

新規垂直磁気記録媒体 TbCo/Pd 多層膜の垂直磁気複合効果の機構解明 Combination effect of perpendicular magnetism of a novel perpendicular magnetic recording material, TbCo/Pd multilayered film.

朝日 透^a, 田中真人^b, 安居院あかね^c, 水牧仁一朗^d, 佐山淳一^a, 逢坂哲彌^a

Toru Asahi^a, Masahito Tanaka^b, Akane Agui^c, Masaichiro Mizumaki^d, Jun-ichi Sayama^a, Tetsuya Osaka^a

^a早稲田大学, ^b産業技術総合研究所, ^c日本原子力研究開発機構, ^d高輝度光科学研究センター

^aWaseda Univ., ^bAIST, ^cJAEA, ^dJASRI

垂直磁気記録媒体材料の候補の一つである $[\text{Tb}_{20}\text{Co}_{80}(x \text{ nm})/\text{Pd}(0.8 \text{ nm})]_{20}$ 人工格子多層膜は TbCo 層の層厚によって、そのマクロな磁気特性が大きく変化し、 $x=5.0 \text{ nm}$ 付近で一旦磁化が 0 になる補償層厚を示す。本研究ではこの TbCo/Pd 多層膜の Co- $L_{2,3}$ 端、Tb- $M_{4,5}$ 端の吸収スペクトル (XAS)、磁気円二色性 (MCD)、元素選択ヒステリシス (ESMH) の測定より、元素毎の磁化の層厚依存性を追った。その結果、補償層厚でも MCD は存在するが、Co と Tb の磁気モーメントの和がほぼ 0 であること、補償層厚を境に優勢磁気モーメントが Co から Tb に変化することなどがわかった。

The macroscopic magnetic properties of $[\text{Tb}_{20}\text{Co}_{80}(x \text{ nm})/\text{Pd}(0.8 \text{ nm})]_{20}$ artificial multilayered films, a candidate for the perpendicular magnetic recording material, strongly depend on the TbCo layer thickness. Especially, at $x=5.0 \text{ nm}$, macroscopic magnetization of the film is found to be almost zero. It indicates that a compensation point of layer thickness exists in the films. In this work, the layer thickness dependence of element specific magnetic properties of TbCo/Pd films was examined by means of X-ray absorption spectra (XAS), magnetic circular dichroism (MCD) and element specific magnetic hysteresis (ESMH) measurement at Co- $L_{2,3}$ and Tb- $M_{4,5}$ edges. As a results, we found that sum of Co and Tb magnetic moments was almost zero at compensation point ($x=5.0 \text{ nm}$) and element having major magnetic moment alternated from Co to Tb at $x > 5.0 \text{ nm}$ region.

本研究課題は垂直磁気記録材料の候補である TbCo/Pd 人工格子多層膜の示す複雑な垂直磁気異方性の起源を軟 X 線吸収スペクトル (XAS)、磁気円二色性 (MCD) および元素選択磁気ヒステリシス (ESMH) の層厚変化より明らかにし、本材料をはじめとする新規記録材料の開発に資することを目指している。現在、様々な垂直磁気記録媒体材料開発が

世界中で現在精力的に為されている。その中で、我々は有望な候補である Co/Pd 人工格子多層膜と TbCo アモルファス合金のもつ 2 つの垂直磁気異方性を複合させた TbCo/Pd 人工格子多層膜を創製した。

Fig.1 に $[\text{Tb}_{20}\text{Co}_{80}(x \text{ nm})/\text{Pd}(0.8 \text{ nm})]_{20}$ 多層膜のマクロな磁気特性として試料振動型磁力計 (VSM) で測定した飽和磁化 (Ms) と垂直方

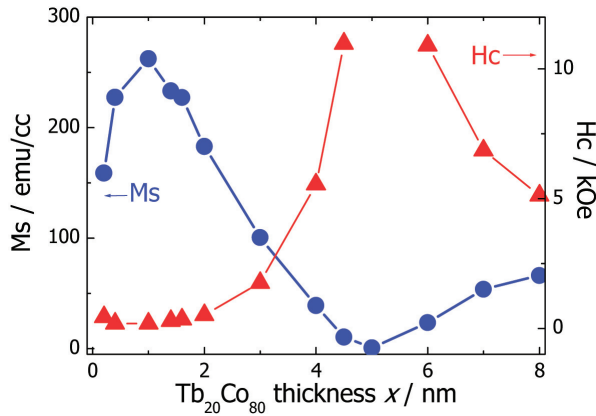


Fig. 1 TbCo layer thickness dependence of Ms (blue circles, left) and Hc (red triangles, right) of TbCo/Pd films.

