

CoFe/Cu 多層膜の CPP (Current Perpendicular to the Plane)-GMR 特性 Giant Magnetoresistance Properties of a CoFe/Cu multilayer in CPP (Current Perpendicular to the Plane) Geometry

瀬山 喜彦, 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 (〒0243-0197)

Y. Seyama, A. Tanaka and M. Oshiki

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

(1998 年 10 月 14 日受理、1999 年 1 月 21 日採録)

Multilayer GMR films have a larger MR ratio than spin-valve films and, therefore, have great potential for use as read sensors in HDD (hard disk drive) heads for ultra-high-density recording. Moreover, the MR ratio of multilayer GMR films is twice as large when the sense current flows perpendicular to the plane (CPP) than when it flows in the plane (CIP). We investigated the GMR properties of CPP elements of a $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}/\text{Cu}$ multilayer in a structure where the GMR film is under the top terminal layer and connected to the bottom terminal layer through a micron-sized contact hole. An MR ratio of 13.1% and saturation field (H_s) of 150 Oe were obtained. The field sensitivity of 0.1 %/Oe was much larger than that of CIP elements. The value of H_s of the CPP elements was almost constant as a function of the element dimension, because the demagnetization field was insensitive of the sensor size in our CPP element structure and small enough even for submicron elements.

Key words: giant magnetoresistance (GMR), CoFe/Cu, multilayer, current perpendicular to the plane (CPP), current in plane (CIP), MR ratio, H_s , sensitivity, demagnetization field

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。

特にスピナバルブ GMR は、外部磁界の変化に対する抵抗変化が大きいので、ハードディスクドライブ(HDD)用磁気ヘッドへの適用が進められている。しかし、通常の金属系スピナバルブ 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、一層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。 $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}/\text{Cu}$ 多層膜では、MR 比振動の 2nd ピークにおいても 20% の MR 比を有しており、飽和外部磁場(H_s)も 100 Oe 前後であるため²⁾、磁気センサとして活用できる可能性がある。しかしながら、磁気ヘッド用に微小素子化した場合、反磁場の影響により H_s が増大し感度が低下するという問題点がある。

多層膜 GMR では、膜面に垂直に電流を流す (Current Perpendicular to the Plane, CPP) ことにより、従来の膜面に平行に電流を流した場合 (Current In Plane, CIP) に比べて、抵

抗変化が 2 倍以上となる³⁾。CPP 構造の試料は、CIP 構造の試料に比べて作製が難しいため報告例は少ない。反面、構造設計に自由度があり、前述の H_s の増大といった問題点を解決できる可能性がある。

本研究では、 $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}/\text{Cu}$ 多層膜を用いて独自の構造の CPP 試料を試作し、その GMR 特性を調べた。さらに、CIP 試料の GMR 特性と比較することにより、CPP の GMR 特性の優位性、すなわち、MR 比の向上、 H_s および感度の改善の可能性について検討する。

2. 実験方法

2.1 CPP 試料

CPP 試料の構造としては、Fig. 1 に示すような構造が考えられる。Fig. 1(a) は GMR 層の大きさが電流路の断面積となる構造であり、(b) は絶縁層の穴の大きさが電流路の断面積となる構造である。(b) は (a) に対し、次のような特徴を持つ。

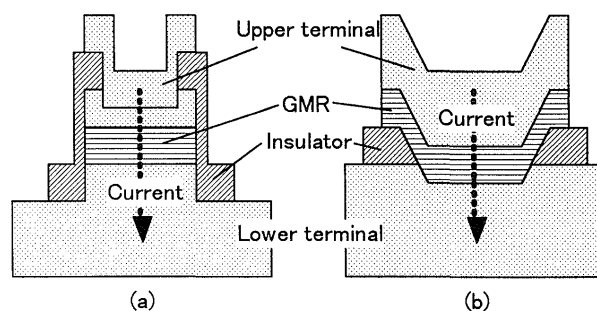


Fig. 1 CPP sample structure.

