Co/Pt 多層膜の磁気特性に及ぼす基板バイアス効果

Effects of Bias Modulation on Magnetic Properties of Co/Pt Multilayered Films

吾郷純也・縄手雅彦・本多茂男

広島大学工学部, 東広島市鏡山 1-4-1 (〒724)

J. Ago, M. Nawate and S. Honda

Faculty of Engng., Hiroshima Univ., 1-4-1, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 724

Co/Pt multilayers were prepared by RF sputtering method. The substrate bias voltage V_B was applied during sputtering Co (or Pt) at the glass substrate, from 0 V to -70 V. In Co biased films, the perpendicular anisotropy K_u increases with V_B and shows maximum at -50 V, because the flatness and sharpness of the interface and the fcc (111) orientation become best at -50 V. The increase in K_u arises from the improvement of both the surface and volume anisotropy. On the other hand, in Pt biased films the mixing of Co and Pt occurs at the layer boundaries, resulting the decrease in K_u , for $V_B \geq -50$ V.

Key words: Co/Pt multilayers, bias sputtering perpendicular anisotropy, surface anisotropy

1. はじめに

Co/Pt 多層膜は、高い垂直磁気異方性を持ち¹⁾、短波長可視領域でのカー効果が大きいこと²⁾から、次世代の光磁気記録材料として有望視されている。その後、Gredanus ら^{3), 4)} や、Hashimoto ら⁵⁾ によって光磁気記録実験も行われ、実用に向けて研究が進められてきた。また、その物性的な方面では、垂直磁気異方性⁶⁾、磁化過程⁷⁾および保磁力の起源⁸⁾などに関する研究がなされている。

Co/Pt 多層膜をスパッタするとき、基板に負バイアス電圧 V_B を印加した場合、膜の稠密性や界面の平坦性、結晶配向特性が大きく変化し、その結果磁気特性が変化する。特に、 $V_B = -30$ V を印加したとき、垂直保磁力 H_c が減少し、滑らかなストライプ磁区構造が観察されることを我々は報告した⁹⁾。

ここでは、垂直磁気異方性の起源を探ることを目的として、Co 層を成膜するとき、あるいは Pt 層を成膜するときのみバイアス電圧 V_B を印加することにより、Co と Pt との積層界面での内部応力に違いをもたせて、垂直異方性エネルギー K_u に及ぼす効果を調べた。

2. 実験方法

Co/Pt 多層膜は、基板回転二元高周波スパッタ法により、水冷スライドガラス基板上に作成した。到達圧力は、 1.0×10^{-7} Torr 以下、スパッタ中の Ar 圧力は、10 mTorr とした。Co 層、Pt 層を堆積するときの投入電力はそれぞれ 30 W、50 W とし、各層の厚さは基板回転速度の変化により制御した。全膜厚は約 670 Å で一定とした。基板バイアス電圧 V_B は、0 ~ -70 V の範囲で変化させた。なお -100 V 以上では再スパッタ効果により膜が不均一になった。

磁気特性は VSM で測定し、膜構造は X 線回折法によって調べた。また、組成は RBS で調べた。

3. 実験結果と考察

Pt 層のみ、あるいは Co 層のみに基板バイアス電圧 V_B を印加して作成した Co/Pt 多層膜の磁化曲線を Fig. 1 に示す。Co 層厚は約 4 Å、Pt 層厚は約 11 Å で一定になるように作成した。以下、Pt 層のみに V_B を印加した膜を Pt バイアス膜、Co 層のみに印加した膜を Co バイアス膜と呼ぶことにする。 $V_B = 0$ V の膜では、角形比が良く、保磁力も 1 kOe 以上の垂直磁化膜となっている。Pt バイアス膜では、-10 V および -30 V のバイアス電圧を印加した場合、以前に報告した Pt、Co 両層にバイアスを印加した場合と同様、垂直磁化膜の特性を示し、保磁力 H_c が減少する。 $V_B = -50$ V では、磁化が減少し、垂直ループと面内ループがほぼ一致しており、垂直磁気異方性が減少したことを示す。さらにバイアス電圧を大きくし、 $V_B = -70$ V ではほとんど磁化がなくなってしまう。一方、Co バイアス膜では、Pt バイアス膜と異なり、 $V_B = -70$ V においても垂直磁化膜の特性を示す。

飽和磁化 M_s の V_B 依存性を Fig. 2 に示す。Pt バイアス膜では -30 V を超えると飽和磁化 M_s が減少するのに対し、Co バイアス膜では -50 V で最大値をとる。-50 V 以上の Pt バイアス膜では、後で示すように界面

Fig. 1 Hysteresis loops of Co/Pt multilayers of $[\text{Co}(4\text{\AA})/\text{Pt}(11\text{\AA})]_{45}$ for various V_B .