向の保磁力 ($H_{c\perp}$) の TbCo 層厚依存性を示す。この多層膜は Ms や $H_{c\perp}$ などが TbCo 層厚で大きく変化し、層厚が 0.2 nm 以下と 1.6 nm 以上の領域で垂直磁化膜であり、厚層 5 nm 付近に飽和磁化が 0 となる膜条件(補償層厚)が存在する。また層厚 0.2 ~ 1.6 nm の領域では面内磁化膜の性質を示す等の興味深く、かつ実用的な磁気特性をもつ。補償層厚の発現は TbCo/Pt 多層膜においても確認されている。¹⁾ この性質は界面や面内での磁性が競合する多層膜としての磁気特性と異元素間でスベリ磁性構造をもつアモルファス膜としての磁気特性が重畳した”垂直磁気複合効果”と呼ぶべきものが起源と考えられる。しかしながら、この複雑な垂直磁気複合効果の由来に関する研究、特に MCD などを用いた元素、軌道選択した磁性測定による各構成元素の役割を明らかにするなどの基礎的観点にたった研究は全くない。

本研究では、この TbCo/Pd 多層膜の Tb- $M_{4,5}$, Co- $L_{2,3}$ 端での XAS と MCD 測定から各構成元素の軌道、スピン磁気モーメントを、ESMH 測定から各元素の MCD ループ形状と特に保磁力の情報を得て、特に層厚の変化に

対する界面と各層内での各元素の磁気特性変化を調べることから上述した垂直磁気複合効果を明らかにすることを目的とした。

実験方法

本研究で用いた Tb₂₀Co₈₀/Pd 多層膜は、C(5 nm)/[Tb₂₀Co₈₀(x nm)/ Pd(0.8 nm)]₂₀/Pd(30 nm)/ Si sub. の層構造を有し、 $0.2 \leq x \leq 8.0$ nm の範囲においてスパッタ法で製膜した。マクロな磁気特性は VSM (最大印加磁界 15kOe) で測定した。XAS 測定はドレイン電流測定法により計測した。MCD 測定は偏光反転法により、SPRING-8 BL25SU に設置されている電磁石 MCD 装置を利用して膜面に対して垂直方向に磁場 (19kOe) を印加した状態で温度 300K にて行った。ESMH 測定は Co- L_3 端、Tb- M_5 端の MCD ピークエネルギーにおいて、印加磁場を +19 ~ 19kOe 間で変化させて測定した。

実験結果

図 2(a), (b) に $x=0.2, 4.5, 5.0, 6.0$ nm での Co- $L_{2,3}$, Tb- $M_{4,5}$ 吸収端の MCD スペクトルをそれぞれ示す。Tb と Co は常に逆の MCD 符号を示しており、これは Tb と Co とがフェリ磁性的配列をもつことによる。さらに、 $x=4.5, 5.0$ nm に対して $x=6.0$ nm では MCD 符号が反転しており、補償層厚前後で優勢モーメントが Co から Tb へと変化していることが判る。

一方、補償層厚である $x=5.0$ nm においても強い MCD スペクトルが観測された。磁気光学総和則²⁾を用いて算出したところ、層厚の増加に伴い、Co の磁気モーメントの絶対値が減少し、Tb のそれは増加する傾向が見られた。補償層厚では Co、Tb それぞれの磁気モーメントはほぼ同じ絶対値を示した。この

