

Pt/[Co/Pt]<sub>n</sub> 周期構造膜における磁気静特性と積層周期数の相関検討

Correlation between magnetic properties and number of Co/Pt cycles in Pt/[Co/Pt]<sub>n</sub> periodic structure films

○下段翔<sup>1</sup>, 北澤楓太<sup>2</sup>, 吉川大貴<sup>3</sup>, 塚本新<sup>3</sup>

\*Sho Shimodan<sup>1</sup>, Fuuta Kitazawa<sup>2</sup>, Hiroki Yoshikawa<sup>3</sup>, Arata Tukamoto<sup>3</sup>

**Abstract :** In this report, we investigated the magnetization properties and Faraday rotation of Pt/[Co/Pt]<sub>n</sub> periodic films. The results indicate the possibility of the existence of a mechanism contributing to the magnetic moment distribution other than the internal magnetism of Co and the magnetism derived from the interface effect. On the other hand, in the Pt/[Co/Pt]<sub>n</sub> periodic film with a complex magnetic structure, it is shown that the magnetic moment and magneto-optic effects may be caused by the same magnetic structure.

1. はじめに

Co/Pt 多層膜は、強磁性体である Co 固有の磁気モーメントに加え、Co 層と Pt 層の界面において生じる強いスピン軌道相互作用により界面から数原子層の Pt に誘起される磁気モーメントが存在する<sup>[1]</sup>。加えて高い垂直磁気異方性を示し、これまで磁気記録やメモリの媒体として精力的に研究されてきたフェロ磁性体である<sup>[2]</sup>。さらに、高強度の超短パルスレーザーによる磁化制御や計測など、磁気動特性についての検討<sup>[3]</sup>も活性化されている。ピコ秒オーダーの光学計測では積層構造内の光学条件、対象の磁気構造を十分に考慮する必要がある。本検討では Pt/[Co/Pt]<sub>n</sub> 周期構造膜を用いて、Co/Pt 層の積層周期数 *n* を変調させた際の磁化特性、Faraday 回転角を測定し、各膜構成における評価を行うとともに、それら物理量の関係の解明を試みた。

2. 実験方法

測定試料としてマグネトロンスパッタ法により作製した Pt (3 nm)/[Co (0.6 nm)/Pt (3 nm)]<sub>n</sub>/SiN (5 nm)/X sub. (*n* = 1, 2, 3) (*X* = Si, カバー glass)を用いる。これら測定試料は、Co/Pt 二層を 1 ユニットとした積層周期数 *n* が異なり、Co 内部の磁性と界面効果による磁性の成分の総和として考えたときの磁化量が、*n* = 1 の膜に対して、1 倍、2 倍、3 倍 (*n* = 1, 2, 3) となるとし作製した。Si 基板の試料群の磁化量を振動試料磁力計 (SQUID-VSM) を用いて測定した。また、カバー glass 基板の試料群に対し、Fig. 1 に示す磁気光学測定システムにて Faraday 効果測定を行った。波長 632 nm の He-Ne レーザから取り出した直線偏光を試料に垂直入射し、試料透過光の光強度より Faraday 回転角  $\theta_F$  を求めた。また、同一光源を用いて透過率の測定も行った。

3. 結果と考察

3-1 Co/Pt 多層膜試料群の磁化特性測定

Fig. 2 に、SQUID-VSM による Si 基板上に製膜された Co/Pt 多層膜試料群の磁化特性の測定結果を示す。グラフより保磁力は *n* = 1 のとき 40 Oe 程度、*n* = 2, 3 のとき 130 Oe 程度を示した。また、単位膜面積当たりの飽和時の磁化量 *M* は積層周期数 *n* の増加に伴い増大を確認した。本試料が積層構造であり磁性薄膜としての評価が困難であるため、Fig. 3 に積層周期数 *n* に対する単位面積当たりの飽和磁化  $M_S \cdot t$  のグラフを示す。単位膜面積当たりの磁化量は積層周期に対して概ね比例したものの、完全な比例傾向は示さなかった。特に *n* = 3 の膜については、他試料との比較から、Pt/Co/Pt 層当たりの磁化量が減少傾向となった。以上より、Co/Pt 層の単調な増加に対して、磁化量の大きさは単調には増加しないことを示した。

