CoFe/Cu 多層膜の GMR 特性

Giant Magnetoresistance Properties in CoFe/Cu Multilayers

瀬山喜彦・飯島 誠・田中厚志・押木満雅

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 (壺243–0197)

Y. Seyama, M. Iijima, A. Tanaka, and M. Oshiki

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

Giant magnetoresistance (GMR) of multilayer have a potential application in post spin-valve heads, because these heve a larger magnetoresistance (MR) ratio than spinvalves, and they will be useful in the hard disk drive (HDD) heads. In this study, we investigate the dependence of the GMR properties and nano-structure of $\mathrm{Co}_{0.9}\mathrm{Fe}_{0.1}/\mathrm{Cu}$ multilayers on the materials, thickness of the buffer layer and the thickness of the Cu and CoFe layers. A maximum MR ratio of 20.1% and the resistivity change, $\Delta \rho$, of 4.5 $\mu\Omega$ cm were obtained at a Cu thickness of 21.6Å which is the second antiferromagnetic coupling peak of the interlayer coupling oscillation. Large MR ratio is obtained for the film which has small XRD peak intensity of Cu(111). The orientation of Cu(111) in multilayers was dependent on both the material and the thickness of the buffer layer. The reason of this behavior is that an increase in the roughness of the CoFe/Cu interface, detected by X-ray reflectometry, causes an increase in the area of the interface.

Key words: giant magnetoresitance (GMR), CoFe/Cu, multilayer, MR ratio, material of buffer layer, thickness of buffer layer, roughness of interface

1. はじめに

巨大磁気抵抗 (GMR) 効果は,異方性磁気抵抗 (AMR) 効果 に比べて抵抗変化が大きく,高性能磁気センサへの応用を目指 し,材料,膜構造について研究が進められている.

GMR の中でスピンバルブ GMR は,外部磁界の変化に対す る抵抗変化が大きいため,次期ハードディスクドライブ (HDD) 用磁気ヘッドへの適用が検討されている.しかし,通 常のスピンバルブ GMR は MR 比が最大でも 11% であり¹⁾, 急速な HDD の記録密度向上に対応するためには,いっそうの 特性向上が必要とされている.

一方, 多層膜 GMR は磁気抵抗 (MR) 比が大きいことが特長 である. Co/Cu 多層膜では, MR 比振動の 2nd ピークにおい ても約 20% の MR 比を有しており², 飽和外部磁場, H_s, も 数 100 Oe であるため, 磁気センサとして有望視されている.

本研究では、Co₀₉Fe_{0.1}/Cu 多層膜において, buffer 層の材 料および層厚, Cu 層厚, CoFe 層厚と GMR 特性との関係に ついて検討した.

2. 実験方法

DC マグネトロンスパッタ装置を用い、表面を熱酸化処理し

た8×8 mm の Si 基板に次の多層膜を成膜した.

Si/SiO₂/buffer(xÅ)/[CoFe(yÅ)/Cu(zÅ)]×10/Ta(50Å) (buffer = Ta, Cu, CoFe, $x = 0 \sim 200$, $y = 5.5 \sim 17.6$, $z = 13.8 \sim 27.7$)

成膜条件を Table 1 に示す.

得られた試料に対し、直流四端子法により外部磁場 ± 1 kOe で膜面内に電流を流して MR 曲線を測定し、MR 比、抵抗率 変化、 $\Delta \rho$, H_s , 感度を算出するとともに、振動試料型磁力計 (VSM) により *M*-H 曲線を測定し、飽和磁化に対する残留磁化 の比、 M_r/M_s , を算出した. なお、 H_s および感度については、 Fig. 1 に示すように算出した.

また、X線回折による結晶構造の分析、TEM 観察、X線反 射率による CoFe/Cu 界面のラフネスの測定を行った。界面の ラフネスは、積層した異なる原子層の界面における、凹凸の peek-to-peek の値である.なお、X線反射率においては、解 析を容易にするため、2 bi-layer の試料について行った.

3. 結果および考察

3.1 GMR 特性

Buffer 層がない試料における,Cu 層厚による MR 比および

Table 1 Sputtering conditions

Back pressure (Pa)		3 x 10 ⁻⁵	
Ar pressure	(Pa)	0.5	
Distance of T-S	(mm)	153	
Substrate		Static	
CoFe target compositon		90 at% Co-10 at% Fe	



Fig. 1 Calculation method for the H_s and sensitivity.

 M_r/M_s の変化を Fig. 2 に示す. Cu 層厚 21.6Å において, MR 比は最大となり, M_r/M_s は最小となった. M_r/M_s が小さ くなることは,磁性層間の反強磁性的な結合が大きくなること であるから³, この MR 比のピークは, MR 比振動の 2nd ピー クであると考えられる.

