カーボン下地層を有する Co/Pd 多層膜垂直磁気記録媒体の作製

Preparation of Co/Pd Multilayer Perpendicular Magnetic Recording Media with Carbon Under Layer

朝日透¹⁾, 倉持健太郎²⁾, 川治純²⁾, 尾上貴弘²⁾, 逢坂哲彌^{1),2),3)}

早稲田大学各務記念材料技術研究所¹⁾, 理工学部応用化学科²⁾, 理工学総合研究センター³⁾

東京都新宿区大久保 3-4-1 (〒169-8555)

T. Asahi¹⁾, K. Kuramochi²⁾, J. Kawaji²⁾, T. Onoue²⁾, and T. Osaka^{1),2),3)}

Kagami Memorial Laboratory for Materials Science and Technology¹⁾, Department of Applied Chemistry, School of Science and Engineering²⁾,

Advanced Research Institute of Science and Engineering³⁾, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555, Japan

(2000 年 10 月 6 日受理、2001 年 1 月 24 日採録)

Sputter-deposited amorphous carbon was applied as an under layer of Co/Pd multilayer perpendicular magnetic recording media. As the C under layer thickness increased, the perpendicular coercivity H_c and the nucleation field $-H_n$ values increased, whereas the $\alpha (=4\pi(dM/dH)_{H=H_c})$ value decreased. The conspicuous decrement of magnetic domain size with increasing C under layer thickness was observed by MFM analysis. In the read-write characteristic, an increase in the reproduced output and a reduction of the medium noise were both obtained in media that showed a high H_c , a high $-H_n$, and a small α . Results showed that a thicker C under layer enabled the Co/Pd multilayer to accomplish weak magnetic exchange interaction, which leads to high H_c and S/N values.

Key words: amorphous C under layer, Co/Pd multilayer, perpendicular magnetic recording

1. はじめに

Co/Pd 多層膜は、大きな垂直磁気異方性を持つため、耐熱揺らぎ特性に優れた垂直磁気記録媒体用磁性材料として多くの研究がなされている¹⁾⁶⁾。一般に粒子間の交換結合が強い Co/Pd 多層膜媒体では、磁区が大きくなりやすく、大きな媒体ノイズを示すため、磁区の微細化および媒体ノイズの低減が重要な課題となっている。これまでの検討では磁気特性および電磁変換特性の改善のために Co 層に Cr, Ta 等の元素を添加した CoCr/Pd²⁾, CoCrTa/Pd³⁾ 多層膜の適用の検討、高 Ar ガス圧スパッタリング⁴⁾や微量空気導入真空蒸着⁵⁾などの成膜条件の検討、ITO⁶⁾や Au-SiO₂⁷⁾などの下地層付与などの検討が報告されている。Co/Pd 多層膜の垂直磁気異方性は、Co と Pd の界面異方性に起因すると考えられている^{8),9)}。したがって、特に下地層による微細構造制御は、Co/Pd 層界面を保持しながら多層膜の特性改善を図ることが可能であると思われ、大変興味深い手法である。

一方、我々はこれまでに C, Si, Ge などのアモルファス膜を下地層とした Co-Cr-Pt-Ta 垂直磁気記録媒体の諸特性を調べ、下地膜厚を変化させることにより磁気特性および電磁変換特性の制御が可能であることを報告してきた¹⁰⁾。

本研究では、磁区の微細化および低ノイズ化を目的として、アモルファスカーボン下地層を付与した Co/Pd 多層膜垂直磁気記録媒体を作製し、特にカーボン下地膜厚が磁気特性および電磁変換特性に及ぼす影響について調べた。