メリットとしては、作製工程が少なく、位置合わせ精度が低くてもよいので、作製が容易であること、端子抵抗が小さいこと、反磁場が小さいと考えられること等がある。一方、デメリットとしては、電流分布が不均一になること、イオンミリングした Cu 上に GMR 層を形成するため、GMR 層に凹凸が発生すること等の可能性が考えられる。

反磁場が小さいことは、微小素子化した場合に非常に有利になるので、本研究では (b) の構造について検討した。

以下に記す工程で、酸化膜付 Si 基板上に、GMR 層において電流が膜面に垂直に流れる部分の直径 (以下 GMR 直径) を 0.4~20 μm と変化させて CPP 試料を作製した。設計断面図を Fig. 2 に示す。なお、 SiO_2 絶縁層の成膜は、ステップカバレッジの良い CVD を用

いた。各作製段階における外観写真をFig. 3に示す。

(1) Cu下端子層形成

Cu成膜(500 nm, DCマグネトロンスパッタ)
→レジスト形成→イオンミリング→Fig. 3(a)

(2) SiO₂絶縁層形成

SiO₂成膜(50 nm, CVD)→レジスト形成
→イオンミリング→Fig. 3(b)

(3) GMR層/Cu上端子層形成

GMR/Cu成膜(30 nm, DCマグネトロンスパッタ)
→レジスト形成→イオンミリング→Fig. 3(c)
GMR: CoFe(5 nm)/[CoFe(1.08 nm)/Cu(2.25 nm)]x10

得られた試料について、四端子法を用い、印加磁場±500 OeでMR曲線を測定し、MR比、抵抗値、 H_s 、感度を算出した。また、FIBにより断面露出加工観察を行った。なお、感度はMR曲線の傾きである。

2.2 CIP 試料

以下に記す工程で、酸化膜付Si基板上に、素子高さ(以下MR-h)を0.5~10 μmと変化させてCIP試料を作製した。試料の外観

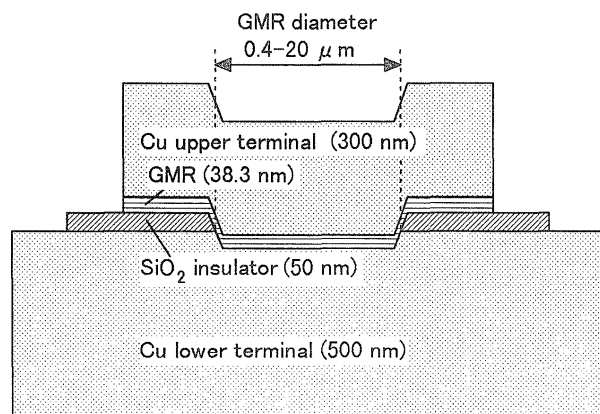


Fig. 2 Cross-section of a CPP element.

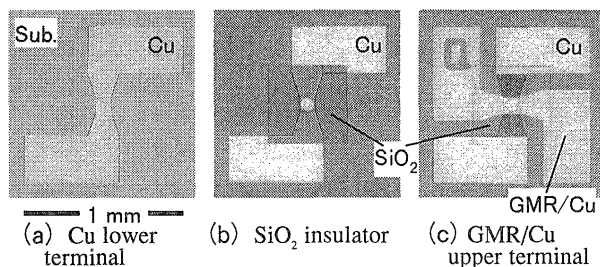


Fig. 3 Process steps of CPP fabrication.

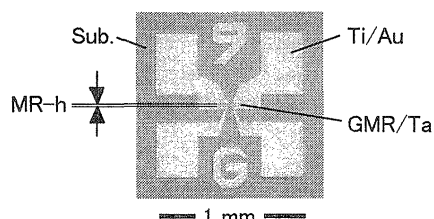


Fig. 4 Top view of a CIP element.

写真をFig. 4に示す。

(1) GMR/Ta層形成

GMR(38.3 nm)/Ta成膜(10 nm, DCマグネトロンスパッタ)
→レジスト形成→イオンミリング

(2) Ti/Au端子層形成

Ti(10 nm)/Au(150 nm, EB蒸着)
→レジスト形成→イオンミリング→Fig. 4

得られた試料について、四端子法を用い、印加磁場±500 OeでMR曲線を測定し、MR比、 H_s 、感度を算出した。また、これらデータについて、CPP試料とCIP試料との比較を行なった。

3. 実験結果

3.1 CPP 試料

CPP試料におけるGMR直径によるMR比、抵抗値、 H_s 、感度の変化をFig. 5に示す。なお、抵抗値の計算値は次の式で算出した。

$$R = \rho \times l / S$$

R : 抵抗値, ρ : 比抵抗, l : 長さ, S : 断面積

ここで、GMR膜の比抵抗は約21 μΩcm、長さ(GMR層の厚さ)は38.3 nm、断面積はGMR直径を直径とする円の面積である。この式では、電流分布は均一と仮定している。また、端子部の電圧降下は考慮されていない。

