磁界中アニールによる磁気抵抗素子の特性変化

Magnetic Properties of Magnetoresistive Element Annealed in Magnetic Field

永田裕二・深沢利雄・青井孝久

松下電器産業株式会社音響研究所, 大阪府門真市大字門真 1006 (〒571)

Y. Nagata, T. Fukazawa, and T. Aoi

Acoustic Research Lab., Matsushita Electric Ind. Co., Ltd., 1006, Kadoma, Osaka, 571

Magnetoresistive (MR) effect and anisotropy field (H_k) of NiFe thin film annealed in a direct and rotational magnetic field were studied. In the large size MR element, H_k decreased with temperature up to 300°C due to stress relaxation. When the annealing temperature exceeds 350°C, both $\Delta\rho/\rho$ vs. H curves measured along magnetic hard and easy axis showed large dispersive hysteresis. This resulted in a decrease in $\Delta\rho/\rho$. In the fine stripe MR element, on the contrary, magnetoresistive and magnetic properties of NiFe film hardly changed at temperature up to 500°C because of shape magnetic anisotropy.

An MR head with magnetic yoke constituted of amorphous CoNbZr was fabricated. The MR head was annealed in a direct and rotational magnetic field in order to obtain high permeability of the yoke. MR characteristics of NiFe film located in the head had a desirable response.

1. はじめに

磁気抵抗型ヘッド (MRヘッド)¹⁾は再生出力が記録媒体との相対速度に依存せず, また狭トラック, マルチトラック化が容易に実現できるなど高記録密度用再生ヘッドとして特に注目されている。

高分解能再生を目的としたMRヘッドには, 磁気抵抗素子 (MR素子) の両側に絶縁層を形成し, さらにその外側にシールド層を設けたシールドタイプ²⁾とMR素子を記録媒体から離れた位置に形成し信号磁束をMR素子に導くためのヨークを有するヨークタイプ³⁾がある。

これらのシールド材料およびヨーク材料は高透磁率性, 耐摩耗性を考慮してアモルファス合金スパッタ薄膜で構成されることが望ましい。しかしアモルファス薄膜は軟磁気特性向上のため磁界中アニール処理が必要であり, アモルファス薄膜に先立って形成されるMR素子もヘッド作製プロセス中に同様の処理を受けることになる。このため, 直流磁界中および回転磁界中アニールによるMR素子の磁気特性変化を調べた。特に素子形状 (大形状ストライプと実装レベルでの微細ストライプ) とアニール温度, 磁界強度などの影響を明らかにした。

また, ヨーク材料としてCoNbZrアモルファス薄膜を用いたヨークタイプMRヘッドを試作し, そのMR特性を実装状態で測定した。

2. 実験方法

MR素子はNiFe薄膜から成り, ソーダガラス基板上に電子ビーム蒸着装置を用いて作製した。蒸着時の到達真空度は 2×10^{-6} Torr以下で, 基板温度は250°C, 膜形成速度は4 Å/secであった。また蒸着は70 Oeの直流磁界中で行いNiFe薄膜に一軸異方性を誘起した。膜組成はICP発光分析により測定され81.5 wt % NiFeであった。素子形状として幅9 μm, 長さ74 μmの微細ストライプと, 幅3 mm, 長さ29 mmの大形状ストライプの二種類を作製した。この時, 磁化容易軸はストライプの長手方向に設定した。膜厚は300 Å, 400 Å, 500 Åの三種類とした。MR特性測定用電極はAu/Cr薄膜を用い, 電極間距離は微細ストライプで56 μm, 大形状ストライプで10 mmとした。素子は0.25 μm厚のSiO₂膜で被覆した。

アモルファス薄膜は実用上, 成膜後に直流磁界中アニール (direct field annealing; DFA) と回転磁界中アニール (rotational field annealing; RFA) とを組合わせた処理を行う。これにより困難軸方向の設定と同時に高透磁率を得ている。このため, MR素子に加えるアニール処理は, まずMR素子の長手方向 (磁化容易軸方向) に直流磁界を一致させて20分間, さらに回転磁界中で20分間真空中にて行った。また処理温度はアモルファス

Fig. 1 MR characteristics of a large size (3 mm×29 mm) NiFe stripe annealed in magnetic field at each temperature. (a) hard axis (b) easy axis (2 Oe/div).