Buffer 層の材料と MR 比、 $\Delta \rho$, H_s , 感度との関係を Table 2 に示す. なお、buffer 層の層厚はすべて 100 Å である. Buffer 層が Ta の試料は MR 比、 $\Delta \rho$ 、感度共に、buffer 層が ない試料に比べて約 1/5 と小さくなっており、CoFe の試料は 共に約 25% 大きくなっている. また、Cu では 15~40% 小 さくなっており、これはシャント効果によるものと考えられ る. H_s は、buffer 層の材料が Ta の試料で 80 Oe と小さい. これは、MR 比が小さく、見かけ上 H_s が小さく得られるため と考えられる.

CoFe buffer 層厚による MR 比, $\Delta\rho$, H_s , 感度の変化を Fig. 3 に示す. MR 比と $\Delta\rho$ は, buffer 層厚が 50Å で最大と なり, H_s は 38Å, 感度は 50Å で最大となった. しかし, buffer 層厚が 25~100Å の範囲においては, MR 比, $\Delta\rho$, H_s , 感度 の変化は小さい. これは, buffer 層厚が 25~100Å の範囲に おいては, 磁性層間の反強磁性的な結合や, 磁性層の磁化反転 のしやすさに大きな変化を及ぼさないためと考えられる.

CoFe buffer 層厚 50Å における, Cu 層厚および CoFe 層厚 による MR 比, $\Delta \rho$, H_s , 感度の変化を Fig. 4, 5 に示す. Cu 層厚が 21.6Å のとき MR 比および $\Delta \rho$ は最大となる. これは, buffer 層がない場合と同様 MR 比振動の 2nd ピークと考えら れる. H_s は多少のばらつきはあるが Cu 層厚の増加とともに 減少する. これは, 磁性層間隔が広くなることにより, 磁性層 が磁化反転しやすくなるためと考えられる. 感度は, Cu 層厚



Fig. 2 Dependence of the MR ratio and M_r/M_s on the Cu thickness.

Table 2 Dependence of the MR ratio, $\Delta \rho$, H_{s} , and sensitivity on the buffer layer material

Material	MR ratio (%)	Δρ (μΩcm)	Hs (Oe)	Sensitivity (%/Oe)
None	14.7	3.51	108	0.153
Ta	2.9	0.78	80	0.033
CoFe	18.4	4.34	118	0.178
Cu	12.3	2.04	131	0.104

22.5Åのとき最大となる. これは、MR比と H_s の変化を反映し、MR比が大きく H_s が小さいときに感度が大きくなるためである.

CoFe 層厚を変化させた場合, CoFe 層厚 10.7Å で MR 比, $\Delta \rho$ は最大となるが, 7.2~13.9Å での MR 比, $\Delta \rho$ の変化は小 さい. この範囲において, CoFe 層厚の増加とともに H_s は減 少する. これは, CoFe 層厚が厚くなると結晶の欠陥など磁壁 移動を阻害する要因の比率が小さくなり,磁化反転しやすくな



Fig. 3 Dependence of the MR ratio, $\Delta \rho$, $H_{\rm s}$, and sensitivity on the CoFe buffer thickness.



Fig. 4 Dependence of the MR ratio, $\Delta \rho$, H_{s} , and sensitivity on the Cu thickness.

日本応用磁気学会誌 Vol. 22, No. 4-2, 1998

るためと考えられる. 感度は, MR 比がほぼ一定であることか ら, H, が小さくなるとともに増加する.

以上のことから、次の膜構成において MR 比 20%, Δρ 4.5 μΩcm と最大値が得られた.

Si/SiO₂/CoFe(50Å)/[CoFe(10.7Å)/Cu(21.6Å)]×10 /Ta(50Å)

このときの MR 曲線を Fig. 6 に示す.

また,次の膜構成とすれば,最大の MR 比, Δρ が得られた 試料に対し, MR 比, Δρ は約 20% 小さくなるが, H_s 62 Oe, 感度 0.3%/Oe と,約 25~40% 向上する.

Si/SiO₂/CoFe(50Å)/[CoFe(14.4Å)/Cu(21.6Å)]×10 /Ta(50Å)

3.2 微細構造

Buffer 層の材料による X 線回折データの変化を Fig. 7 に示 す. 43.6°近傍の Cu(111) ピークの buffer 層による変化が顕著 である. Buffer 層が Ta の試料ではこのピークが非常に大き







日本応用磁気学会誌 Vol. 22, No. 4-2, 1998

く, ついで buffer 層がない試料が大きい. Buffer 層の材料が CoFe, Cu の試料ではピーク強度は小さい. これは, Cu(111) ピークが大きくなる, すなわち, Cu(111)の面内配向が強くな ると, MR 比が小さくなることを示している.

