PtMn 膜を用いたデュアルスピバルブ素子

Dual-Spin-Valve Elements Using PtMn Films

斎藤正路・柿原芳彦・渡辺利徳・小池文人・関 博*・長谷川直也*・佐藤 清・栗山年弘

アルプス電気(株)磁気応用事業部, 新潟県長岡市東高見 1-3-5 (〒940)

*アルプス電気(株)中央研究所, 新潟県長岡市東高見 1-3-5 (〒940)

M. Saito, Y. Kakiyama, T. Watanabe, F. Koike, H. Seki,* N. Hasegawa,* K. Sato, and T. Kuriyama

Magnetic Devices Division, Alps Electric Co., Ltd., 1-3-5 Higashi-Takami, Nagaoka 940

*Central Research Lab., Alps Electric Co., Ltd., 1-3-5 Higashi-Takami, Nagaoka 940

PtMn-dual-spin-valve and PtMn-single-spin-valve unshielded elements using NiFe/Cu/NiFe films with longitudinal hard bias were tested by measuring the transfer curves in various transverse magnetic fields. Transfer curves measured at ± 2 kOe had steep slopes, showing the rotation of the magnetization direction in the free layer from parallel to antiparallel relation to the pinned layer in low magnetic fields. After magnetization of the CoPt hard-magnetic-bias films in a longitudinal direction, the transfer curve measured at ± 200 Oe showed no hysteresis and no Barkhausen-jump. The output of the dual-spin-valve elements increased in proportion to the increase in the sense current, and did not depend on the polarity of the sense current. Further, the asymmetry of the output at ± 40 Oe was found to be flat over a wide range of sense currents from -10 mA to $+10$ mA. The output normalized by the sense current density of the dual-spin-valve element was approximately 1.4 times as large as that of the single-spin-valve element. We have thus demonstrated some advantages of dual-spin-valve elements using anti-ferromagnetic PtMn films.

Key words: dual-spin-valve head, spin-valve head, transfer curve analysis, output asymmetry, antiferromagnetic film, PtMn

1. はじめに

ハードディスク装置における磁気記録の高記録密度化は着実に進歩し、異方性磁気抵抗効果膜を用いた磁気抵抗効果型磁気ヘッドの実用化により、今後は年率 60% の勢いで高記録密度化が進むものと見られている。この高記録密度化を達成し続けるためには磁気ヘッドの再生出力を向上し続けることが必要であり、巨大磁気抵抗効果が Fe/Cr 多層膜において発見されて以来¹⁾、巨大磁気抵抗効果を示す磁性膜を磁気ヘッドに応用する研究が盛んに行われている。その中でスピバルブ膜は低磁界で高感度な巨大磁気抵抗効果を示す²⁾ことから、スピバルブヘッド³⁾が実用化に最も近い巨大磁気抵抗効果型ヘッドとして大きな注目を集めている。

PtMn 反強磁性膜は 20 nm の薄さにおいて上下界面どちらにおいても NiFe 膜、Co 膜と交換結合し、 $230^{\circ}\text{C} \times 4$ h の比較的低い温度の熱処理において PtMn 膜と交換結合した NiFe 3 nm 膜と Co 4 nm 膜は共に 500 Oe 以上の交換結合磁界を示し、この時の NiFe 3 nm 膜と Co 4 nm 膜のブロッキング温度

は共に 380°C の高い値を示す⁴⁾ ことにより、狭再生シールドギャップ、高記録密度に対応できるデュアルスピバルブヘッドが可能な反強磁性膜であると考えられる。

今回、PtMn 膜を用いたデュアルスピバルブ膜とシングルスピバルブ膜を実際のヘッドに近いサイズにパターンニングし、CoPt 磁区制御膜を配置したシールドなしの素子を作製した。外部磁界変化に対する素子抵抗の変化、transfer curve を測定することにより、PtMn スピバルブ素子の外部磁界に対する動作を調査し、PtMn スピバルブ素子の特徴を明らかにした。