軟磁性膜として比較的高い結晶化温度を有する CoNbZr 膜⁴⁾ や CoNbTa 膜⁵⁾ などを考慮して 250°C~500°C の範囲で行った。代表的な磁界強度は 500 Oe で、その依存性確認のため 0 及び 135 Oe でも行った。

素子の MR 特性は、ヘルムホルツコイル内に試料を設置し、60 Hz の外部磁界をその磁化困難軸および磁化容易軸方向に印加して測定した。前者の MR 特性から異方性磁界 H_k と困難軸方向の抗磁力 H_{ch} を、後者の特性から容易軸方向の抗磁力 H_{ce} をそれぞれ求めた。素子の比抵抗 ρ は四端子法により測定した。MR 素子の最大比抵抗変化 $\Delta\rho$ は測定した困難軸方向における MR 特性の電圧変化から求め、最大比抵抗変化率 $\Delta\rho/\rho$ を算出した。

3. 実験結果と検討

Fig. 1 は大形状ストライプ試料について処理温度を変化させた時の磁界中アニール処理後の MR 特性を示したものである。Fig. 2, 3 はこれら MR 特性から H_k , $\Delta\rho/\rho$, H_{ch} , H_{ce} を測定しプロットしたものである。Fig. 2 によると大形状ストライプは磁界中アニール処理の影響を受けやすく、 $\Delta\rho/\rho$ は処理温度が高くなるに従い大きく低下する。 H_k は 300°C まで処理温度の上昇に伴い一度低下し、350°C 以上から急激に増加する。これらの挙動は Fig. 3 に示した結果と対応しており、350°C 以上で

は NiFe 薄膜の等方化が進行して、 H_{ce} , H_{ch} が急激に増大する。この結果として H_k も見掛け上増加する。Fig. 1 によると処理温度 500°C では容易軸方向および困難軸方向の特性の差違が全く消失し、この温度で完全に等方化膜となることがわかる。また、アニール処理は 10^{-6} Torr 以下の真空中で行っており、この時、 SiO_2 膜被覆の有無に関係なく NiFe 薄膜は酸化していないことを Auger 分光分析により確認している。

処理温度 300°C 以下で H_k が低下する現象は、作製した NiFe 薄膜がわずかに負の磁歪を有しており、磁歪の

Fig. 2 Annealing temperature dependence of anisotropy field (H_k) and magnetoresistive effect ($\Delta\rho/\rho$) in a large size NiFe stripe.

逆効果に起因する異方性が NiFe 薄膜の応力緩和によって弱められた結果と推定できる。

Fig. 4 は処理温度 300°C における MR 特性の磁界強度依存性を示したもので、磁界ゼロ、及び 135 Oe, 500 Oe の磁界中でアニール処理した時の結果である。これらの結果から H_k の低下には磁界強度依存性がほとんど見られず、むしろ処理時間による影響が大きいことがわかる。これは、処理時間に比例して NiFe 薄膜の応力緩和量が大きくなるためと推察できる。 $\Delta\rho/\rho$ については磁界強度および処理時間に依存しなかった。

一方、微細ストライプ NiFe 薄膜の代表的な MR 特性を Fig. 5 に示す。これは 400°C でアニール処理後のものである。測定磁界 $H_{ex}=0$ 近傍で特性の乱れが観察される。これは磁壁の不規則移動に起因するバルクハウゼンノイズ⁶⁾で、特に微細パターン化された NiFe 薄膜で発生しやすいものである。

Fig. 6 はアニール処理後における微細ストライプの NiFe 薄膜の H_k および $\Delta\rho/\rho$ を各膜厚でプロットした

ものである。アニール処理による H_k 変化はほとんどなく $\Delta\rho/\rho$ の変化も小さく大形状ストライプのものと比較して本質的に異なる挙動を示した。これは微細ストライプの場合、異方性の原因は磁界中蒸着による誘導異方性よりも、形状に起因する異方性が優勢となるためである。

即ち、一般に強磁性薄膜の膜厚を t 、幅を w 、飽和磁束密度を $4\pi M_s$ とすると、ストライプ幅方向の反磁界 H_d は次式で近似される。

$$H_d \approx 4\pi M_s(t/w) \quad (1)$$

(1) 式より膜厚 500 Å の場合、大形状ストライプでは $H_d \approx 0.13$ Oe、微細ストライプで 45 Oe となる。Fig. 2 に示した大形状ストライプの異方性磁界 H_k は 2~8 Oe であり、この時の異方性はほとんど誘導磁気異方性に起因している。一方、微細ストライプになると反磁界 H_d は増大し、この H_d に起因する異方性エネルギーが MR 素子に付与される。したがって、微細ストライプをアニール処理した場合には誘導磁気異方性は低下するが、形

Fig. 3 Annealing temperature dependence of the easy and hard axis corecivity in a large size NiFe stripe.