2. 実験方法

Co/Pd 多層膜媒体はすべて DC マグネトロンスパッタリング装置により作製し、基板には 2.5 インチガラスディスクを用いた。垂直記録層は Co (0.2 nm)/Pd (0.8 nm) の周期でそれぞれ 20 層積層させ総膜厚 20 nm とし、下地層としてカーボンの膜厚 δ_c を 1~100 nm の範囲で成膜した。背圧は 2.0×10^{-7} Torr 以下、多層膜成膜時の Ar 圧は 20 mTorr、基板温度は室温とした。比較として、Co/Pd 多層膜の下地層として広く検討されている Pd^{4),7),11)} を付与した媒体も同様の成膜条件で作製した。磁気特性は振動試料型磁力計(VSM)、磁化状態は磁気力顕微鏡(MFM)を用いた。電磁変換特性はマージ型 MR ヘッド (記録 $G_r = 0.28 \mu\text{m}$, $T_w = 1.45 \mu\text{m}$, 再生 $G_{rs} = 0.2 \mu\text{m}$, $T_r = 0.9 \mu\text{m}$) を用い、線速度 6.35 m/s の条件で測定した。媒体ノイズは 0~50 MHz の積分ノイズからシステムノイズを差し引いた値を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 磁気特性

Fig. 1 に垂直方向保磁力 H_c 、逆磁区核形成磁界 $-H_n$ (図中では $-H_n$)、および保磁力近傍での M-H ループの傾き $\alpha (=4\pi(dM/dH)_{H=H_c})$ のカーボン下地膜厚依存性を示す。 H_c および $-H_n$ はカーボン下地膜厚 10 nm より急激に増大し始め、 $\delta_c = 30 \sim 60$ nm でそれぞれ約 5000 Oe, 4000 Oe 程度のほぼ一定の値を示した。また、カーボン下地膜厚の増加に伴い α は大きく減少する傾向を示した。我々のこれまでの研究により、Pd 下地層を有する Co/Pd 多層膜媒体は、 H_c および $-H_n$ が Pd 下地膜厚の増加により増大する傾向を示すが、 α はほぼ一定の値を示すことが明らかとなっており¹¹⁾、カーボン下地媒体は Pd 下地媒体とは α の挙動が大きく異なることがわかった。

Fig. 2 (a) にガラス基板上 ($\delta_c = 0$ nm) に直接 Co/Pd 多層膜を成膜した媒体 A、およびカーボン下地層 60 nm ($\delta_c = 60$ nm) の上に Co/Pd 多層膜を成膜した媒体 B の垂直方向 M-H ループを示す。また、Fig. 2 (b) に Pd 下地層 120 nm の上に Co/Pd 多層膜を成膜した媒体 C の垂直方向 M-H ループを示す。媒体 B および媒体 C はそれぞれの下地膜厚依存性において最も高い垂直方向保磁力を示した媒体である。Pd 下地媒体 C では、 $H_c = 3900$ Oe, $-H_n = 3700$ Oe, および $\alpha = 11.9$ であるのに対してカーボン下地媒体 B は、 $H_c = 5200$ Oe, $-H_n = 4200$ Oe, および $\alpha = 3.8$ となり、 H_c および $-H_n$ は大きく、 α は小さいことがわかった。また本研究で作製したすべての媒体の垂直角型比は実験誤差内で 1 であった。

Fig. 1 Dependence of H_c (●), $-H_n$ (■), and α (▲) on carbon under layer thickness.

Fig. 3 MFM images at the ac-demagnetized state of $[\text{Co (0.2 nm)/Pd (0.8 nm)}]_{20}/\text{C}$ media with various carbon under layer thickness. (a) $\delta_c=0$, (b) 5, (c) 10, and (d) 60 nm.

以上の結果より、Co/Pd 多層膜媒体においてアモルファスカーボン下地膜厚を変化させることにより、磁気特性の制御が可能であり、カーボン膜厚を増大させることで垂直角型比 1, 高 H_c , 高 $-H_n$ かつ低 α を有する媒体の作製が可能であることが明らかとなった。

3.2 保磁力増大の要因

前章においてカーボン下地層を成膜することにより M-H ループの傾き α が減少し、さらに下地膜厚の増加に伴い α が顕著に減少することを述べた。M-H ループの傾き α は粒子間の交換結合の強さを表すパラメータであると指摘されている¹²⁾。Fig. 3 に VSM で交流消磁した各試料の MFM 像を示す。 $\delta_c = 0$ nm の媒体ではメイズ状の大きな磁区を示しているのに対し、カーボン下地膜厚の増加に伴い、メイズ

Fig. 2 Perpendicular M-H loops for (a) medium A ($\delta_c=0$ nm), medium B ($\delta_c=60$ nm) of $[\text{Co (0.2 nm)/Pd (0.8 nm)}]_{20}/\text{C}$, and (b) medium C of $[\text{Co (0.2 nm)/Pd (0.8 nm)}]_{20}/\text{Pd (120 nm)}$.

