

軟 X 線磁気円二色性による [Co/Pd] 多層膜垂直磁気記録媒体の  
微細構造と垂直磁気異方性の研究  
The Study of Microstructure and Perpendicular Magnetic Anisotropy  
in [Co/Pd] Multilayered Perpendicular Magnetic Recording Media  
with Soft X-Ray Magnetic Circular Dichroism

朝日 透、逢坂 哲彌、川治 純、佐山 淳一、橋本 英樹、田中睦美、安居院あかね<sup>1</sup>、  
水牧仁一朗<sup>2</sup>

Toru Asahi, Tetsuya Osaka, Jun Kawaji, Junichi Sayama, Hideki Hashimoto, Mutsumi Tanaka, Akane Agui<sup>1</sup>,  
Jinichiro Mizumaki<sup>2</sup>

早稲田大学、原子力研究所<sup>1</sup>、高輝度光科学研究センター<sup>2</sup>

WASEDA Univ., JAERI<sup>1</sup>, JASRI<sup>2</sup>

#### アブストラクト

N<sub>2</sub> 添加して成膜した [Co/Pd] 多層膜および [CoB/Pd] 多層膜垂直磁気記録媒体につき Co の L<sub>2,3</sub> 端の XAS および MCD を測定した。XAS および MCD 実験結果に総和側を用いて軌道磁気モーメント  $\langle L_z \rangle$ 、スピン磁気モーメント  $\langle S_z \rangle$ 、 $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ 、および  $\langle L_z \rangle + 2\langle S_z \rangle$  を求めた。[Co/Pd] 多層膜の Co 原子層への B 原子の添加および [Co/Pd]、[CoB/Pd] 多層膜成膜時の N<sub>2</sub> 添加により、 $\langle L_z \rangle$  および  $\langle S_z \rangle$  は減少することが明らかとなった。

#### Abstract

XAS and MCD spectroscopy in soft x-ray region for [Co/Pd] and [CoB/Pd] multilayered perpendicular magnetic recording media were measured. With an application of sum rule to their results, the orbital magnetic moment  $\langle L_z \rangle$ , spin magnetic moment  $\langle S_z \rangle$ ,  $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ , and  $\langle L_z \rangle + 2\langle S_z \rangle$  in them were calculated. It was revealed that the introduction of B element to the Co sublayer in the [Co/Pd] multilayered film and the addition of N<sub>2</sub> gas during the sputtering of the [Co/Pd] or [CoB/Pd] multilayered film decrease both values of  $\langle L_z \rangle$  and  $\langle S_z \rangle$ .

#### 本文

Co 層と Pd 層の積層構造（以下、[Co/Pd] 多層膜）および Co 層に B を微量添加した多層膜（[CoB/Pd] 多層膜）を磁気記録層に用いた垂直磁気記録媒体は、それらの強い垂直磁気異方性により超高密度磁気記録を実現できる媒体として大きな期待が寄せられている。しかしながら、それら媒体には、10 ナ

ノメートルほどの粒径をもつ結晶粒子から構成されるおよそ 100 ナノメートルサイズの磁気クラスターが存在し、これが [Co/Pd] 多層膜媒体の電磁変換特性におけるノイズの要因となっていることが判っている。このクラスターリングの起因は、[Co/Pd] 多層膜媒体の面内方向に発現する強い粒子間交換結合であることが明らかとなっており、

[Co/Pd]多層膜系の記録媒体を用いて超高密度磁気記録を可能にするためには、その磁気クラスター径を10ナノメートルオーダーにすることが命題として課せられている。

磁気クラスターの微細化には、それを構成する結晶粒子の微細化のみならず、結晶粒子間の交換結合を抑制して結晶粒子の孤立化を促進させる必要がある。ところが、これまでの研究によると、[Co/Pd]多層膜系媒体は、結晶粒子を微細化ならびに孤立化を促進させると、それとともに垂直磁気異方性定数  $K_u$  が減少する、すなわち垂直磁気異方性が劣化するという難点が指摘されている。したがって、このトレードオフの関係を打破できる[Co/Pd]多層膜系媒体の媒体材料設計の指針を得ることは磁気記録の研究における緊要なテーマとなっている。

本研究では、[Co/Pd]多層膜系媒体の結晶粒子の微細化および孤立化により惹起される垂直磁気異方性の低減の要因を明らかにするために、軟 X 線吸収 (XAS) および磁気円二色性 (MCD) を用いて[Co/Pd]多層膜系媒体の微細構造変化と垂直磁気異方性の関係を調べ

