PdPtMn 反強磁性材料を用いたデュアルスピバルブ

Dual Spin-Valve with PdPtMn Antiferromagnetic Layers

岸 均・清水 豊・長坂恵一・田中厚志・押木満雅*

富士通(株)・ファイル研究部, 厚木市森の里若宮 10-1 (☎243-0197)

*(株)富士通研究所・磁気ディスク研究部, 厚木市森の里若宮 10-1 (☎243-0197)

H. Kishi, Y. Shimizu, K. Nagasaka, A. Tanaka, and M. Oshiki*

Fujitsu Ltd., 10-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi 243-0197

*Fujitsu Laboratories Ltd., 10-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi 243-0197

The dual spin-valve (DSV) has an MR ratio 1.5 to 2 times more than that of a conventional spin-valve. We investigated the MR properties of a DSV with PdPtMn antiferromagnetic layers, which showed high corrosion resistance and high thermal stability. The magnetization of the free layer is rotated from the easy axis by the magnetostatic fields of the two pinned layers. We examined the dependence of the bias field (H_b) on the DSV structure, reducing the pinned layer thickness to decrease the magnetostatic field, reducing the Cu spacer thickness to increase the interlayer coupling, and varying the magnetic field generated from the sense current. We succeeded in decreasing the bias field to half that of a symmetric DSV by introducing a thin pinned layer, a thin Cu spacer and an asymmetric DSV.

Key words: MR head, dual spin-valve, pinned layer, antiferromagnetic material, unidirectionally anisotropic field, H_{ua} , PdMn, PdPtMn, exchange coupling

1. はじめに

現在磁気ディスク装置に用いられるリードヘッド用の磁気抵抗効果膜として、スピバルブよりもより大きな出力が得られるデュアルスピバルブの研究が行われている^{1),2)}。デュアルスピバルブは、一般的にはスピバルブをフリー層を共有する対称的な形で積層した構造をもつものであり、そこに用いられる反強磁性膜は、下層側では上に積層した磁性膜に対して、上層側では下に積層した磁性膜に対して一方向異方性磁界(H_{ua})を発生するものでなければならない。これまでの研究において、我々はPdPtMn反強磁性材料³⁾の特性として、上下どちら側に積層した磁性層に対しても H_{ua} を発生することを見いだした⁴⁾。この特性は、現在のスピバルブよりさらに大きな磁気抵抗効果が期待でき、かつ従来用いられてきたFeMn, NiOといった材料のみでは作製できなかったデュアルスピバルブに適したものと考えられる。しかしながら、デュアルスピバルブ素子のMR曲線がFig. 1に見られるように変化の中心点がゼロ磁界よりずれており、フリー層の困難軸方向に大きなバイアス磁界(H_b)が印加された状態となる。このバイアス磁界 H_b はスピバルブにおいても発生するが、デュアルスピバルブの場合は二層のピン層をもつといった構造上、フリー層がピン層より受ける静磁気的作用がスピバルブに比べ大きくなることが考えられる。このバイアス磁界はヘッド出

力の対称性を劣化させ、正常な信号の読み書きを阻害する原因となるためできるだけ小さく修正する必要があるが、デュアルスピバルブ素子においてはフリー層の上下にセンス電流が均等に流れるため従来のスピバルブ素子のようにこのバイアス磁界をセンス電流磁界により打ち消すことはできない⁵⁾。

本研究は、PdPtMnを用いたデュアルスピバルブの信号出力およびバイアス磁界量(以下バイアス点)の改善につき調査を行ったものである。

2. 実験方法

試料は熱酸化膜付きSi基板上にDCマグネトロンスパッタ法を用いて成膜を行った。スパッタ時のArガス圧力は0.5 Paとし、スパッタ中は、素子として形成した際のフリー層の容易軸方向となる方向に70 Oeの磁場を印加している。合金材料の成膜後の膜の組成は、 $Ni_{81}Fe$, $Co_{90}Fe$, $Pd_{32}Pt_{17}Mn$ となっている。

PdPtMn規則化のための熱処理には磁場中熱処理装置を用い、 10^{-5} Pa台の真空中において250℃で3時間の熱処理を行った。熱処理中は、素子として形成した際のピン層のピン方向(フリー層の容易軸と直交する方向)に2500 Oeの磁場を印加している。すべてのサンプルにおいて、熱処理はスピバルブ成膜直後に行っており、熱処理後フォトリソ工程を用いてレジストをパターニングし、イオンミルにて素子の形成を

Fig. 1 MR curve of a typical dual spin-valve element.

