

CoPt 合金の Pt $L_{2,3}$ -edges XMCD による Pt 磁気状態の膜厚依存性 Thickness dependence of Pt magnetic states in Co-Pt thin film determined by the Pt $L_{2,3}$ -edges XMCD

石松直樹^a、筒井靖之^a、曾根 聖^b、圓山 裕^a、島津武仁^c、
河村直己^d、鈴木基寛^d、園部義明^e

Naoki Ishimatsu^a, Yasuyuki Tutui^a, Satoshi Sone^b, Hiroshi Maruyama^a, Takehito Simatsu^c,
Naomi Kawamura^d, Motohiro Suzuki^d, Yoshiaki Sonobe^e

^a 広大院理、^b 広大理、^c 東北大電通研、^d JASRI/SPring-8、^e (株) HOYA

^a Grad. School of Sci., Hiroshima Univ., ^b Faculty of Sci., Hiroshima Univ. ^c RIEC, Tohoku Univ.,

^d JASRI/SPring-8, ^e HOYA Co.

Ru シード層上に成長した垂直磁化膜 Co-Pt 膜は、hcp(001) 面の配向を持ち、大きな磁気異方性定数 K_u を持つ。また、 K_u は強い膜厚依存性をもつことが知られている。我々はこの特徴を有する $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金薄膜の Pt $5d$ 電子の磁気状態を Pt $L_{2,3}$ 端の XMCD により調べた。その結果、膜厚が減少するとスピンの軌道角運動量 ($\langle S_z \rangle$ と $\langle L_z \rangle$) の比率 $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ は増加していた。また、面直磁化の場合において面内磁化よりも $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ が大きいことが分かった。

Co-Pt perpendicular films, deposited on Ru seed layer, preferably grow with the hcp (001) plane parallel to the sample surface and have a large uniaxial magnetic anisotropy K_u . It is well known that K_u significantly varies with film thickness. In this study, we have examined thickness dependence of the Pt $5d$ magnetic state of $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ thin films by means of the Pt $L_{2,3}$ edges XMCD. As a result, the ratio of the orbital- to spin-angular momentum, $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$, increases with decreasing the film thickness. We found that $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ of out-plane magnetization is larger than that of in-plane magnetization.

背景と研究目的

Co(Cr)Pt 合金薄膜は垂直磁気異方性を発現するため、近年、次世代の磁気記録媒体として注目されている物質の一つである。Co(Cr)Pt 合金薄膜の磁気異方性定数 K_u は、シード層の構造、Pt の組成、膜厚によって変化する。^{1,2)} さらに、 K_u の大きさと hcp 構造の c/a 比などの結晶構造のパラメーターにも相関がみられている。²⁾ 垂直磁気異方性は面内

磁化と垂直磁化の場合における軌道磁気モーメントの差分に関係するため³⁾、Pt と Co のスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントが、組成・膜厚・結晶構造に対してどのような依存性をもつかを調べることは極めて重要である。

本研究では、マグネトロンスパッタリングにより作成された Cr を含まない CoPt 合金 (Pt=20at.%) 薄膜を試料とした。この試料は、

Au(3nm)/CoPt(δ nm)/Ru(80nm)/Ta(5nm)/SiO₂/Si 基盤の膜構成を持ち、シード層は Ru である。膜厚 $\delta=60$ nm での K_u は 1.2×10^7 erg/cm³ であるが、 $\delta=3$ nm まで膜厚が減少すると、 K_u は 1.4 倍程度に増大する。さらに結晶構造では膜厚の減少によって hcp 構造の c/a 比の減少 ($\sim 0.6\%$)、 a 軸長さの増大 ($\sim 0.4\%$) が見られる。このため、 K_u と結晶構造の強い相関が期待される。

X 線磁気円二色性 (XMCD : X-ray Magnetic Circular Dichroism) は吸収測定法の一つであり、元素および電子殻選択的な磁気情報を得ることができる分光手法である。特にスペクトルに X 線磁気光学総和則^{4,5)}を用いることにより、スピンおよび軌道角運動量の期待値 ($\langle S_z \rangle$ と $\langle L_z \rangle$) が求まることを特長とする。我々は Pt $L_{2,3}$ 吸収端の XMCD 測定を行い、CoPt (Pt=20at.%) 薄膜における Pt 5d 電子の磁気状態の膜厚依存性に注目した。なお、XMCD 測定した試料の膜厚は $\delta=3, 10, 20, 60$ nm の 4 種類である。

実験

Pt $L_{2,3}$ 吸収端の XMCD 測定は BL39XU において室温で行われた。電磁石の印加磁場は 2T である。なお、CoPt 薄膜からの XMCD は、

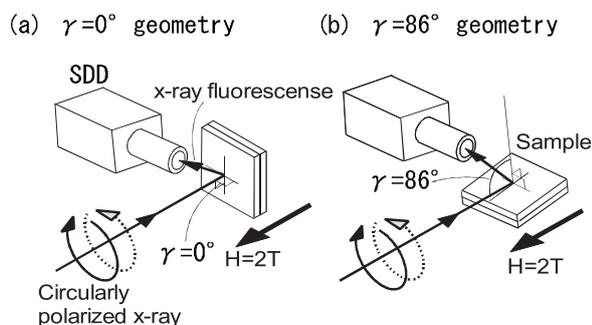


Fig. 1 Pt $L_{2,3}$ -edges XMCD experimental configurations for (a) normal, $\gamma=0^\circ$ and (b) grazing, $\gamma=86^\circ$, incidence of x-rays on the sample.