での合金化により室温付近までキュリー点が下がり、 M_s が減少したものと考えられる。Co バイアス膜での M_s の増加は、バイアス印加による密度の増加によるものと考えられる。後述するように、Pt 層厚を 11 Å 一定にし、Co 層厚を変えて作成した膜での Co 層当たりの平均磁化 M_{Co} は -30 V, -50 V 共に約 1420 emu/cm³ でバルクに近い値を示す。Fig. 3 に垂直磁気異方性 K_u の V_B 依存性を示す。ほぼ M_s の変化に対応しており、Pt バイアス膜では -30 V で極大値を示し、それ以上の V_B で K_u は減少する。他方、Co バイアス膜では、 K_u は -50 V で最大となる。

Fig. 4 に X 線回折スペクトルを示す。Pt バイアス膜では、 V_B の増加とともに fcc(111) 面のピーク強度が増加しており、(111) 面の配向特性が V_B 印加により向上することを示している。また、-30 V および -50 V で (111) 面のサテライトピークが現れ、 $2\theta = 10^\circ$ 付近に X

Fig. 2 V_B dependence of saturation magnetization.

Fig. 3 V_B dependence of perpendicular anisotropy energy K_u .

線小角散乱の二次回折ピークが確認され、それらの強度は -30 V のとき最も大きくなる。したがって、-30 V のとき層界面が最も平坦で組成変調および格子変調が急峻になるものと考えられる。一方、Co バイアス膜では、-50 V で (111) 面のピーク強度、サテライトピークおよび二次の小角散乱回折ピークの強度が最大になる。すなわち、-50 V で結晶配向特性が最も良く、さらに層界面が平坦かつシャープになることを示している。また、-70 V でもサテライトピークが確認されており、Pt バイアス膜に比べて界面での合金化が起こりにくいことを示唆している。また、ピーク位置は V_B 印加によって小角側にシフトしている。Pt バイアス膜の方が大きくシフトしており、 V_B 印加による格子間隔の広がり大きいことを示している。

これらの X 線回折スペクトルから求めた (200) 面のピークに対する (111) 面のピークの相対強度を Fig. 5 に示す。Pt バイアス膜では、 V_B とともに (111) 面の相対強度は増加し、(111) 面の配向性が向上する。これに対し、Co バイアス膜では、相対強度は -50 V で最大になり、このとき、(111) 面の配向性が最も良くなる。Co バイアス膜の場合、この相対強度の変化は Fig. 3 の K_u の

Fig. 4 Change in X-ray diffraction due to V_B .

Fig. 5 Relative intensity of fcc (111) peak to fcc (200) peak versus V_B .

変化とよく対応しており、(111)面の配向性の向上に伴い結晶磁気異方性が誘起されているものと考えられる。一方、Pt バイアス膜の場合、(111)面の配向性と K_u との対応がみられないことから、Pt バイアス膜における K_u の V_B 依存性には上述の格子間隔増大に伴う格子歪など他の要因が含まれているものと考えられる。

X線小角散乱の一次回折ピーク強度の V_B 依存性を Fig. 6(a) に示す。また、(111)面のピーク強度に対するサテライトピークの相対強度を Fig. 6(b) に示す。Pt バイアス膜では -30 V で、また Co バイアス膜では -50 V で最大値をとっており、これらの V_B で層界面が最も平坦かつシャープになることを示している。Co バイアス膜の場合、これらのピーク強度と K_u の変化はよく対

Fig. 6 Intensity of small angle X-ray diffraction peak for $n=1$ (a) and relative intensity of satellite peak to fcc (111) peak (b).

Fig. 7 $A \cdot K_u$ versus d_{co} for Co biased films of $V_B = -30$ V and -50 V.