MR比は、GMR直径が0.8 μmの時最大13.1%を示し、GMR直径の増大に伴い、減少する傾向を示した。抵抗値も同様に、GMR直径の増大に伴い減少するが、計算値と比較すると減少の度合いは小さい。これらは、Fig. 6に示すようにGMR直径が大きくなると、次のような問題が発生するためと考えられる。

(1) 電流路の断面積が大きくなるため、電流分布が不均一になる。

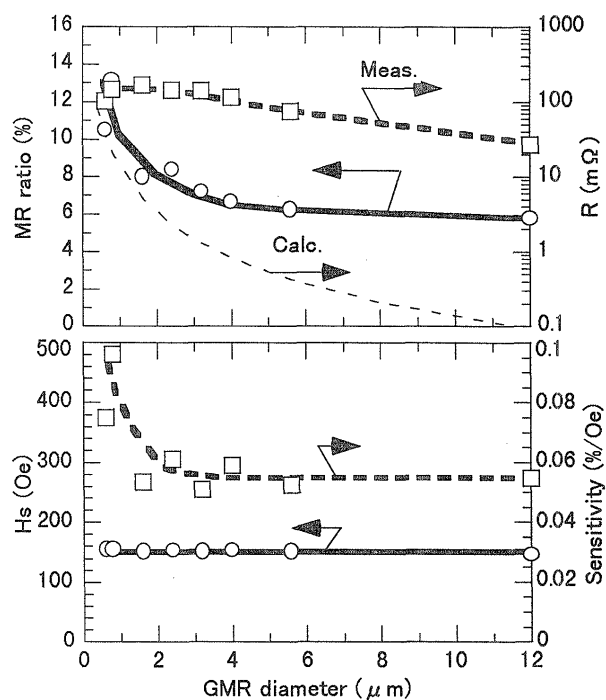


Fig. 5 MR ratio, resistance, H_s , and sensitivity as functions of the GMR diameter of CPP samples.

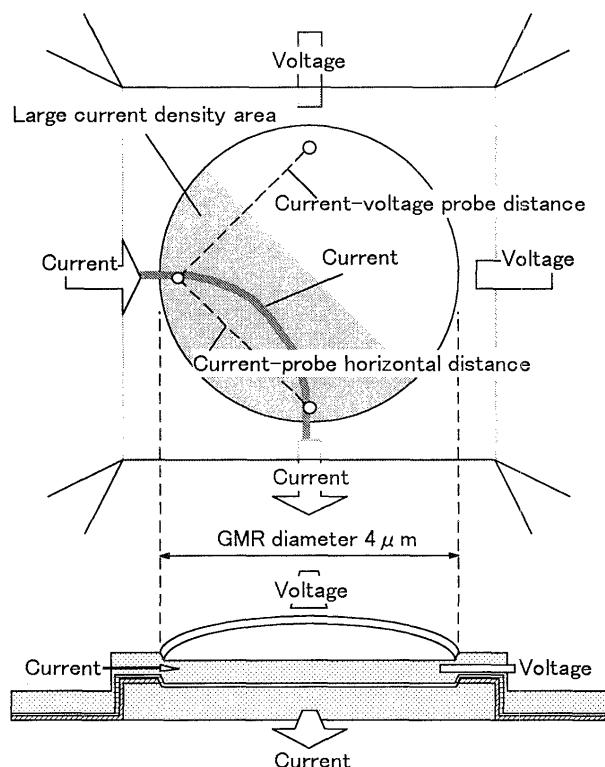


Fig. 6 CPP sample with a 4 μm-diameter GMR.

- (2) 2つの電流端子間の水平距離が長くなるため、電流の水平成分が大きくなる。
- (3) 電流端子と電圧端子の間隔が離れるため、正確な電圧の測定が困難となる。

これらの問題を解決するには、電流分布のシミュレーションおよびCu上下端子層厚の最適化等が必要である。しかし、磁気ヘッド化を目指す方向はGMR直径の微小化である。GMR直径が小さくなると、上記問題の影響は小さくなる。このことから、本研究のCPP試料構造では、GMR直径が小さくなるほど電気的な問題点の影響が小さくなり、大きなMR比を示すと考えられる。