2. 実験方法

2.1 スピバルブ膜の作製と膜特性

スピバルブ膜の成膜は合金ターゲットを用い、DC マグネトロンスパッタ法により、アルミナ付き Si 基板に行った。シングルスピバルブ膜、デュアルスピバルブ膜とも磁化固定層、磁化自由層にはすべて NiFe 膜を用いた。PtMn 膜との界面で交換結合を生じさせ、磁化固定層の磁化方向を素子化した際の素子高さ方向に固定するために、 5×10^{-6} Torr 以下の到達圧力において、2 kOe の磁界を印加し、 $230^{\circ}\text{C} \times 4$ h の熱処理を施した。Table 1 が今回素子化したスピバルブ膜の構成であり、Table 2 が熱処理後におけるスピバルブ膜の特性である。NiFe 膜を用いているため、抵抗変化率 (ΔMR) はシングルスピバルブ膜で 3.9%、デュアルスピバルブ膜で 6.2% であったが、シングルスピバルブ膜、デュアルスピバルブ膜とも、 ± 40 Oe の外部磁界に対する ΔMR が、 ± 2 kOe の外部磁界に対する ΔMR の 95% 以上の値になり、微小磁界変化に対する抵抗変化率感度に優れていた。また、磁化自由層の磁化容易軸は、磁化固定層の交換結合方向とほぼ一致しており、交換結合方向の M - H ループカーブから求めた磁化自由層の保磁力 (H_c) はシングルスピバルブ膜が 0.5~3 Oe、デュアルスピバルブ膜が 2~3 Oe であった。また、磁化自由層の磁化反転位相 (H_b) は磁化固定層の交換結合方向と逆方向にシングルスピバルブ膜が 7 Oe、デュアルスピバルブ膜が 15 Oe シフトしていたため、磁化自由層と磁化固定層の間には Cu 膜を介した強磁性結合が働いていた。

2.2 素子の構成

Fig. 1 が今回作製した素子の概略図である。素子幅 $2.2 \mu\text{m}$ 、素子高さ $1.5 \mu\text{m}$ にパターンニングしたスピバルブ膜の両脇

Table 1 Structure of spin-valve films

Single-spin-valve	Si/Al ₂ O ₃ /Ta 3 nm/PtMn 30 nm/NiFe 4 nm/Cu 2.5 nm/NiFe 8 nm/Ta 5 nm
Dual-spin-valve	Si/Al ₂ O ₃ /Ta 3 nm/PtMn 20 nm/NiFe 4 nm/Cu 2.5 nm/NiFe 7 nm/Cu 2.5 nm/NiFe 4 nm/PtMn 20 nm/Ta 5 nm

Table 2 Properties of spin-valve films

	Sheet resistivity ($\Omega/\square$)	ΔMR (%)		H _{cf} (Oe)	H _{bf} (Oe)
		at ± 2 KOe	at ± 40 Oe		
Single-spin-valve	16.3	3.9	3.8	0.5–3	7
Dual-spin-valve	10.8	6.2	6.0	2–3	15

Fig. 1 Schematic illustration of a spin-valve element.

に、残留磁化 0.9 T、保磁力 1300 Oe の CoPt ハードバイアス膜をシングルスピンバルブ素子には 20 nm、デュアルスピンバルブ素子には 30 nm の厚さで配置し、磁化自由層の磁区制御を行った。

2.3 Transfer curve の測定

Transfer curve の測定には磁気抵抗効果測定器を用いた。素子電極に端子を接続しセンス電流を流しながら、素子高さ方向に 2 kOe の範囲で磁界を変化させた際の transfer curve (major transfer curve) を測定し、その後 CoPt 膜を素子幅方向に着磁し、 ± 200 Oe の範囲で磁界を変化させた際の transfer curve (minor transfer curve) を測定した。センス電流は -10 mA $\sim$ $+10$ mA の範囲で流し、センス電流極性の定義はシングルスピンバルブ素子においてセンス電流が作る磁界が磁化固定層の交換結合を弱める方向をプラスとした。

3. 結果と考察

3.1 Transfer curve

Fig. 2 はセンス電流 $+5$ mA におけるデュアルスピンバルブ素子の major transfer curve と minor transfer curve である。major transfer curve では、外部磁界ゼロ付近で磁化自由層の磁化方向が急峻に変化することにより PtMn 膜と交換結合した磁化固定層と磁化自由層の平行、反平行遷移が行われ、素子抵抗が急峻に変化した。磁化固定層と磁化自由層の磁化方向が反平行になっている状態（凸部のフラット領域）は外部磁界ゼロ付近から磁化固定層の交換結合方向と逆方向に約 400 Oe の外部磁界まで維持されており、反平行状態の安定性も十分にあることがわかる。また、major transfer curve に

Fig. 2 Transfer curves of the PtMn-dual-spin-valve element.