4 素子の SDD (シリコンドリフト検出器) によって検出された Pt- L_α および Pt- L_β 蛍光 X 線強度から測定された。また、Fig. 1 に示すように面内磁化と面直磁化の Pt 磁気状態を比較するために、試料の法線に対して X 線と磁場の方向を $\gamma=0^\circ$ (面直配置)、 $\gamma=86^\circ$ (面内配置) とした二つの実験配置で XMCD を測定した。

結果と考察

Fig. 2 に面直磁化の場合における Pt $L_{2,3}$ 吸収端 XMCD スペクトルの膜厚に対する変化を示す。得られた XMCD 強度は、膜厚が大きい場合に増している。また、面直磁化と面内磁化を比較すると、面内磁化では L_2 の XMCD 強度が大きく、面直磁化では L_3 の強度が大きかった。このことは $\langle L_z \rangle$ の大きさが面直磁化と面内磁化とで異なることを示している。一方、吸収スペクトル (XAS) には、面直磁化の L_2 と L_3 両吸収端共に膜厚による変化

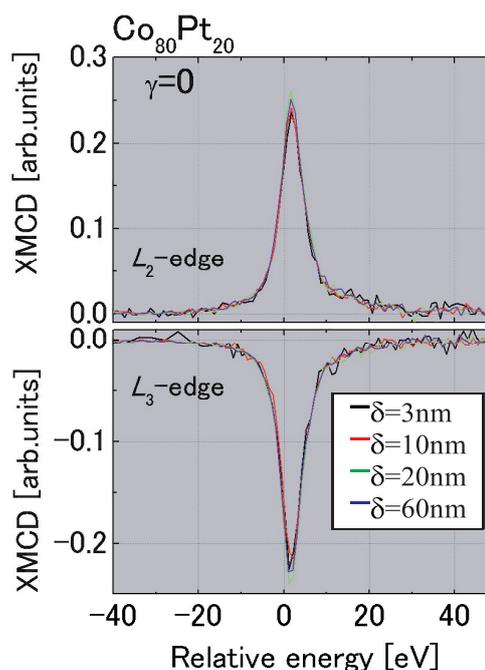


Fig. 2. Layer thickness dependence of the Pt $L_{2,3}$ -edges XMCD spectra obtained at $\gamma=0^\circ$ configuration.

がみられなかった。しかし面内磁化の場合には white-line より高エネルギー側の XAS スペクトル形状が膜厚 10nm と 20nm を境界に異なっていることが分かった。

Fig. 3 は、得られたデータに磁気光学総和則を適用して導出された $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ の結果である。Fig. 3 に示すように、膜厚が減少すると $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ は増加している。また、面直磁化の $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ は面内磁化のそれと比べて大きい。またスピン磁気双極子演算子の z 成分の期待値 $\langle T_z \rangle$ を無視した条件下では、膜厚が減少すると $\langle S_z \rangle$ はほぼ減少する傾向が見られた。

このように本研究によって $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ などの Pt 磁気状態に明瞭な膜厚依存性が見られた。この結果は K_u や c/a 比の膜厚依存性と同様の傾向であるため、 K_u と結晶構造に加えて軌道磁気モーメントなどの Pt5d 電子の磁気状態との間の相関が期待できる。

今後の課題

磁気異方性の発現を調べるために、CoPt で主要な磁気モーメント成分を担う Co 3d 磁性の膜厚依存性も重要である。このため我々は、Co $L_{2,3}$ 吸収端の XMCD 測定を同様の試料について行った。現在、その結果を解析中で

ある。また、 $\langle L_z \rangle$ と $\langle S_z \rangle$ の定量的な議論のために、 $\langle T_z \rangle$ の寄与と Pt5d および Co3d 電子数を現在、検討している。

参考文献

- 1) T. Kubo *et al.*, J. Appl. Phys. **97** (2005) 10R510.
- 2) T. Shimatsu *et al.*, J. Appl. Phys. **99** (2006) 08G908.
- 3) P. M. Oppeneer, J. Mag. Mag. Mat. **188** (1998) 275.
- 4) B. T. Thole *et al.*, Phys. Rev. Lett. **68**, 1943 (1992).
- 5) P. Carra *et al.*, Phys. Rev. Lett. **70**, 694 (1993).

論文発表状況・特許状況

- [1] 筒井靖之他、第 20 回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウム (2007 年 1 月) 14P132 (ポスター発表)

キーワード

・磁気異方性定数 K_u

結晶方位に対する自発磁化方向の違いによって生じる内部エネルギーの変化は、結晶磁気異方性エネルギー E_a として表される。 E_a は容易軸に対して自発磁化が θ の角度をなす場合に $E_a = K_{u1} \sin^2 \theta + K_{u2} \sin^4 \theta + \dots$ である。本研究での磁気異方性定数 K_u は $K_u = K_{u1} + K_{u2}$ とした。

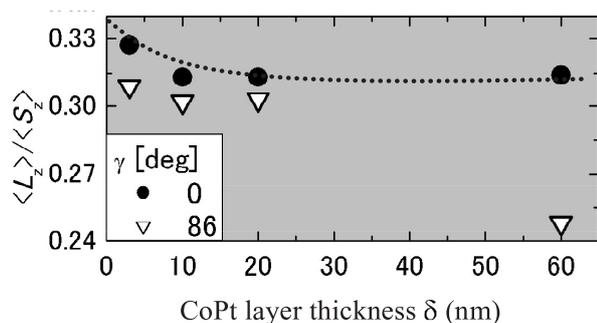


Fig. 3 Thickness variation in $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ evaluated from the Pt $L_{2,3}$ edges XMCD.