Table 1 Calculated outputs of a spin-valve element and dual spin-valve element

		Spin valve	Dual spin valve
Experimental value	MR ratio (%)	5.25	9.27
	ΔR_{sheet} (Ω)	0.60	0.52
	R_{sheet} (Ω)	19.34	5.61
Calculated value	ΔR (Ω)	1.99	1.73
	R_{min} (Ω)	37.82	18.71
	I_s (mA)	4.96	7.05
	P const. ($P = 931 \mu\text{W}$)		
	V_{pp} (mV)	9.85	12.23
	$V_{\text{pp}}/V_{\text{pp}}(\text{spin valve})$	1.00	1.24
	J const. ($J = 11.2 \text{ MA/cm}^2$)		
	I_s (mA)	4.96	9.25
	V_{pp} (mV)	9.85	16.04
	$V_{\text{pp}}/V_{\text{pp}}(\text{spin valve})$	1.00	1.63

行った。CoCrPt バイアス膜を含む端子部については同様にレジストをパターンニングした後リフトオフ法により形成した。バイアス膜を形成したサンプルについては、すべてのプロセスが終了した後、室温大気中においてフリー層の容易軸方向に 3000 Oe で 1 分の着磁を行った。

パターン化された素子の磁気抵抗特性の測定には直流 4 端子法を用いた。

3. 結果と考察

3.1 デュアルスピバルブ素子の特性の検討

デュアルスピバルブの場合、MR 比はスピバルブの 1.5 ～ 2 倍の値が得られるが、膜全体の厚さが厚くなりシャント電流が増加するため、 R および ΔR としてはスピバルブの値よりも小さくなってしまふ。しかしながら、電流密度一定または素子の発熱量に関わる消費電力一定の条件からは R が小さくなった分、より多くの電流が流せる。反強磁性層として PdPtMn を用いて作製したスピバルブとデュアルスピバルブの膜の状態での MR 比 (MR ratio) およびシート抵抗 (R_{sheet}) から、高さ $3 \mu\text{m}$ 、長さ $10 \mu\text{m}$ の素子として形成した場合の抵抗値 (R_{min}) および抵抗変化 (ΔR) を試算し、デュアルスピバルブ素子の、消費電力 (P) もしくは電流密度 (J) がスピバルブ素子と同一となるセンス電流 (I) における素子の出力 (V_{pp}) を求め、スピバルブ素子の値との比較を行った。結果を Table 1 に示す。表子の膜構成はスピバルブは Ta(5 nm)/NiFe(2 nm)/CoFe(5.5 nm)/Cu(3.5 nm)/CoFe(3.5 nm)/PdPtMn(25 nm) とし、デュアルスピバルブは Ta(5 nm)/NiFe(5 nm)/PdPtMn(25 nm)/CoFe(3.5 nm)/Cu(3.5 nm)/CoFe(3.5 nm)/NiFe(2 nm)/CoFe(3.5 nm)/Cu(3.5 nm)/CoFe(3.5 nm)/PdPtMn(25 nm) とした。デュアルスピバルブにおいては、素子の厚さが厚くなり抵抗値としても小さくなってしまふが同一電流密度もしくは同一消費電力となる電流値がスピバルブに比べはるかに大きいため、出力電圧も大きくなることからわかる。同表におけるデュアルスピバルブと同一構造をもつデュアルスピバルブにつき実際に素子を作製し、その出力を測定した結果を Fig. 2 に示す。実測した出力は計算した

Fig. 2 Output voltage of a Ta(5 nm)/NiFe(5 nm)/PdPtMn(25 nm)/CoFe(3.5 nm)/Cu(3.5 nm)/CoFe(3.5 nm)/NiFe(2 nm)/CoFe(3.5 nm)/Cu(3.5 nm)/CoFe(3.5 nm)/PdPtMn(25 nm) dual spin-valve element.