おける磁化固定層の磁化反転はスムーズな 1 段変化になったことにより、上下 2 層の磁化固定層はほぼ等しい大きさの交換結合磁界 (470 Oe) と保磁力 (240 Oe) を形成していると考えられる。

CoPt 膜を素子幅方向に着磁した後に測定を行った minor transfer curve には、システリシス、パルクハウゼンジャンプが見られず、CoPt ハードバイアス膜により磁化自由層の磁区制御が効果的にされていることが確認できた。

センス電流 5 mA における素子抵抗はデュアルスピンバルブ素子が約 25 Ω 、シングルスピンバルブ素子が約 36 Ω であり、スピンバルブ膜のシート抵抗の大小関係を反映する結果になった。また、スピンバルブ膜のシート抵抗とパターンニングされたサイズ、 $2.2 \mu\text{m} \times 1.5 \mu\text{m}$ から計算した素子抵抗に占めるスピンバルブ膜の抵抗は、デュアルスピンバルブ素子が約 60%、シングルスピンバルブ素子が約 70% であり、ハードバイアス膜や電極などのスピンバルブ膜以外の抵抗が素子抵抗の約 30~40% を占めていることがわかった。

シングルスピンバルブ素子の transfer curve の形状もデュアルスピンバルブ素子と同様の形状となり、PtMn 反強磁性膜を用いたハードバイアス方式のスピンバルブ素子はシングルスピンバルブ、デュアルスピンバルブともヘッドへの実用性が十分に高いものと考えられる。

Fig. 3 Output as a function of the sense current density of the PtMn-dual-spin-valve and PtMn-single-spin-valve elements.

3.2 出力

Fig. 3 は major transfer curve から求めたシングルスピンバルブ素子とデュアルスピンバルブ素子の出力を、センス電流密度に対してプロットしたものである。センス電流密度の算出は PtMn 膜と Ta 膜の比抵抗が共に約 $200 \sim 250 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ であることを考慮し、センス電流の 9 割が磁化固定層/Cu/磁化自由層を流れると仮定して計算した。デュアルスピンバルブ素子、シングルスピンバルブ素子ともセンス電流密度の増加とともに出力は増加し、特にデュアルスピンバルブ素子は、10 mA のセンス電流を流してもセンス電流密度が $3.0 \times 10^7 \text{ (A/cm}^2\text{)}$ と小さかったため、10 mA のセンス電流までセンス電流密度に比例して出力が増加した。今回素子化したスピンバルブ膜は、磁化固定層、磁化自由層ともすべて NiFe 膜を使用しているにも関わらず、シングルスピンバルブ素子、デュアルスピンバルブ素子とも 10 mA のセンス電流において約 8 mV の高い出力が得られた。同じ電流密度で比較するとデュアルスピンバルブ素子はシングルスピンバルブ素子の約 1.4 倍の出力になり、スピンバルブ膜の抵抗変化率をほぼ反映した結果になった。

Fig. 4 は minor transfer curve から求めた $\pm 40 \text{ Oe}$ の外部磁界変化に対するデュアルスピンバルブ素子の出力のセンス電流依存性である。出力はセンス電流どちらの極性においても $\pm 10 \text{ mA}$ までセンス電流の絶対値に比例して増加し、 $+10 \text{ mA}$ 、 -10 mA において共に 2.5 mV の出力が得られた。出力がセンス電流の極性に依存せず、センス電流に比例して増加する理由を明らかにするために出力の asymmetry を調べてみた。

3.3 Asymmetry

Fig. 5 は、今回用いた asymmetry の計算式と minor transfer curve から求めた asymmetry のセンス電流依存性である。デュアルスピンバルブ素子の asymmetry はセンス電流の

Fig. 4 Output as a function of the sense current of the PtMn-dual-spin-valve element.