応しており、界面の平坦化および組成変調や格子変調の急峻化によって K_s が増加し、その結果 K_u が増大したものと考えられる。Pt バイアス膜では、 K_u は -30 V で極大を示し定性的にピーク強度の変化と対応しているが、その絶対値は 0 V 膜の値より小さく、格子歪などの効果が関与しているものと考えられる。

上述のように、界面異方性エネルギー K_s と、Co 層の体積異方性エネルギー K_v の両方が V_B によって変化する

Table 1 Surface anisotropy K_s , volume anisotropy K_v and saturation magnetization per Co volume, M_{Co} , for Co biased films

V_B (V)	K_s (erg/cm ²)	$K_v - 2\pi M_{Co}^2$ ($\times 10^6$ erg/cm ³)	M_{Co} (emu/cm ³)	$2\pi M_{Co}^2$ ($\times 10^6$ erg/cm ³)	K_v ($\times 10^6$ erg/cm ³)
0V	0.30	-9.5	1100	7.6	-1.9
-30V	0.40	-11.8	1420	12.7	0.9
-50V	0.43	-10.6	1420	12.7	2.1

るものと考えられるので、 K_s および K_v を見積るために Co バイアス膜について、 K_u の Co 層厚 (d_{Co}) 依存性を調べた。Fig. 7 は 0 V と -30 V, -50 V の Co バイアス膜に対する $\Lambda \cdot K_u$ と d_{Co} の関係を示す。 K_u と d_{Co} の間には、

$$\Lambda \cdot K_u = 2K_s + d_{Co} \cdot (K_v - 2\pi M_{Co}^2) \quad (1)$$

なる関係が成立する。ここに M_{Co} は Co 層の飽和磁化で、各バイアス膜に対する値は Table 1 に示すように見積られる。Fig. 7 の直線関係から、 K_s , K_v を見積ることができる。これを Table 1 に示す。0 V 膜の K_s , $K_v - 2\pi M_{Co}^2$ の値は den Broeder ら¹⁰⁾の値とはほぼ一致する。また、文献 9 の値と少し異なるが、これは層厚比一定であるか、Pt 層厚一定であるかの相違に起因するものと考えられる。 K_s , K_v 共に V_B の増加とともに大きくなることが分かる。 K_v は 0 V 膜のとき負であるが、-30V で正になり、-50 V ではバルクの値 3.8×10^6 erg/cm³¹¹⁾ に近い値を示す。これは、結晶配向性の向上によるものと考えられる。また、 K_s の増大は V_B による界面の平坦性および組成変調や格子変調の急峻性の向上に起因する。

4. ま と め

バイアス電圧によって、膜構造および結晶配向性が変化し、それに対応して K_u が変化することが分かった。Co バイアス膜では K_u の変化と (111) 面の配向性、界面の平坦性および組成変調や格子変調の急峻性が対応しており、 K_u に対して結晶磁気異方性による K_v と、界面異方性 K_s が影響を与えていると考えられる。Pt バイアス膜では K_u の変化と (111) 面の配向性の V_B 依存性との

対応はみられないが、界面の状態の変化とは定性的に対応している。 K_u の Pt バイアス依存性については今後の課題である。

最後に、RBS の測定に際して御助力いただいた本学 共通講座 西山文隆助手、本研究を初めるに当たり御指導いただいた楠田哲三名誉教授に謝意を表します。なお、本研究は文部省科学研究費重点領域 (I) (課題番号 03240105) の援助のもとに行われた。

文 献

- 1) P. F. Carcia: *J. Appl. Phys.*, **63**, 5066 (1988).
- 2) W. P. Zeper, F. J. A. M. Greidanus, P. F. Carcia and C. R. Fincher: *J. Appl. Phys.*, **65**, 4971 (1989).
- 3) F. J. A. M. Greidanus, W. B. Zeper, F. J. A. den Broeder, W. F. Godlieb and P. F. Carcia: *Appl. Phys. Lett.*, **54**, 2481 (1989).
- 4) F. J. A. M. Greidanus, W. P. Zeper, B. A. J. Jacobs, J. H. M. Spruit and P. F. Carcia: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**, 37 (1989).
- 5) S. Hashimoto, Y. Ochiai: *J. Magn. Magn. Mat.*, **88**, 211 (1990).
- 6) C. H. Lee, R. F. C. Farrow, C. J. Lin, E. E. Marinero and C. J. Chien: *Phys. Rev. B*, **42**, 11384 (1990).
- 7) S. Honda, H. Tanimoto and T. Kusuda: *IEEE Trans. Magn.*, **26**, 2730 (1990).
- 8) S. Honda, H. Tanimoto, J. Ago, M. Nawate and T. Kusuda: *J. Appl. Phys.*, 印刷中.
- 9) 谷本, 吾郷, 縄手, 本多, 楠田: 日本応用磁気学会誌, **15**, 423 (1991).
- 10) F. J. A. den Broeder, W. Hoving and P. J. H. Bloemen: *J. Magn. Magn. Mat.*, **93**, 562 (1991).
- 11) 近角聡信: 「強磁性帯の物理 (下)」, 掌華房, 東京 (1984), p. 35.

1991 年 11 月 12 日受理, 1992 年 1 月 30 日採録