

低積層周期 Pt/[Co/Pt]_n (n = 1~3) における磁気特性 Magnetic properties in low stacking period Pt/[Co/Pt]_n (n = 1 to 3)

○檜垣俊充¹, 吉川大貴², 塚本新²*Toshimitsu Higaki¹, Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

Abstract : In this report, we measured and evaluated the magnetic properties of a Co/Pt magnetic multilayer film by modulating the number of stacking periods in order to investigate how the magnetic properties change when the number of stacking periods is modulated. As a result, measurements in the direction perpendicular to the film surface showed a high squareness ratio at all stacking periods, and we confirmed that the coercivity and magnetic moment tended to increase, albeit nonlinearly, with an increase in the stacking period. This suggests that it is possible to design the magnetic properties of a Co/Pt magnetic multilayer film by modulating the stacking period.

1. 背景

スピントロニクスという分野が形成され、磁気デバイスの微細化や複合機能性材料創生のため数nm ~数十nm で高い磁気異方性を持つ磁性薄膜の研究が継続して盛んにおこなわれている。特に磁性原子・分子と異種の原子・分子を数原子層のオーダで積層した薄膜は、数原子層の超薄膜を積層すると膜厚方向に結晶と同じような周期性を示し、実質的に人工的な結晶と見なすことができるため磁性人工格子または単に多層膜と呼ばれる^[1]。超薄膜の挿入による結晶配向の誘導や異種元素間の界面の平坦性の向上を意図した製膜条件の最適化など様々な先行研究が存在している。これらの先行研究では界面の改質による磁気異方性や磁気抵抗比の増大を目的としていることが多い。しかし磁性多層膜における積層周期数による磁化量の増減や磁化特性の変化については明らかにされていないためデバイスを行う際に必要な指針が立てにくいという問題がある。本検討では磁気トンネル接合などの磁性多層膜デバイスに組み込まれることが多く、膜面垂直方向に磁化容易軸をもつことが知られている^[2]Co / Pt 磁性多層膜の積層周期数の変調による磁気特性の評価を行った。

2. 実験方法

測定試料として Fig. 1 に示すような Pt (3 nm) / [Co (0.6 nm) / Pt (3 nm)]_n / SiN (5 nm) / Si sub. (n = 1, 2, 3) をマグネトロンスパッタ法により製膜を行った。これらの測定試料群は Co が Pt に挟まれた構造を 1 ユニットとした積層周期数 n が異なり Co の磁性と界面効果による磁性の成分として考えたときの磁化量が積層周期数に比例して増加すると仮定し作製した。本試料群に対する磁気特性の評価として、振動試料型磁力計 (SQUID-VSM) により膜面垂直方向と面内方向に磁界を印加し、印加磁界毎の磁気モーメントを測定した。測定した磁化量を膜面積で除することで膜面積当たりの磁気モーメント量 $M_{\perp} \cdot t$, $M_{\parallel} \cdot t$ [emu/cm²] を算出した。

3. 実験結果と考察

3-1 Co / Pt 磁性多層膜試料群の膜面垂直方向磁化特性

Fig. 2 に SQUID-VSM による Co / Pt 磁性多層膜試料群の膜面垂直方向磁化特性の測定結果を示す。膜面垂直方向の磁化特性グラフより保磁力は n = 1 のとき 40 Oe 程度, n = 2, 3 のとき 120 Oe, 130 Oe 程度を示した。よって保磁力については積層周

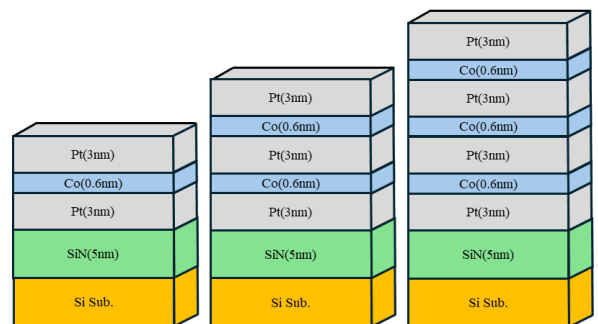
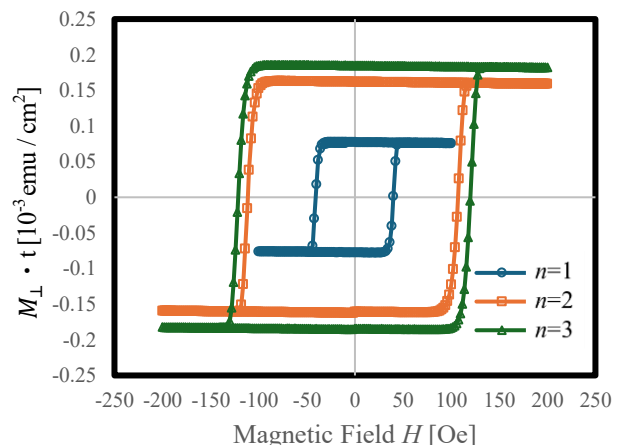
Fig. 1 Samples : Pt / [Co / Pt]_n layers