Fig. 4 Angular dependence of coercivity for $[\text{Co (0.2 nm)/Pd (0.8 nm)}]_{20}/\text{C}$ ($\delta_c=0$, 5, 10, and 60 nm) media.

状磁区の磁区サイズは減少し、 $\delta_c = 60$ nm の媒体では微細な磁区を示した。これより、カーボン下地膜厚の増加に伴い、粒子間の交換結合が低減していることが示唆された。我々はこれまでの検討からカーボン下地膜厚の増加に伴い、カーボン表面ラフネスが増大する傾向を確認している¹³⁾。このラフネスの変化が磁区サイズの変化に影響を与えた可能性があるが、これについては更なる検討を要する。さらに、このような磁区サイズの変化は磁化反転機構にも大きく影響するものと考えられる。Fig. 4 に保磁力の印加磁界角度依存性を示す。メイズ状磁区を示した $\delta_c = 0, 5$ nm の媒体では、印加磁界角度の増加に伴い保磁力が増加する磁壁移動型の傾向を示すのに対して、微細な磁区を示した $\delta_c = 10, 60$ nm の媒体では、印加磁界角度の増加に伴い保磁力が減少する回転磁化型の傾向を示した。これより、カーボン下地層

Fig. 5 Dependence of (a) reproduced output, (b) medium noise, and (c) S/N on carbon under layer thickness at 200 kFRPI(●), 300 kFRPI(■), and 400 kFRPI(▲), respectively. Dotted lines indicate the data of the longitudinal reference medium in practical use for 10 Gb/in² recording.

を有する Co/Pd 多層膜媒体においては下地膜厚の増加により磁区の微細化が図られ、磁化反転機構が磁壁移動型から回転磁化型に変化することが明らかとなった。以上の理由により、カーボン下地層を有する Co/Pd 多層膜媒体の保磁力増大が図られたと考えられる。

3.3 電磁変換特性

本研究により Co/Pd 多層膜の磁気特性および磁化状態はカーボン下地膜厚を変化させることで大きく変化することが明らかとなった。そこで、カーボン下地膜厚の異なる媒体において電磁変換特性の評価を行った。なお、カーボン下地層厚 100 nm の媒体は、表面ラフネスが大きく電磁変換特性の測定が困難であったため、カーボン下地層厚 60 nm 以下の試料について評価を行った。Fig. 5 に様々な記録密度において測定した(a)再生出力、(b)媒体ノイズ、および(c)S/N 比のカーボン下地膜厚依存性をそれぞれ示す。また、図中の点線は比較として用いた市販面内媒体(記録密度 10 Gbit/in² 相当、 $H_c = 3000$ Oe、 $M_s \delta = 0.4$ memu/cm²)の値である。今回検討したすべての記録密度においてカーボン下地膜厚が増加するにつれて、再生出力は増大し、 $\delta_c = 30$ nm 以上においてほぼ一定の値を示した。また、媒体ノイズに関してもカーボン下地膜厚の増加に伴い単調に低減する傾向を示した。特に、 $\delta_c = 60$ nm における媒体ノイズは、 $\delta_c = 0$ nm に

