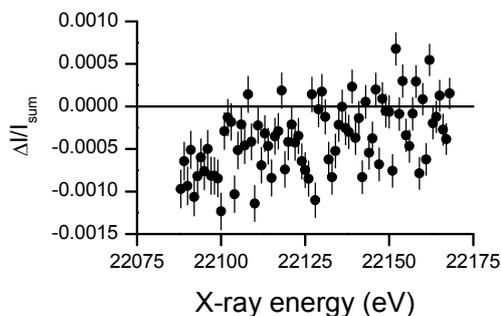


Fig.3. Energy dependence of magnetic diffraction peak intensity at the hcp 002 main peak of a Co(24 Å)/Ru(18 Å) multilayer.

が分かった。この値は Co/Cu 系の Cu より長い²⁾、Fe/Au 系の Au より短い³⁾。解析は運動学的モデルにより行なったため、多重散乱の効果が考慮されていない。このため、Ru K 端の共鳴磁気散乱振幅を正確に評価することは困難であるが、Co/Ru 多層膜中の Ru は Co/Cu 多層膜における Cu K 端の数十倍程度の磁気散乱振幅を持つことが示唆された。

磁気散乱のエネルギー依存性

Ru の磁気円二色性スペクトルを推定するため、主反射磁気散乱ピーク強度のエネルギー依存性の測定を試みた。結果を Fig. 3 に示す。散乱強度にエネルギー依存性が見られるが、定量的な解析を行なうのに十分なデータは得られなかった。このため、Ru の共鳴磁気散乱振幅のエネルギー依存性を決めることはできなかった。

結論

直線偏光共鳴 X 線磁気回折法により、hcp Co/Ru エピタキシャル多層膜の Ru 層に誘起された磁気分極分布を決定した。Ru 層の磁気分極の侵入長は Co/Cu 系の Cu 層より長い、Fe/Au 系の Au 層より短いことが明らかになった。また、Ru 5p 電子の磁気分極の強さは、Co/Cu 系の Cu 4p 電子のそれより、はるかに大きいことが示唆された。より詳細な研究には、22 keV の円偏光を用いることが望ましい。

参考文献

- 1) K. Namikawa, M. Ando, T. Nakajima, H. Kawata, J. Phys. Soc. Jpn. **54** (1985) 4099.
- 2) S. Nagamatsu, H. Matsumoto, and T. Fujikawa, K. Ishiji and H. Hashizume, Phys. Rev. B **70** (2004) 174442.
- 3) T. Ohkochi, K. Mibu, N. Hosoito, Phys. Soc. Jpn. **75** (2006) 104707.