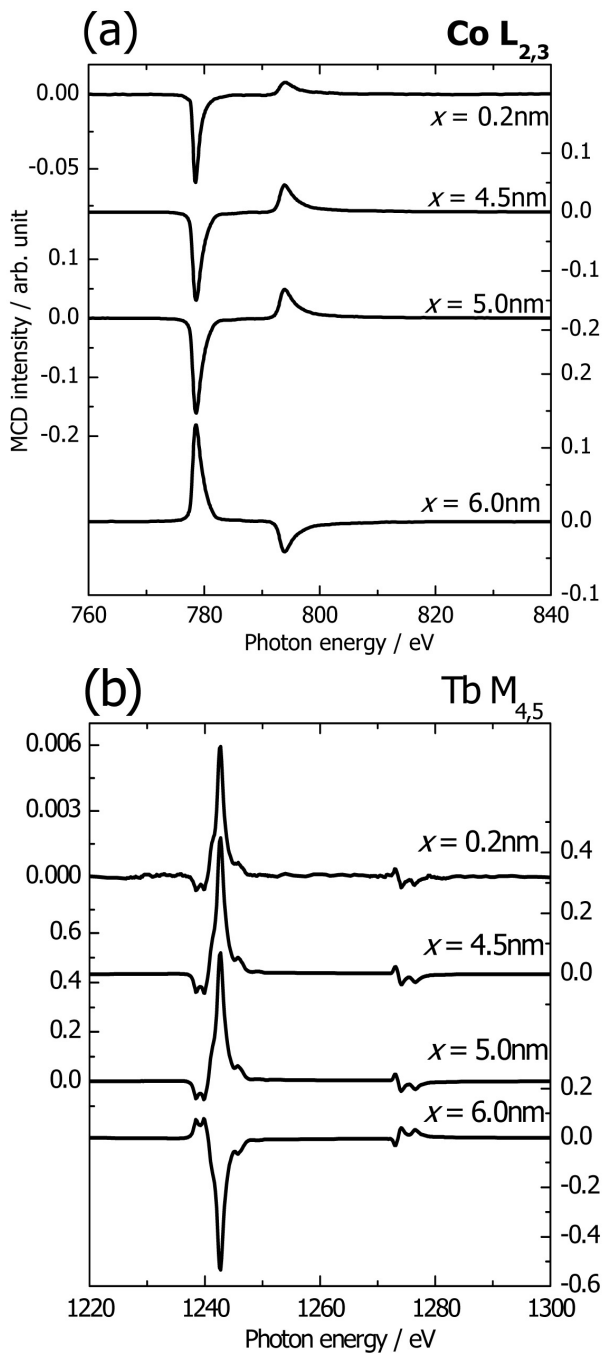


Fig. 2 MCD spectra of [TbCo (x nm)/Pd (0.8 nm)]₂₀ films at (a) Co- $L_{2,3}$ edges and (b) Tb- $M_{4,5}$ edges.

ことから Co と Tb それぞれの磁気モーメントが相殺されることにより、補償層厚では見かけ上マクロには磁化を持たないと説明できる。また $x=0.2$ nm では Co の軌道磁気モーメントが Co/Pd 多層膜のそれと同様の大きさであり、かつ Tb の軌道磁気モーメントは非常に小さい。これよりこの層厚では Co/Pd 多層膜同様

に Co と Pd の界面における垂直磁性が大勢であることがわかる。層厚の増加に伴い、特に Tb では軌道・スピン磁気モーメントともにバルクの値に漸近することから、徐々にアモルファス合金としての垂直磁性が大半を占めてくると考えられる。

さらに、Co L_3 端、Tb M_5 端 MCD ピークにおける ESMH を測定したところ、層厚によっては ESMH とマクロな磁化曲線のループ形状が異なることなどが明らかになった。現在その原因について詳細な議論を進めている。

今後の課題

本研究から特に補償層厚付近での本多層膜の磁気特性変化を元素毎に明らかにすることに成功した。今後は垂直磁化→面内磁化→垂直磁化と変化する層厚や Pd 端での MCD, ESMH 等の測定から、本多層膜の示す垂直磁気複合効果の全体像を明らかにする。

参考文献

- 1) H. Awano *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.*, **126** (1993) 550.
- 2) B. Thole *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **68** (1992) 1943.

キーワード

1. 垂直磁気記録方式

1977 年に岩崎俊一教授（現、東北工業大学学長）によって提唱された磁気記録方式。従来の長手記録方式と比べて、高密度記録が可能であり、最大 1Tbit/inch² を目標に現在開発が盛んに行われている。既に垂直磁気記録方式を採用した HDD などが国内メーカーより市販されている。