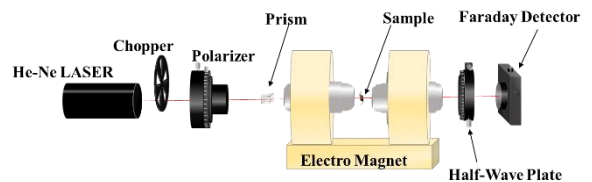


Fig. 1 Magneto-optical effect measurement system

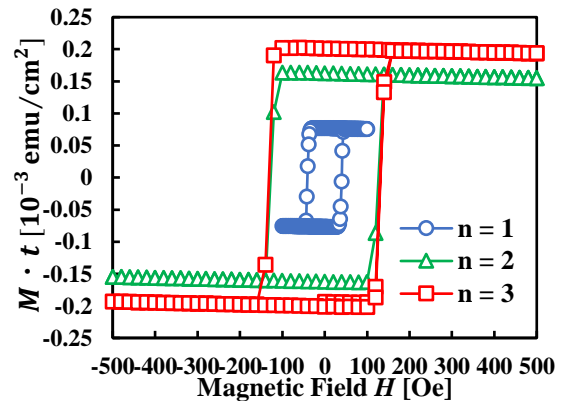


Fig. 2 Dependence of magnetization on Co/Pt cycles

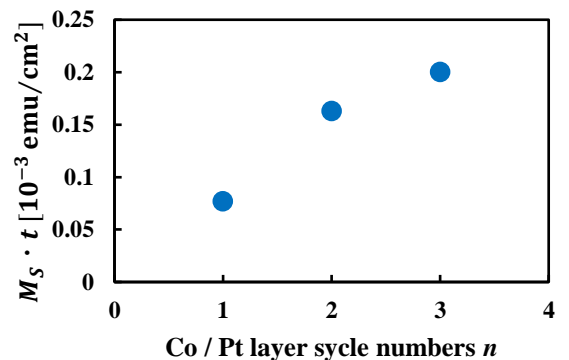


Fig. 3 Dependence of saturation magnetization on Co/Pt cycles

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・院(後)・電子 3: 日大理工・教員・電子

### 3-2 Co/Pt多層膜試料群における Faraday 効果

Fig. 4に Faraday 効果測定結果を示す。結果として保磁力は  $n = 1$  のとき 70 Oe 程度,  $n = 2, 3$  のとき 160 Oe 程度を示した。この保磁力の値は Si 基板の試料群の磁化特性の結果と同様,  $n = 1$  の場合のみ他試料に比べ非常に小さく,  $n = 2, 3$  の場合の保磁力が概ね同値を示した。また, 積層周期数  $n$  の増加に対し飽和時の Faraday 回転角  $\theta_F$  が増大している。Fig. 5 に無磁場下の Faraday 回転角を示す。Faraday 回転角は積層周期に対し単調に増加し, 積層周期数に対する Faraday 回転角の結果の分布は単位面積当たりの磁化量の傾向と同様である。カバー-glass 基板上に製膜された試料群の Fig. 6 に透過率の測定結果を示す。積層周期数の増加に従い, 透過率が単調に減少している。これより, 膜厚増加に応じた透過率の指数関数的減少を傾向として確認した。

### 3-3 Co/Pt多層膜試料群の磁化量と Faraday 回転角の相関

Pt/[Co/Pt] $n$  周期構造膜の試料群において単位面積当たりの磁化量  $M_s \cdot t$  と Faraday 回転角の関係を検証するため, Fig. 7に単位面積当たりの飽和磁化  $M_s \cdot t$  に対する Faraday 回転角  $\theta_F$  の結果を示す。 $M_s \cdot t$  と Faraday 回転角は比例傾向を示した。これより, 本試料群において, 磁気モーメントの分布が膜厚方向で一定でない周期構造の磁性体に存在する磁化量と Faraday 回転角が一定の相関を持つ可能性を示した。以上より, Pt/[Co/Pt] $n$  周期構造膜において, 各 Pt/Co/Pt 層ユニットにおける Co 内部の磁性と Co/Pt 界面効果による磁性の成分の総和が異なる可能性を示した。すなわち先述の磁性の成分以外に, 磁気モーメント分布に関わる機構が磁性層内で存在し, その寄与が Co/Pt 層の積層数に応じて変化する可能性を示した。一方,  $M_s \cdot t$  と Faraday 回転角には明確な比例関係が確認された。複雑な磁気構造を有する Pt/[Co/Pt] $n$  周期構造膜ではあるが, 磁気モーメント及び磁気光学効果は同様の磁気構造に由来し発現している可能性が示された。