ることを目的としてその端緒を得ることとした。

われわれは[Co/Pd]多層膜および[CoB/Pd]多層膜を磁気記録層としてスパッタ成膜する際に  $N_2$  ガスを添加すると媒体の磁気特性が大きく変化することを明らかにしている。しかしながら、その  $N_2$  添加成膜の効果が媒体の微細構造の変化（この場合結晶粒径および結晶配向性の変化）のみならず Co の電子状態までも変化させているか否かの正否は明らかとなっていなかった。そこで、 $N_2$  添加して成膜した[Co/Pd]多層膜および[CoB/Pd]多層膜媒体につき Co の  $L_{2,3}$  端の XAS および MCD を測定し、その特徴を調べた。

MCD 測定試料の作製は DC マグネトロンスパッタリング装置を用いて行った。膜構成は[Co あるいは CoB (0.2 nm)/Pd (0.8 nm)]<sub>20</sub>/Pd (5 nm)/基板)とし、基板には Si(100)単結晶を用いた。背圧は  $3 \times 10^{-7}$  Torr 以下とし、Pd 下地層および多層膜成膜時の Ar 圧はそれぞれ 100 mTorr、20 mTorr とした。多層膜成膜時の Ar へ  $N_2$  を添加する際の  $N_2$  分圧は、Co/Pd 多層膜では 0.06 mTorr、CoB/Pd 多層膜では 0.12 mTorr とした。

表 1 MCD 測定試料の磁気特性

試料		$M_s$ (erg/cm <sup>3</sup> )	$H_c$ (Oe)	$\alpha$
Co/Pd	A $N_2$ 添加なし	350	4.8	8.4
	B $N_2$ 添加あり	290	3.9	7.2
CoB/Pd	C $N_2$ 添加なし	270	3.6	7.4
	D $N_2$ 添加あり	220	2.5	4.8

成膜時の基板温度は 20 °C とし、作製した試料の磁気特性は振動試料型磁力計を用いて評価した。

Co/Pd および CoB/Pd 多層膜のガラス基板を用いたときの磁気特性を表 1 に示す。ガラス基板と Si 単結晶基板を用いたときの膜の磁気特性の成膜条件に対する変化は同様であることは確認してある。 $\alpha$ 値は M-H ループの保磁力近傍の傾きであり、結晶粒子間交換結合の強さの指標である。

XAS の測定の結果、[Co/Pd]多層膜、[CoB/Pd]多層膜のいずれの膜でも、N<sub>2</sub> 添加によって、スペクトルのプロファイルが変化することが明らかとなり、とくに Co の L<sub>3</sub> 吸収端近傍に明確な肩が発現することが観測できた。これは、[Co/Pd]多層膜、[CoB/Pd]多層膜の成膜時の N<sub>2</sub> 添加によって Co の電子状態が変化していることを示す初めての実験結果である。

さらに、XAS および MCD 実験結果を解析することにより、総和側を用いて軌道磁気モーメント $\langle L_z \rangle$ 、スピン磁気モーメント $\langle S_z \rangle$ 、 $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ 、および $\langle L_z \rangle + 2\langle S_z \rangle$ を求めた。それらの結果を表 2 に示す。[Co/Pd]多層膜の Co 原子層に B 原子を添加することならびに多層膜成膜時に N<sub>2</sub> 添加することにより、

$\langle L_z \rangle$  および  $\langle S_z \rangle$  は減少することが明らかとなった。

今後、本実験より定量的に得られたマイクロスコピックな磁気物理量と [Co/Pd]多層膜の微細構造および垂直磁気異方性の関係を詳細に調べたい

表 2 総和側を用いて求めた [Co/Pd] 多層膜、[CoB/Pd]多層膜の軌道磁気モーメント $\langle L_z \rangle$ 、スピン磁気モーメント $\langle S_z \rangle$ 、 $\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$ 、および $\langle L_z \rangle + 2\langle S_z \rangle$

試料		$\langle L_z \rangle$	$\langle S_z \rangle$	$\langle L_z \rangle / \langle S_z \rangle$	$\langle L_z \rangle + 2\langle S_z \rangle$
Co/Pd	A	0.341	0.679	0.502	1.699
	B	0.232	0.425	0.544	1.082
CoB/Pd	C	0.254	0.514	0.495	1.282
	D	0.210	0.354	0.593	0.917