極性と大きさに依存せず、約 -10% を示した。一方、シングルスピンバルブ素子の asymmetry はセンス電流の極性と大きさに依存し、 $-32\% \sim +3\%$ まで変化した。この理由は、デュアルスピンバルブ膜は上下対称の膜構成であるので、中心にある磁化自由層にはセンス電流磁界がほとんど作用しないのに対し、シングルスピンバルブ膜は上下非対称の膜構成であるので、磁化自由層にはセンス電流の極性と大きさに依存するセンス電流磁界が作用するためであると考えられる。

センス電流の変化に従って asymmetry がゼロから大きくずれると、minor transfer curve におけるプラス磁界変化に対する出力、もしくはマイナス磁界変化に対する出力のどちらか片方が磁界変化に対して飽和傾向になってしまうため、出力がセンス電流の大きさに比例しなくなる。Fig. 4 で示されたデュアルスピンバルブ素子の出力がセンス電流の極性に関わらずセンス電流の絶対値に比例する一つの理由は、デュアルスピンバルブ素子の asymmetry がセンス電流の極性と大きさに依存しない特徴を有しているからである。出力がセンス電流の極性に依存せず、センス電流の絶対値に比例すること、asymmetry がセンス電流の極性と大きさに依存しないことがデュアルスピンバルブ素子の大きなメリットである。また、抵抗変化率もデュアルスピンバルブ膜はシングルスピンバルブ膜の 1.5 倍ほど大きな値が得られるので、デュアルスピンバルブヘッドはハードディスク装置における高記録密度に大いに役立つ巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドであると考えられる。

4. まとめ

PtMn 反強磁性膜を用い、NiF/Cu/NiFe 系においてデュアルスピンバルブ膜とシングルスピンバルブ膜を成膜し、実際の磁気ヘッドに近いサイズにパターンニングした CoPt 磁区制御膜を有するシールドなしの素子を作製した。外部磁界変化に対する素子抵抗の変化、transfer curve を測定することにより、以下の結果を得た。

- (1) デュアルスピンバルブ素子、シングルスピンバルブ素子

Fig. 5 Asymmetry as a function of the sense current of PtMn-dual-spin-valve and PtMn-single-spin-valve elements.

子とも磁化固定層と磁化自由層の平行、反平行状態は外部磁界ゼロ付近で急峻に遷移し、磁化反平行状態の安定性は外部磁界に対し 400 Oe 程度あることがわかった。

(2) デュアルスピバルブ素子において、20 nm 厚の PtMn 膜と交換結合した上下 2 層の磁化固定層は、ほぼ等しい大きさの交換結合磁界 (470 Oe) と保磁力 (240 Oe) を形成していることがわかった。

(3) CoPt ハードバイアス膜により、磁化自由層の磁区制御を行った結果、デュアルスピバルブ素子、シングルスピンバルブ素子とも、素子高さ方向の ± 200 Oe の外部磁界変化に対して、ヒステリシス、バルクハウゼンジャンプのない transfer curve を得ることができた。

(4) デュアルスピバルブ素子の出力は、センス電流 -10 mA から $+10$ mA までセンス電流の絶対値に比例する結果になった。

(5) デュアルスピバルブ素子の asymmetry は、センス電流の極性と大きさに依存しないことがわかった。

(6) センス電流密度で比較すると、デュアルスピバルブ素子はシングルスピンバルブ素子の約 1.4 倍の出力になった。

本研究により PtMn デュアルスピバルブ素子と PtMn シングルスピンバルブ素子の基本性能、高出力、高安定性が、明らかになった。強磁性膜に Co 系磁性膜を用いることにより、出力をさらに向上した素子が可能であり、高出力、高安定性を有する PtMn デュアルスピバルブ磁気ヘッドが期待できる。

文 献

- 1) M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, and F. Petroff: *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 2472 (1988).
- 2) B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit, and D. Mauri: *Phys. Rev. B*, **43**, 1297 (1991).
- 3) C. Tsang, R. E. Fontana, T. Lin, D. E. Heim, V. S. Speriosu, B. A. Gurney, and M. L. Williams: *IEEE. Trans. Magn.*, **30**, 3801 (1994).
- 4) 斎藤正路, 柿原芳彦, 渡辺利徳, 小池文人, 関 博, 長谷川直也, 佐藤 清, 栗山年弘: 第 20 回日本応用磁気学会学術講演会概要集, 千葉, 1996, 21ac-7 (日本応用磁気学会, 東京, 1996).

1996 年 10 月 15 日受理, 1997 年 1 月 16 日採録