

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 probed by the Pt $L_{2,3}$ -edges XMCD

石松直樹^a, 小笠原龍太^b, 甲斐広樹^b, 圓山裕^a, 島津武仁^c, 河村直己^d, 鈴木基寛^d
Naoki Ishimatsu^a, Ryouta Ogasawara^b, Hiroki Kai^b, Hiroshi Maruyama^a, Takehito Shimatsu^c,
Naomi Kawamura^d, Motohiro Suzuki^d

^a 広大院理, ^b 広大理, ^c 東北大電通研, ^d JASRI/SPring-8,

^a Grad. School of Sci., Hiroshima Univ., ^b Faculty of Sci., Hiroshima Univ. ^cRIEC, Tohoku Univ.,
^d JASRI/SPring-8

Ru シード層上に成長した Co-Pt 膜は, 大きな磁気異方性定数 K_u に起因した垂直磁気異方性を発現する. これまで膜厚の減少に伴う K_u の増大が報告されているが, この原因は分かっていない. そこで我々は $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ および $\text{Co}_{86}\text{Pt}_{14}$ 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 Pt スピン磁気モーメントと軌道磁気モーメント (M_S と M_L) の比率 M_L/M_S が僅かに減少することが分かった. 一方, 面直磁化の場合において面内磁化よりも M_L/M_S が大きいことが示された.

Co-Pt film, deposited on a Ru seed layer, exhibits perpendicular magneto anisotropy due to a large K_u . In the films, it is well known that K_u is significantly enhanced with decreasing film thickness. We have measured thickness dependence of the Pt $5d$ magnetic state in $\text{Co}_{86}\text{Pt}_{14}$ and $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ films by means of the Pt $L_{2,3}$ edges XMCD, and compared the results to the thickness dependence of K_u . As a result, the ratio of the orbital- to spin magnetic moments, M_L/M_S , slightly decreases with decreasing the film thickness. We also found that M_L/M_S of out-plane magnetization is larger than that of in-plane magnetization.

キーワード: 次世代高密度磁気記録媒体、磁気多層膜、X線磁気円二色性、元素別磁化測定

背景と研究目的: Co(Cr)Pt 合金薄膜は 10^7erg/cm^3 オーダーの磁気異方性定数 K_u を持ち強い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の一つとして注目されている. Co(Cr)Pt 薄膜の K_u は, Pt の組成, 膜厚に依存した系統的な変化が報告され^{1,2)}, さらに結晶構造パラメータ(hcp 構造の c/a 比など)との間にも相関がみられる.²⁾ K_u 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(M_L)の差分と関係するため³⁾, 試料のスピンの磁気モーメント(M_S)と M_L が, 合金組成・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, 垂直磁気異方性の発現を理解するために極めて重要である.

X線磁気円二色性(XMCD: X-ray Magnetic Circular Dichroism)は偏光を利用した吸収測定の一つであり, 元素および電子殻を選択した磁気情報が得られる分光手法である. 特に, XAS と XMCD 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 M_S と M_L が分離して求まることが XMCD の特長であり, これが垂直磁気異方性の研究に有効である. 今回, 我々は Pt $L_{2,3}$ 吸収端の XMCD 測定を行い, Cr を含まない Co-Pt

(Pt=14, 20 at.%) 薄膜における Pt $5d$ 電子の磁気状態 (M_S と M_L) を求め, それらの Pt 組成による違いと膜厚依存性を調べた.

実験: Co-Pt 薄膜は, マグネトロンスパッタリングにより作成された. シード層には Ru, キャップ層には Au を用い, Au(3nm)/CoPt(δ nm)/Ru(80nm)/Ta(5nm)/SiO₂/Si 基盤の膜構成とした. 膜厚 δ は, $\delta=3, 10, 20, 60$ nm の 4 種類である. K_u の膜厚依存性は, Pt 組成によって異なる. Pt=20 at. %

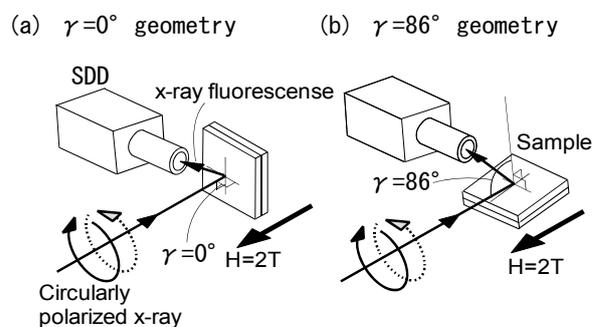


Fig. 1. Pt $L_{2,3}$ -edges XMCD experimental configurations for (a) normal ($\gamma=0^\circ$) and (b) grazing ($\gamma=86^\circ$) incidence of x-rays on the sample.

の場合、 $\delta=60\text{nm}$ の K_u が $1.2 \times 10^7 \text{erg/cm}^3$ であるのに対し、 $\delta=3\text{nm}$ では K_u がその1.4倍程度に増大する。一方、Pt=14 at.%試料の場合は、 $\delta=60\text{nm}$ の K_u は $0.67 \times 10^7 \text{erg/cm}^3$ とPt=20 at.%と較べて小さいが、 $\delta=3\text{nm}$ では K_u がその約2倍に増大する。