H_d は、GMR直径によらずほぼ150 Oeで一定である。この理由については、後の考察において述べる。感度は、MR比、 H_d のGMR直径依存性を反映し、GMR直径の減少とともに増加する。

CPP試料の断面写真をFig. 7に示す。両側はCu/SiO₂/GMR/Cu

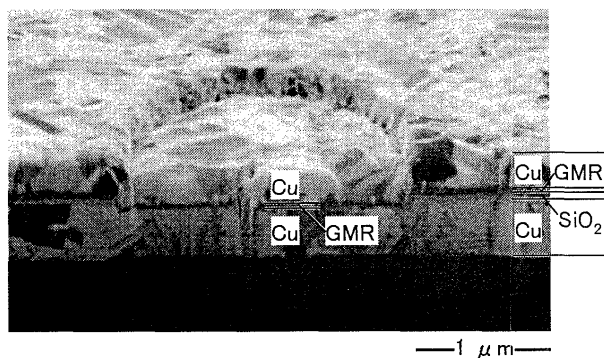


Fig. 7 FIB cross-section of a CPP sample.

の4層構造、中央部ではSiO₂が無く、Cu/GMR/Cuの3層構造となっているのが確認できる。3層構造の中央に乱れはあるが、概ね設計通りの構造が得られている。

以上のことから、CPP試料においては、ほぼ設計通りの構造が作製できており、GMR直径が小さくなるほど良好なGMR特性を示すと考えられる。

3.2 CIP試料

CIP試料におけるMR-hによるMR比、 H_d 、感度の変化をFig. 8に示す。

MR比は、素子作製前の状態で15.4%であるが、素子化した試料はMR-hによらず約9.5%でほぼ一定である。素子化した試料のMR比が素子作製前の状態よりも小さい原因はプロセスダメージと考えられる。 H_d は、MR-hが小さくなると大きくなる。これは、反磁場によるものである。反磁場の大きさは次の式で算出できる。

$$H_d = 4\pi M_s \times t/h$$

H_d : 反磁場(Oe), t : 膜厚, h : MR-h

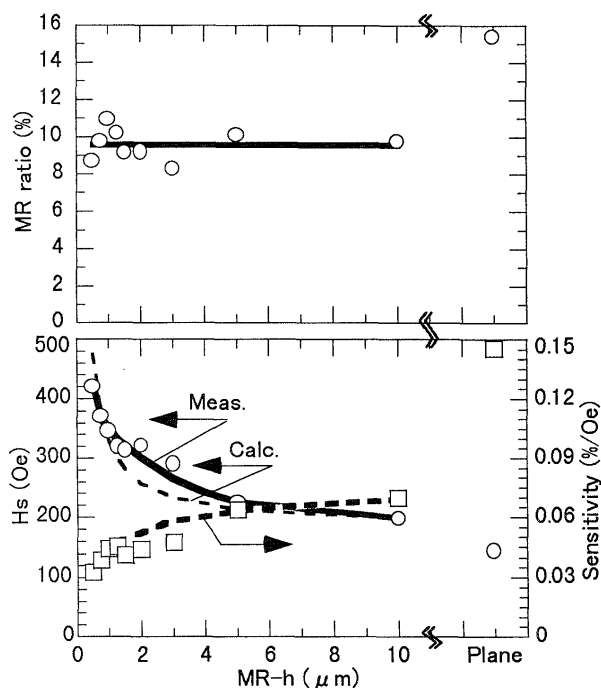
ここで、 $4\pi M_s$ は約3000 Oe, t は48.3 nmである。MR-hが10 μmの試料の H_d をもとに、反磁場による H_d の変化をプロットすると、Fig. 8中の破線となる。これは、実測値とほぼ一致している。感度は、MR比と H_d の変化を反映し、MR-hが小さくなると小さくなる。

すなわち、CIP試料ではMR-hが小さくなると、反磁場の影響によりGMR特性は劣化する。

4. 考察

4.1 MR比の比較

CIP試料では最大MR比13.1%、素子化CIP試料では平均9.5%が

Fig. 5 MR ratio, H_s , and sensitivity as functions of the MR-h of CIP samples.