出力よりも若干小さくなっているが、これは、端子と素子間の接触抵抗によるものと考えており、この接触抵抗を除けばほぼ同一の値が得られるものと考えている。

以上の結果から、PdPtMn を用いたデュアルスピバルブにおいては、電流密度を一定とした場合で約 1.6 倍、消費電力を一定とした場合で約 1.2 倍の出力向上が見込めることがわかった。

3.2 デュアルスピバルブのバイアス点の検討

(1) バイアス点の CoFe ピンド層、Cu 中間層厚さ依存

デュアルスピバルブにおいてフリー層が受ける静的磁界としては、前述のピンド層からの静磁気的作用、中間層を介してのピンド層との交換相互作用、およびセンス電流による電流磁界の三つが考えられる。この中で静磁気的作用と交換相互作用についてはデュアルスピバルブの膜厚に依存するものであり、バイアス点のずれは膜厚調整により改善できるものと考えられる。そこで、デュアルスピバルブ素子の最適膜構成を決定するため、バイアス点のピンド CoFe 膜厚および Cu 中間

Fig. 3 Dependence of H_b on the CoFe pinned layer thickness of a dual spin-valve element.

Fig. 4 Dependence of H_b on the Cu inter-layer thickness of a dual spin-valve element.

膜厚による変化を調査した。

まずピン層からの静磁氣的相互作用の大きさを調査するため、ピン層厚を変えたデュアルスピバルブ素子を形成し、バイアス点と素子寸法との関係を調査した。素子のバイアス点のピン層 CoFe 層厚依存性を図 3 に示す。素子の膜構造は $\text{SiO}_2/\text{Ta}(5\text{ nm})/\text{NiFe}(5\text{ nm})/\text{PdPtMn}(25\text{ nm})/\text{CoFe}(X)/\text{Cu}(3.5\text{ nm})/\text{CoFe}(3.5\text{ nm})/\text{NiFe}(2\text{ nm})/\text{CoFe}(3.5\text{ nm})/\text{Cu}(3.5\text{ nm})/\text{CoFe}(X)/\text{PdPtMn}(25\text{ nm})$ とした。

Fig. 3 に見られるように、素子のバイアス点はピン層を薄くしていくと 0 に近づく。このことから、バイアス点ずれの原因がピン層からの静磁氣的相互作用であることが確認できた。次に、素子寸法との関係を見てみると、バイアス点は素子高さが小さくなるほど増大する。これは素子高さが小さくなるほどフリー層が受ける静磁氣的な磁界が大きくなるためであると考えられる。

次に Cu 中間層を介した交換相互作用の大きさを調査するため、Cu 中間層厚を変えたデュアルスピバルブ素子を形成し、バイアス点と素子寸法との関係を調査した。結果を Fig. 4 に示す。素子の膜構成は $\text{SiO}_2/\text{Ta}(5\text{ nm})/\text{NiFe}(5\text{ nm})/\text{PdPtMn}$

Fig. 5 Dependence of H_b on the current density of an asymmetric dual spin-valve element.

Fig. 6 MR curves of symmetric and asymmetric dual spin-valve elements.

$(25\text{ nm})/\text{CoFe}(2.5\text{ nm})/\text{Cu}(X)/\text{CoFe}(2.5\text{ nm})/\text{NiFe}(2\text{ nm})/\text{CoFe}(2.5\text{ nm})/\text{Cu}(X)/\text{CoFe}(2.5\text{ nm})/\text{PdPtMn}(25\text{ nm})$ とした。

図に見られるように、Cu 中間層膜厚を 3.5 nm から 2.5 nm に薄くすることで素子寸法によらず約 20 Oe バイアス点が改善されており、フリー層-ピン層間の交換相互作用が増大していることがわかる。

これらの結果より、ピン層および Cu 中間層の厚さを薄くし、静磁氣的相互作用を減少させ層間の相互作用を増大させることにより十分ではないもののバイアス点の改善が可能であることがわかった。

(2) センス電流分流比とバイアス磁界の検討

前述のようにデュアルスピバルブはフリー層の位置が、厚さの等しい上下の Cu 中間層の中心から等距離にあるため、センス電流磁界によるバイアス点の調整がきかないと考えられる。そこで、上下中間層の厚さを変え、それぞれの層に流れるセンス電流の分流比を変えることによるバイアス点調整の可能性について調査を行った。結果を Fig. 5 に示す。素子の膜構成は (1) での結果を考慮し、 $\text{SiO}_2/\text{Ta}(5\text{ nm})/\text{NiFe}(5\text{ nm})/\text{PdPtMn}(25\text{ nm})/\text{CoFe}(5.5\text{ nm})/\text{Cu}(6.5\text{ nm})/\text{CoFe}(3.5\text{ nm})/$