Fig. 4 Applied field strength dependence of anisotropy field (H_k) and magnetoresistive effect ($\Delta\rho/\rho$) in a large NiFe stripe.

Fig. 5 Typical MR characteristics of a fine NiFe stripe. (a) hard axis (b) easy axis (20Oe/div).

Fig. 6 Annealing temperature dependence of anisotropy field (H_k) and magnetoresistive effect ($\Delta\rho/\rho$) in a fine NiFe stripe.

Fig. 7 Structure of yoke type MR head.

状異方性は処理温度に依存しないで保持され、NiFe 薄膜の一軸異方性を堅持する。この傾向は NiFe 薄膜の各膜厚で変化なく膜厚による本質的な差異は見られなかった。

4. ヨークタイプ MR ヘッドへの応用

以上得られた結果をヨークタイプ MR ヘッドへ適用しアモルファス薄膜で構成されたヨークを有する MR ヘッドを実際に試作し、MR 特性を実装状態で評価した。

ヨークタイプ MR ヘッドの構造を Fig. 7 に示す。記録媒体からの信号磁束はフロントヨークに導かれて MR 素子に流入する。信号磁束に対応した MR 素子の抵抗変化は、素子を流れるセンス電流により電圧変化に変換され検知される。線型動作および高感度化を達成するためのバイアス磁界印加用導体は、MR 素子の下層に SiO₂ 膜を中間層として Au/Cr 薄膜で形成した。ヨーク材料として CoNbZr アモルファス薄膜を使用し、アモルファス薄膜のパターンエッチング後に磁界中アニールを行った。処理温度は 350°C で直流磁界中、回転磁界中ともに 20 分間であった。

Fig. 8 は試作したヨークタイプ MR ヘッドのバイアス磁界印加用導体に 60 Hz の交流電流を通じ、誘起した交流磁界を MR 素子に印加して測定した実装状態の MR 特性である。MR 素子を流れるセンス電流の自己バイアス効果³⁾によって、測定された MR 特性は左ヘシフトしているが、大形状ストライプ時と同様のバルクハウゼンノイズ発生が抑制された極めて優れた特性を示した。こ

Fig. 8 MR characteristics of NiFe film located in Yoke type MR head. (1.6 Oe/div).

れは、MR 素子がヨーク、基板などから構成される閉磁路内に設置され、これらの複合作用により磁区の発生が抑制されているためと思われる。

5. ま と め

大形状ストライプの NiFe 薄膜を磁界中アニール処理すると、処理温度 300°C 以下では NiFe 薄膜の応力緩和によりその一軸異方性が低下し、350°C 以上では磁気特性の等方化が急激に進行することを示した。

一方、実装レベルの微細ストライプにおいては、形状効果による異方性が上記の変化を軽減し、 H_k , $\Delta\rho/\rho$ 変化を極めて小さくすることを確認した。このような傾向に対する磁界強度依存性は特に見られなかった。

最後に、これらの結果をもとに CoNbZr アモルファス薄膜をヨーク材料として使用し、MR 素子およびヨーク部形成後に磁界中アニール処理を行ったヨークタイプ MR ヘッドを試作して実装レベルで MR 特性を評価した。その結果、 $\Delta\rho/\rho$ の低下がなく一軸異方性にも変化のない極めて優れたものであった。

文 献

- 1) R. P. Hunt: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-7**, 150 (1971).
- 2) R. I. Potter: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-10**, 502 (1974).
- 3) W. F. Druyvesteyn *et al.*: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-17**, 2884 (1981).
- 4) H. Sakakima: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-19**, 131 (1983).
- 5) M. Naoe *et al.*: *J. Appl. Phys.*, **53**, 7864 (1982).
- 6) C. Tsang: *J. Appl. Phys.*, **55**, 2264 (1984).

1985 年 12 月 27 日受理, 1986 年 2 月 27 日採録