

Ni₅₀Fe₅₀ めっき膜の磁区制御Magnetic Domain Control of an Ni₅₀Fe₅₀ Electroplating Film

清宮 照夫・上原 裕二

富士通(株), 神奈川県厚木市森の里若宮 10-1 (〒243-0124)

T. Kiyomiya and Y. Uehara

Fujitsu Ltd., 10-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi 243-0124

(1999年10月29日受理, 1999年12月14日採録)

The magnetic domain control of an Ni₅₀Fe₅₀ electroplating film was investigated by conducting an experiment on a prototype Ni₅₀Fe₅₀ stripe film plated onto a photoresist stripe layer. The hard cured photoresist layer shrank as a result of annealing. The shrinkage of the photoresist layer produced a compressive stress on the electroplating film. A closure domain structure could be obtained on the condition that the compressive stress produced by the shrinkage of the photoresist layer was higher than the tensile stress of the electroplating film. We applied this domain control technique to a thin-film head and obtained a closure domain structure in the upper magnetic core. This head had good properties in the high frequency range.

Key words: Ni₅₀Fe₅₀, stripe, electroplating, domain structure, hard cured photoresist, annealing, thin-film head, high frequency

1. はじめに

記録ヘッドの磁極材料としては, 広く従来から Ni₈₀Fe₂₀ (wt%, 以下同じ) が用いられているが, ハードディスクの高記録密度化及び記録周波数の高速化に伴い, 近年はFeを多く含むNi₅₀Fe₅₀が使用されはじめている. この材料はNi₈₀Fe₂₀と比較して飽和磁束密度が高く, 比抵抗が大きいという特長を持つ反面, 磁歪定数が大きい為応力の影響を受けやすいという欠点を持つ.

記録ヘッドの高周波特性は磁極の磁区構造と関係があり, 磁壁の移動を伴わない磁化回転のみで駆動できる還流磁区構造が優れた特性を有することは良く知られている^{1)~5)}. また, 上部磁極はコイル絶縁層上に形成されるため磁区構造が不安定になりやすく, 還流磁区構造を形成するための磁歪, 応力の制御は非常に重要であることも良く知られている^{6)~8)}.

Ni₅₀Fe₅₀膜は零磁歪近傍の組成であるNi₈₀Fe₂₀と比べて10⁵倍の大きな正の磁歪をもっており, Ni₈₀Fe₂₀をただ置き換えるだけでは磁区構造が乱れ十分な高周波特性を得ることはできない⁹⁾.

そこで本稿は, 逆磁歪効果による磁気異方性の発生を制御し磁気ヘッドとして好ましい還流磁区構造を得ることを目的として, Ni₅₀Fe₅₀めっき膜自身が持っている内部応力とレジスト絶縁層から受ける応力を定量的に評価した. また, この結果を記録ヘッドの上部磁極の磁区制御に適用し, 高周波領域での記録特性について評価したので報告する.

2. 実験方法

記録ヘッドにおけるレジスト絶縁層上に形成された上部磁極のモデルとして Fig. 1 に示すようなサンプルを作製した. ガラス基板上にまず, ストライプ幅 100 μm, 厚さ約 10 μm のストライプレジスト絶縁層を, Table 1 に示すようにレジスト種類及び硬化条件の異なる試料 A, B, C, D の 4 条件にて形成した. 次に, この絶縁層に直交するように Ni₅₀Fe₅₀ ストライプめっき膜 (30/50/100 μm 幅, 長さ 7 mm) を磁界中約 3 μm めっきした. 磁界はレジストストライプ方向に約 800 Oe 印加した.

これら試料を無磁場, 真空中にて熱処理を行い, ビッター法により磁区観察を行った. また, めっき膜の内部応力の評価はガラス基板上に形成したサンプル基板のそり量より算出した. レジスト収縮量は熱処理前後での膜厚測定により評価した.

さらに実際の記録ヘッドでの特性把握のために Table 2 に示す緒元にてヘッド試作を行った. 磁極材料としては, 上部磁極, 下部磁極ともに単層の Ni₅₀Fe₅₀ めっき膜を用い, レジスト絶縁層はモデル実験で用いた試料 C, 即ち硬化条件として窒素雰囲気中 250 °C, 1 時間の条件を適用した. また, ヘッドの熱処理は無磁場, 真空中にて 250 °C, 1 時間の条件にて行った.