## 4. まとめ

Co/Pt 多層膜における積層周期数に対する磁気構造の解明を試み, 積層周期数の異なる Pt/[Co/Pt] $n$  周期構造膜を用いて, 磁化特性の測定と磁気光学効果による Faraday 回転角の測定を行った。結果として, 磁化量及び Faraday 回転角は積層周期数に対して比例傾向を示さず, 磁化量と Faraday 回転角が比例傾向を示した。これら結果より, Co 内部磁性と界面効果由来の磁性以外に, 磁気モーメント分布に寄与する機構が存在する可能性が示された。一方, 複雑な磁気構造を有する Pt/[Co/Pt] $n$  周期構造膜において, 磁気モーメント及び磁気光学効果が同様の磁気構造に由来し発現している可能性が示された。

## 5. 参考文献

- [1] 鈴木基寛, 村岡裕明. "Co/Pt 磁性膜の Pt 層に誘起された磁気モーメントとその異方性." 放射光 17.4 (2004)
- [2] Yakushiji, Kay, et al. Applied Physics Express 8.8 (2015)
- [3] Mizukami, Shigemi, et al. "Gilbert damping in perpendicularly magnetized Pt/Co/Pt films investigated by all-optical pump-probe technique." Applied Physics Letters 96.15 (2010)

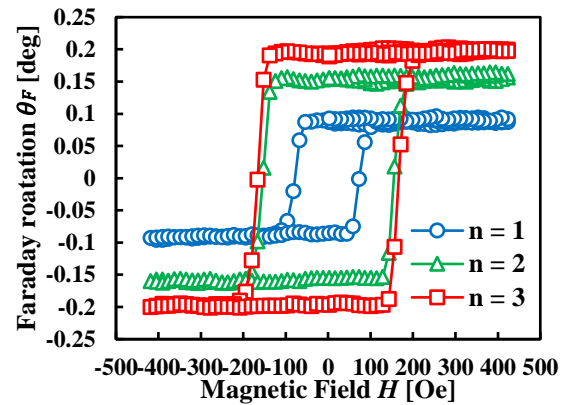


Fig. 4 Dependence of Faraday rotation angle on Co/Pt cycles

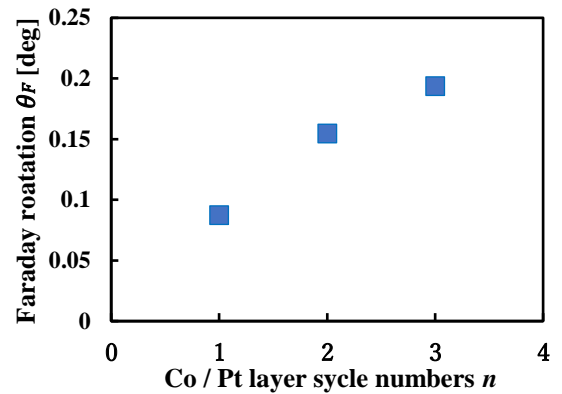


Fig. 5 Dependence of Faraday rotation angle at zero magnetic field on Co/Pt cycles

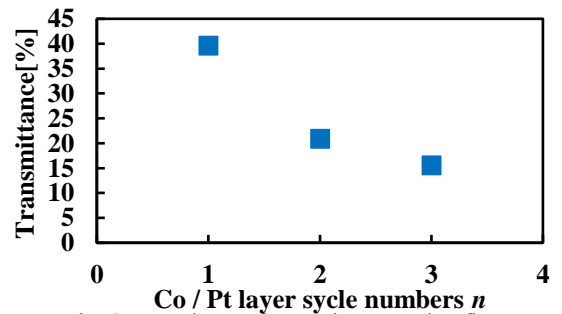


Fig. 6 Dependence of transmittance and Reflectance on Co/Pt cycles

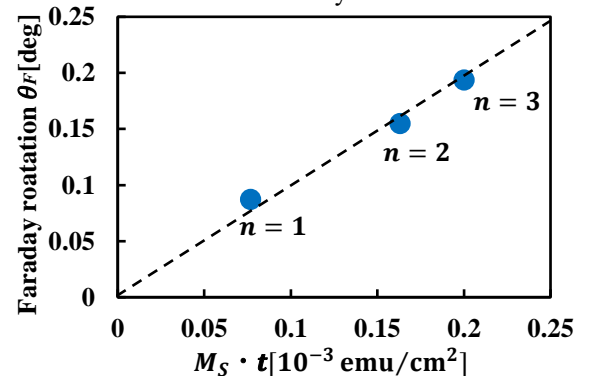


Fig. 7 Connection between Magnetization and Faraday rotation angle