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とした。Co-Pt薄膜からのXMCDは、Pt- L_α およびPt- L_β 蛍光X線強度から測定された。検出器には4素子のSDD（シリコンドリフト検出器）を用いた。面内磁化と面直磁化のPt磁気状態を比較するために、Fig.1に示すように試料の法線に対してX線と磁場の方向を $\gamma=0^\circ$ （面直磁化配置）、 $\gamma=86^\circ$ （面内磁化配置）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Pt $L_{2,3}$ 吸収端XASとXMCDスペクトルの膜厚変化を示す。試料はPt=14 at.%, $\gamma=0^\circ$ 配置である。XASのエッジジャンプを1に規格化した場合、 L_2, L_3 端共に20%を超える大きなXMCDが見られた。Fig.2に示すように、 $L_{2,3}$ 端のXASには顕著な膜厚変化は見られないが、 $L_{2,3}$ 端のXMCD強度には膜厚減少に伴う僅かな減少が見られる。これを詳細に示すために、Fig.3(a)に $\gamma=0^\circ$ と $\gamma=86^\circ$ におけるXMCD積分強度の膜厚変化を示した。膜厚減少によるXMCD積分強度の減少が $\delta=3\text{nm}$ で見られる。また、 $\gamma=86^\circ$ の L_3 のXMCD強度は $\gamma=0^\circ$ のそれと同程度であるが、 L_2 のXMCD強度は $\gamma=86^\circ$ の場合が大きい。

Fig.3(b)は、XMCD積分強度データに磁気光学総和則を適用して導出された M_L/M_S 比の結果である。 M_L/M_S は $L_{2,3}$ 吸収端のXASの強度比を2.22として導出された値である。 $\gamma=0^\circ$ の M_L/M_S は $\gamma=86^\circ$ のそれと較べて大きい。このことは M_L

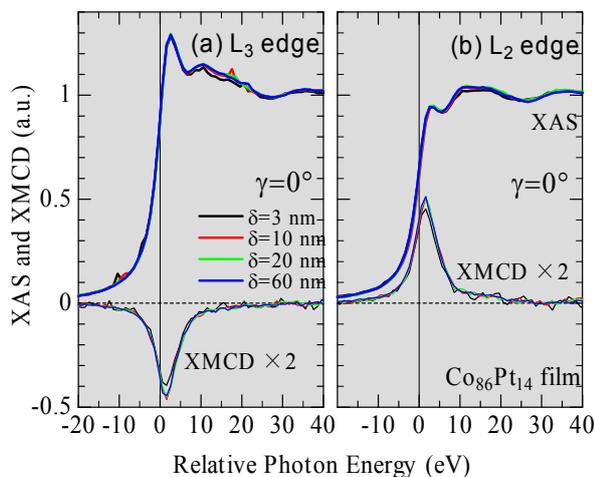


Fig. 2. thickness dependence of the XAS and XMCD spectrum. (Pt=14 at.% and $\gamma=0^\circ$ geometry.) (a) Pt L_3 -edge and (b) Pt L_2 -edge.

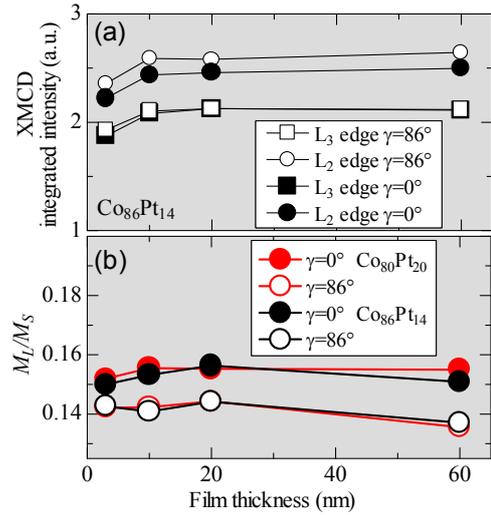


Fig. 3. (a) Thickness variation in XMCD integrated intensity of $\text{Co}_{86}\text{Pt}_{14}$ film for $\gamma=0^\circ$ and $\gamma=86^\circ$ geometry. (b) M_L/M_S ratio of $\text{Co}_{86}\text{Pt}_{14}$ and $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ films as a function of film thickness.

成分が磁化容易方向である面直磁化の場合に増加することを示し、これまでの報告とよく対応する⁶⁾。また、膜厚が減少すると $\gamma=0^\circ$ では M_L/M_S が僅かに小さくなり、 $\gamma=0^\circ$ と $\gamma=86^\circ$ での M_L/M_S の差も減少する。Fig.3(b)に示すようにPt=20 at.%試料についても、 M_L/M_S にはPt=14 at.%試料とほぼ同様の膜厚変化が得られている。

本研究によってPt磁気状態の膜厚・組成依存性が決定された。その結果、面内磁化と比較して面直磁化での M_L 成分の増大が見られた。一方、 K_u が大きい $\delta=3\text{nm}$ 試料では、逆に M_L 成分が減少する。また、Pt=20 at.%とPt=14 at.%の K_u の相違に対し、 M_L 成分には顕著な差が見られなかった。このことは、 K_u の変化に対して、Pt磁性の影響が小さい可能性が考えられる。

今後の課題： 磁気異方性の発現機構や K_u の増大の原因を調べるために、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Co $L_{2,3}$ 吸収端のXMCD測定を同様の試料についてさらに進める予定である。

参考文献：

- 1) T. Kubo *et al.*, J. Appl. Phys. **97** (2005) 10R510.
- 2) T. Shimatsu *et al.*, IEEE Trans. Magn. **43** (2007) 2995.
- 3) P.M. Oppeneer, J. Magn. Magn. Mater. **188** (1998) 275.
- 4) B.T. Thole *et al.*, Phys. Rev. Lett. **68** (1992) 1943.
- 5) P. Carra *et al.*, Phys. Rev. Lett. **70**, (1993) 694.
- 6) W. Grange *et al.*, Phys. Rev. B **58** (1998) 6298.