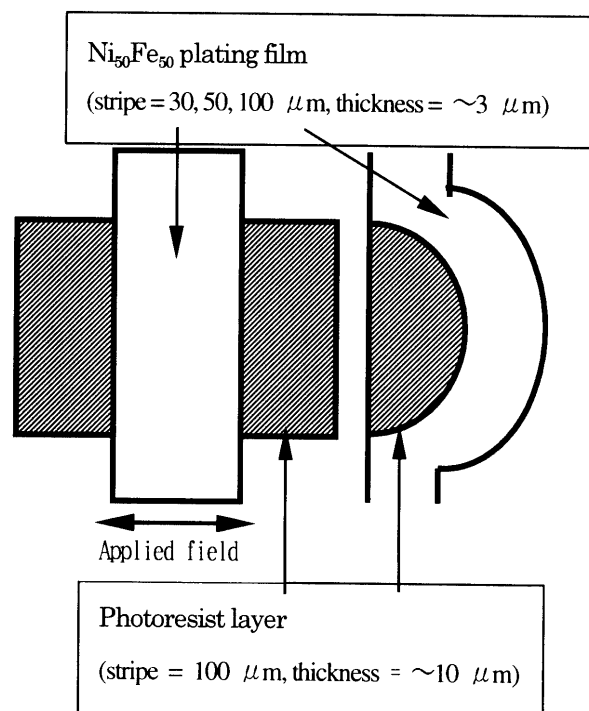


Fig. 1 Ni₅₀Fe₅₀ stripe film plated on the photoresist stripe layer.

Table 1 Hard cure conditions of the photoresist layer.

Sample	Resist	Hard cure condition		
A	K	275 °C	N ₂	3h
B	K	230 °C	air	1h
C	K	250 °C	N ₂	1h
D	S	200 °C	N ₂	1h

Table 2 Head specification and annealing conditions.

Track width	2.0 μm
Gap length	0.3 μm
Coil	10 turns (single)
Yoke length	56 μm
Upper pole	Ni ₅₀ Fe ₅₀ 3.5 μm
Lower pole	Ni ₅₀ Fe ₅₀ 3.0 μm
Photoresist layer	Sample C (250 °C N ₂ 1h)
Annealing conditions	250 °C Vac. 1h (H=0)

3. 結果および考察

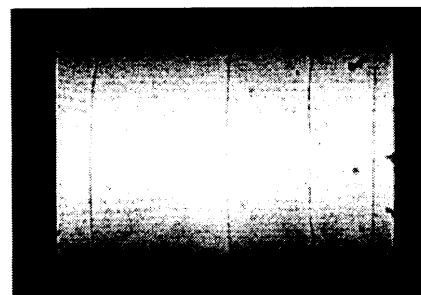
Fig. 2に磁区観察結果の一例を示す。試料Dの硬化条件にてレジスト絶縁層を作製した後、ストライプ幅 100 μm のめっき膜を形成した試料の、熱処理前後での磁区観察を行った。めっき直後の磁区構造は Fig. 2(a)に示すような大きな縦割れ磁区(めっき印加磁界とは直交する方向に磁壁が存在する磁区)を形成していたが、熱処理を施すことにより Fig. 2(b)に示すような還流磁区構造へと変化した。そこで、Fig. 1の試料を 200 °C~275 °Cの範囲で熱処理を施した後、各ストライプめっき膜の磁区観察を行なった結果を Table 3 に示す。表中、○印は Fig. 2(b)に示すような還流磁区構造を、×印は Fig. 2(a)に示すような縦割れ磁区構造を表す。めっき直後の磁区はいずれも縦割れ磁区を形成していたが、熱処理を施すことにより還流構造へと変化した。Table 3 から、熱処理温度が高い程、又、試料A, B, C, Dの順に還流磁区の領域が多く占められていることがわかる。

これより、Ni₅₀Fe₅₀ ストライプめっき膜は、レジストの種類と硬化条件及び熱処理温度を適切に選択することにより、めっき直後に形成する大きな縦割れ磁区から高周波特性にとって望ましい還流磁区構造へと制御できることがわかる。

この磁区構造変化の機構を解明する為に、まずめっき膜自身の内部応力を評価した。Fig. 3にめっき膜内部応力の熱処理温度依存を示す。めっき直後は引張応力を示し、熱処理温度の増加と共に応力も単調に増加している。Ni₅₀Fe₅₀ の磁歪定数を $+2 \times 10^{-5}$ 、内部応力を約 $+2 \times 10^9$ dyn/cm²であることを考えると、逆磁歪効果による異方性は縦割れ磁区を助長する方向に付与される。したがって、熱処理によるストライプめっき膜の磁区構造変化が、このめっき膜の内部応力の変化によるものではないことがわかる。