Buffer 層の材料を CoFe とし、その層厚による X 線回折 データの変化を Fig. 8 に示す. Buffer 層が厚くなると、Cu (111) ピークは小さくなる. Buffer 層厚が 50Å までは、Cu (111) ピークが小さくなるとともに MR 比が大きくなり、 buffer 層の材料を変化させた場合の結果と一致する. Buffer 層厚が 100Å 以上では、Cu(111) ピークが小さいが MR 比も 小さい. これは、42.9° および 47.3° 近傍のピークの出現、す なわち、結晶構造の変化によるものと考えられる.

(111)面の配向性は、作製条件、buffer 材料により変化する ことが知られている^(1,5).本研究の結果は、buffer 層厚におい ても配向性が変化することを示すとともに.配向性と MR 比 との関係はこれらの文献とほぼ一致している.

Cu(111) ピークの大きい試料として buffer 層が Ta(100Å) の試料, ピークの小さい試料として CoFe(50Å)の試料の TEM 写真を Fig. 9 に示す. Ta(100Å)の方が, 層構造が明確 であり, 原子が膜面方向に一様に並んでいる. これが, Cu (111) ピークの大きさが異なる原因と考えられる.

X 線反射率の解析結果を Fig. 10 に示す. 2 bi-layer である ため、多層膜 GMR 中の CoFe/Cu 界面は 3 カ所存在する.平



Fig. 7 Dependence of the XRD data on the buffer layer material.



Fig. 8 Dependence of the XRD data on the CoFe buffer thickness.



Fig. 9 Cross-sectional TEM image.

	Roughness	(Å)	
Cu 21.6 Å	Buffer	Ta 100 Å	CoFe 50 Å
600E 10.7 A		3.1	5.3
Cu 21.6 Å		3.2	5.2
G. 10.7 Å		2.8	5.8
All and a second se	Average	3.0	5.4
WEISTON - HEARING ST.			
Si Substrate			

Fig. 10 Dependence of the roughness on the buffer layer material.

均すると,界面のラフネスはTa(100Å)の試料では 3.0Å, CoFe(50Å)の試料では5.4Åとなる. これは,界面のラフネス が大きいと MR 比が大きくなることを示している.

X 線回折, TEM 観察, X 線反射率の結果をもとに, buffer 層が Ta(100Å)の試料と CoFe(50Å)の試料についてのモデル を Fig. 11 に示す. Ta(100Å)の試料では, 原子が膜面と平行 に一様に並んでおり, 界面のラフネスは1原子層程度と考え られる. 一方, CoFe(50Å)の試料では, 原子が膜面と平行に 一様に並んでおらず, 界面のラフネスは2原子層程度と考え



Fig. 11 Schematic image of the cross-section.

られる. これにより界面が増加し, 電子のスピン依存散乱が増加するため, 良好な GMR 特性が得られると考えられる.

4. ま と め

CoFe/Cu 多層膜において、Cu 層厚 21.6Å で 2nd ピークを 示し、次の膜構成で MR 比 20.1%、 $\Delta \rho$ 4.5 $\mu \Omega cm$ と最大値が 得られた。

 $\frac{Si/SiO_2/CoFe(50\text{\AA})/[CoFe(10.7\text{\AA})/Cu(21.6\text{\AA})]\times10}{/Ta(50\text{\AA})}$

Buffer 層の材料および層厚により Cu(111)の面内配向が変化し、面内配向が弱いときに MR 比が大きくなる.

Cu(111)の面内配向が弱い場合, CoFe/Cu 界面のラフネス が大きい. これにより界面が増加し,電子のスピン依存散乱が 増加するため,良好な GMR 特性が得られる.

涼 犮

- 上口裕三,岩崎仁志,橋本 進,澤邊厚仁,佐藤政司:日本応 用磁気学会誌, 17 (Suppl. No. S2), 91 (1993).
- D. H. Mosca, F. Petroff, A. Fert, P. A. Schroeder, W. P. Pratt, Jr., and R. Laloee: J. Magn. Magn. Mat., 94, L1 (1991).
- E. E. Fullerton, J. E. Mattson, S. R. Lee, C. H. Sowers, Y. Y. Huang, G. Felcher, and S. D. Bader: J. Appl. Phys., 73, 6335 (1993).
- 4) 縄手雅彦,大元誠一郎,今田隆司,本多茂男:日本応用磁気学 会誌, 17,369 (1993).
- M. Jimbo, T. Kanda, S. Goto, S. Tsunashima, and S. Uchiyama: J. Magn. Magn. Mat., 126, 422 (1993).

1997年10月28日受理, 1998年2月2日採録