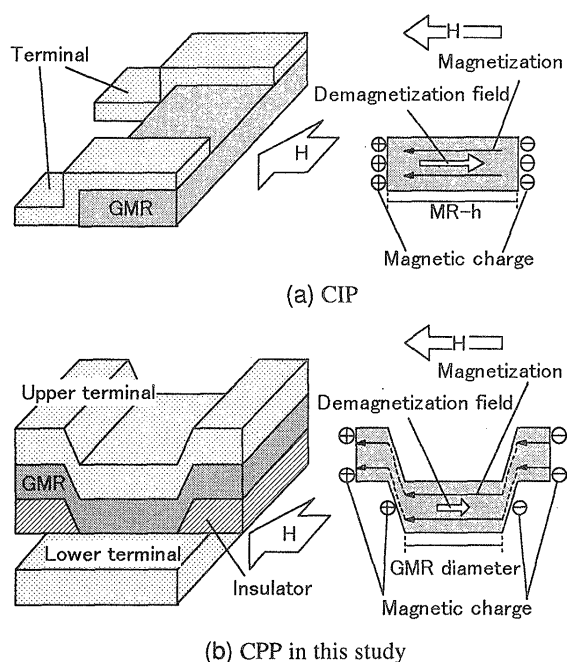


Fig. 9 Demagnetization fields of CIP and CPP samples.

得られた。CPP 試料の MR 比は、素子化 CIP 試料よりも 38% 大きな値である。

はじめに述べたように、CPP 試料では CIP 試料の 2 倍以上の MR 比が得られるはずであるが、現状ではそこまで至っていない。これは、Fig. 6 に示す電流分布の不均一等の問題や、Fig. 7 に示す GMR 層の乱れのように、試料構造が不完全であることが原因と考えられる。

4.2 H_d の比較

CIP 試料では、MR-h が小さくなると、反磁場により H_d は大きくなる。一方、CPP 試料では、GMR 直径が小さくても H_d はほぼ一定である。この違いについて以下のように考える。

Fig. 9(a) に示すように CIP 試料では、外部磁場により磁化方向が揃うと両端に磁荷が発生し、これにより反磁場が発生する。MR-h が小さくなる、すなわち GMR 層の磁化方向の長さが短くなると、磁荷の間隔が小さくなり、反磁場は大きくなる。これが、CIP 試料において MR-h が小さくなると、反磁場により H_d が大きくなる理由である。一方、CPP 試料では Fig. 9(b) に示すように GMR 直径部の両側にも GMR 層が存在する。このため、磁荷は主として

GMR 層端部に生じ、GMR 直径部の反磁場は、Fig. 9(a) に比べて小さくなる。

この効果は、CPP 特有のものでなく、本構造特有のものである。例えば、Fig. 1(a) に示すような CPP 試料は、GMR 直径部のみに GMR 層がある。このため、反磁場の発生は CIP と同様であり、GMR 直径が小さくなると H_d は大きくなると考えられる。

CIP 試料においても、MR-h を大きくすれば H_d は大きくならない。しかし、MR 比は一定で抵抗値が小さくなることにより、抵抗変化量(出力)は小さくなる。このように CIP 試料では素子の微細化に伴い、形状磁気異方性の影響により磁界感度が著しく劣化する。一方、本研究における CPP 試料構造においては、GMR 膜パターン中央部の局所的な磁化過程の変化を CPP-GMR を通して電気信号に変換しているため、上記のような形状磁気異方性の影響を著しく緩和することができる。すなわち、GMR 直径を小さくすることにより抵抗値が増大し、その結果抵抗変化量(出力)を大きくすることができる。また、GMR 直径部の両側の GMR 層を十分にとれば反磁場を非常に小さくすることができる。

5. まとめ

CoFe/Cu の CPP 試料において MR 比 13.1% が得られ、CIP 試料に比べて MR 比が向上することを確認した。また、 H_d は 150 Oe、感度は 0.1 %/Oe であり、これらも CIP 試料よりも優れた値であった。

また、本研究の CPP 試料構造特有の効果として、GMR 直径が小さくても反磁場の発生が小さいため、 H_d はほぼ一定であることがわかった。これにより、CIP における微小化による H_d の増大という問題点を解決でき、感度も向上した。

これらのことから、本研究で提案した CPP 試料構造は微小化に適しており、次世代の磁気ヘッドに応用できる可能性がある。

文 献

- 1) 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**, 91 (1993).
- 2) 瀬山 喜彦, 飯島 誠, 田中 厚志, 押木 満雅: 日本応用磁気学会誌 **22**, 537 (1998).
- 3) M. A. M. Gijs, S. K. J. Lenczowski and J. B. Giesberg: Phys. Rev. Lett. **70**, 3343 (1993).