Fig. 2 Hysteresis of Co / Pt cycles (Out of plane)

期数により非線形ではあるが増加することが分かる. Fig. 3 に示した膜面積当たりの飽和磁化についても積層周期に対して非線形ではあるが増加の傾向が得られた. また各積層周期における角型比を算出すると $n = 1, 2, 3$ のすべてにおいて0.99程度となり, 本検討における試料群では積層周期によらずに高い角型比の垂直磁化膜となることが確認できる. よってCo/Pt磁性多層膜において単層 ($n = 1$) のみとの磁性層が薄い場合でも膜面垂直方向の磁化容易軸を持つことと角型比高いというを2つの特徴があり, 単調な積層を繰り返すことでその特徴を変えずに薄膜全体の磁気モーメント量や保磁力を増大させる設計が可能であることを示唆した.

3-2 Co / Pt 磁性多層膜試料群の膜面内方向磁化特性

Fig. 4 に SQUID-VSM による Co / Pt 磁性多層膜試料群の膜面内方向磁化特性の測定結果を示す. $n = 2, 3$ の場合, 同様の特徴を有する回転磁化成分を主とした形状が得られ, 膜面垂直方向の磁化特性より示された角型比の高い結果と一致すると言える. また, より詳細な特性として印加磁場に対して磁化率が2つの領域を示しており膜厚方向に対する複合磁気構造の存在が示唆される.

4. まとめ

本報告では磁性多層膜における積層変調による磁気特性のデザインの指標を探るべく, 積層周期数の異なる Co/Pt 磁性多層膜試料群にて膜面垂直方向・面内方向磁化特性の測定を行った. 結果, 積層周期数による非線形な磁気モーメント量と保磁力の増大傾向が確認できた. どの積層周期についても高い角型比をもつ形状が膜面垂直方向の磁化特性から確認できることから Co / Pt 磁性多層膜試料群において膜面垂直方向の磁化容易軸を持つと考えられる. よって磁性層が薄い単層の場合でも膜面垂直方向の磁化容易軸と高い角型比を持ち, 積層を繰り返すことで垂直磁気異方性を維持したまま薄膜全体の磁気モーメント量や保磁力を増大させるデザインが可能であることを示唆した.

5. 参考文献

[1] 本間基文, 日口章:「磁性材料読本」, 1989
 [2] 佐橋政司, 湯浅新治, 遠藤哲郎:「スピントロニクスハンドブック」, 2023

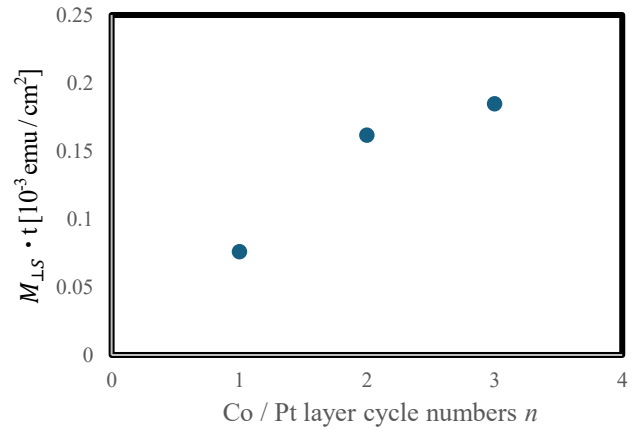


Fig. 3 Saturation magnetization ($n = 1, 2, 3$)

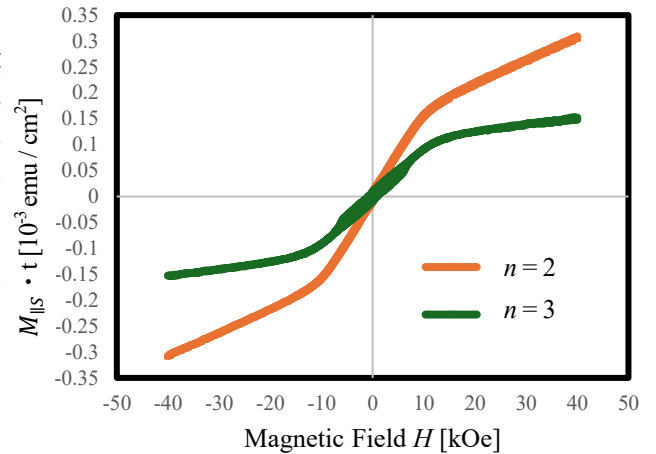


Fig. 4 Hysteresis of Co / Pt cycles (In plane)