NiFe(2nm)/CoFe(3.5nm)/Cu(2.5nm)/CoFe(3.5nm)/PdPtMn(25 nm)とした。

図に見られるように、バイアス点は電流密度とともに変化しており、電流磁界の効果が現れている。また、素子寸法の点から見てみると、バイアス点の絶対値は異なるものの電流によるバイアス点変化の傾きはすべて一定となっていることがわかる。Fig. 6にFig. 5中の高さ $3\mu\text{m}$ 、幅 $10\mu\text{m}$ の素子を5mAで測定した場合のMR曲線を示す。図に見られるように、作製した非対称型デュアルスピバルブ素子においては低抵抗層となるCu中間層の総膜厚が対称型に比較して1.8倍厚くなっており、中間層内に大きなシャント電流が発生するためMR比は対称型素子に比べ約60%と小さくなっている。しかしながら、バイアス点は大きく改善され、対称型素子の約半分である約23 Oeまで下がっている。以上の結果よりデュアルスピバルブ素子をフリー層に対し上下非対称とすることにより、センス電流磁界によるバイアス点の低減が可能となることが確認できた。

4. ま と め

デュアルスピバルブ素子の実用化を目指し、薄ピンド層化、薄Cu中間層化、および上下Cu層に流れるセンス電流の分流比を変えることにより発生する電流バイアス磁界による素子バイアス点の改善の検討を行った。デュアルスピバルブ素子を作製し、特性の評価を行った結果、以下のことがわかった。

1) スピバルブおよびデュアルスピバルブの膜の状態で特性を評価し、素子として動作させた場合の出力電圧を試算し、実際の素子の特性と比較した結果、PdPtMnを用いたデュアルスピバルブにおいては、電流密度を一定とした場合で約1.6倍、消費電力を一定とした場合で約1.2倍の出力向上が見込めることがわかった。

2) ピンド層厚およびCu中間層厚を変えたデュアルスピバルブ素子を形成し、バイアス点とセンス電流の評価を行った

結果、ピンド層の厚さを薄くすることにより十分ではないもののバイアス点の改善が可能であることがわかった。また、Cu中間層膜厚を $25\text{\AA}$ と薄くすることでフリー層-ピンド層間の交換相互作用が大きくなり、素子寸法によらず約20 Oeバイアス点が改善されることがわかった。

3) 上下中間層の厚さを変え、それぞれの層に流れるセンス電流の分流比を変えることによりバイアス点調整の可能性について調査を行った結果、バイアス点はセンス電流により低減が可能であり、コア幅 $10\mu\text{m}$ 、素子高さ $3\mu\text{m}$ のパターンにおいては対称型スピバルブの約半分である約23 Oeまで低減できることがわかった。しかし、バイアス点の絶対値としてはまだまだ大きく、改善の必要があると思われる。

今後は今回得られた結果をもとにさらに膜構成の最適化を図るとともに、素子寸法とバイアス点の関係を明らかにしバイアス点のさらなる改善を図っていく。

謝 辞 本研究は通産省プロジェクト「超先端電子技術開発促進事業」の一環として技術研究組合超先端電子技術開発機構が新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託されて実施したものである。

文 献

- 1) P. M. Baugart, B. Dieny, B. A. Gurney, J. P. Nozieres, V. S. Speriosu, and D. R. Wilhoit: U.S. patent 5,287,238.
- 2) T. C. Anthony and J. A. Brug: *IEEE Trans. Magn.*, **30**, 3819 (1994).
- 3) H. Kishi, Y. Kitade, Y. Miyake, A. Tanaka, and K. Kobayashi: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 3380 (1996).
- 4) A. Tanaka, Y. Shimizu, H. Kishi, K. Nagasaka, and M. Oshiki: *IEEE Trans. Magn.*, **33**, 3592 (1997).
- 5) 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: 日本応用磁気学会誌, **21**, 525 (1997).

1997年10月28日受理, 1998年2月2日採録