おけるノイズと比較して約 70% 程度低減している。これらの変化により、カーボン下地膜厚の増大に伴う高 SN 化が達成され、カーボン下地層を 30 nm 以上成膜することにより $\delta_c = 0$ nm の媒体と比較して数十 dB の SN 比の向上が認められた。これまでに、我々は Co-Cr-Pt-Ta 垂直単層磁気記録媒体へのカーボン下地層の適用の検討を行っており、この媒体においてもカーボン下地層厚の増大により高 SN 化が可能であることを明らかにしている¹⁰⁾。しかし、Co-Cr-Pt-Ta 媒体系においてはカーボン下地層厚の増大により磁区の微細化を図ることができず、高記録密度領域では薄いカーボン下地層(1 nm)を有する媒体と比較して高い SN 比が得られないことを確認している^{10),14)}。これに対し、Co/Pd 多層膜垂直磁気記録媒体では、カーボン膜厚の増大により急激に磁区が微細化し 400 kFRPI という高記録密度においてもカーボン下地層の厚い媒体ほど、より高い SN 比を示すことが明らかとなった。しかしながら、本媒体は市販面内媒体と比較して依然高い媒体ノイズを示すため、今後、さらなる磁区の微細化により低ノイズ化を図ることが重要である。

以上の結果から、アモルファスカーボンは Co/Pd 多層膜の下地層として有効であり、30 nm 以上の厚いカーボン下地層を成膜した Co/Pd 多層膜媒体は、新規垂直磁気記録媒体として有望であると思われる。

4. まとめ

アモルファスカーボン下地層を有する Co/Pd 多層膜垂直磁気記録媒体を DC マグネトロンスパッタリングにより作製した。カーボン下地膜厚を増加させるという簡便なプロセスにより、高 H_c (約 5000 Oe), 高- H_n (約 4000 Oe) および低 α (2.6) が達成された。また、カーボン下地膜厚増加に伴い磁区が顕著に微細化し、それにより、磁化反転機構が磁壁移動型から回転磁化型に変化することがわかった。電磁変換特性において、厚いカーボン下地層を有する媒体において再生出力の増大および媒体ノイズの低減が達成され、高 S/N 化が実現できることが明らかとなった。

謝 辞 本研究は日本学術振興会未来開拓研究「原子界面設計による超高密度磁気記録デバイスの研究開発」及び SRC の研究助成を受けて行われた。ここに深謝する。

文 献

- 1) 本多直樹, 大内一弘: 日本応用磁気学会誌, **24**, 1027 (2000).
- 2) G. Chen: *J. Appl. Phys.*, **87** (9), 6887 (2000).
- 3) B. M. Lairson, J. Perez, and C. Baldwin: *IEEE Trans. Magn.*, **30**, 4014 (1994).
- 4) L. Wu, S. Yanase, N. Honda, K. Ouchi: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **21**, 301 (1997).
- 5) L. Wu, N. Honda, K. Ouchi: *IEEE Trans. Magn.*, **35**, 2775 (1999).
- 6) W. Peng, R. H. Victora, J. H. Judy, K. Gao, J. M. Sivertsen: *J. Appl. Phys.*, **87** (9), 6358 (2000).
- 7) 大森広之, 前坂明弘: 第 24 回日本応用磁気学会学術講演概要集
- 8) P. F. Carcia, A. D. Meinhaldt, and A. Suna: *Appl. Phys. Lett.*, **47**(2), 178 (1985).
- 9) S. Tsunashima, M. Hasegawa, K. Nakamura, and S. Uchiyama: *J. Magn. Magn. Mater.*, **93**, 462 (1991).
- 10) T. Onoue, A. Takizawa, T. Asahi, T. Osaka: *J. Appl. Phys.*, in press.
- 11) T. Onoue, J. Kawaji, K. Kuramochi, T. Asahi, T. Osaka: *Digests of PMRC2000*.
- 12) N. Honda, J. Ariake, K. Ouchi, S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, **34**, 1651 (1998).
- 13) T. Onoue, T. Asahi, H. Okuo, Y. Morita, T. Osaka: *IEICE Tech. Rep.*, **MR2000-13**, 5 (2000).
- 14) T. Onoue, T. Asahi, T. Hirayama, J. Hokkyo, T. Osaka: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **23**(S2), 45 (1999).