次に、レジスト絶縁層の熱処理による膜厚変化を評価した。Fig. 4に、ストライブレジスト絶縁層の熱処理前の膜厚を 100%としてそれぞれの熱処理温度での各サンプルの膜厚の減少量をプロットした。これより、レジスト絶縁層はめっき前に高温で硬化させているにもかかわらず、再度 200 °Cを超える熱処理を行うと膜厚が減少している、即ち収縮している。また、その収縮量は試

(a)



(b)



Fig. 2 Magnetic domain structure of an Ni₅₀Fe₅₀ stripe film (sample D). (a) As-plated film (100 μm stripe), (b) annealed at 250 °C for 1h (H=0)

Table 3 Magnetic domain observation of an Ni₅₀Fe₅₀ stripe film after annealing (○ closure domain, × longitudinal domain).

	Stripe width	As-plated	200°C	250°C	275°C
A	30 μm	×	×	×	×
	50 μm	×	×	×	×
	100 μm	×	×	×	○
B	30 μm	×	×	×	×
	50 μm	×	×	×	○
	100 μm	×	×	×	○
C	30 μm	×	×	○	○
	50 μm	×	×	○	○
	100 μm	×	×	○	○
D	30 μm	×	×	○	○
	50 μm	×	×	○	○
	100 μm	×	×	○	○

料A, B, C, Dの順に大きくなっていることがわかる。レジスト絶縁層の加熱収縮により Fig. 5 に示すようにレジスト上のストライプめっき膜に圧縮応力が発生する。この圧縮応力の大きさを同図に示すように近似して計算を行った。レジスト絶縁層の外周を半径 r を有する円弧として近似すると、レジスト膜厚が加熱により b から bs へ収縮することにより、レジスト絶縁層の外周長さが円弧 L から Ls へと収縮する。この時、めっき膜に発生する圧縮応力は以下に示す式で表すことができる。

$$\begin{aligned}
 L &= (\pi/b) (a^2 + b^2) (1 - (\tan^{-1}(a/b))/90) \\
 Ls &= (\pi/bs) (a^2 + bs^2) (1 - (\tan^{-1}(a/bs))/90) \\
 \sigma &= E(L - Ls)/L \\
 (E &= 2.0 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2; \text{NiFe のヤング率})
 \end{aligned}$$

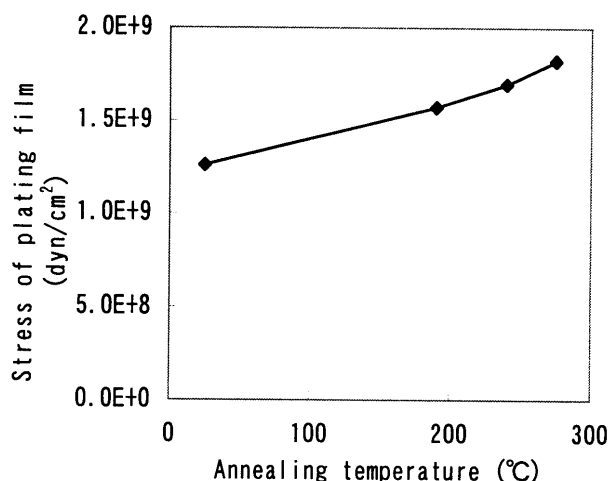


Fig. 3 Relationship between the stress of the $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ plating film and the annealing temperature.

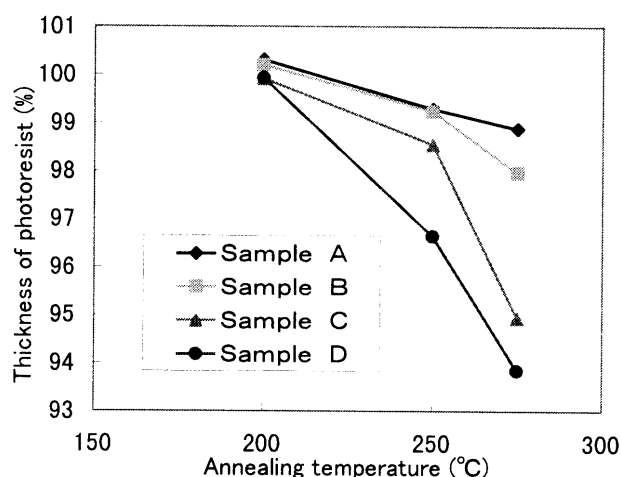


Fig. 4 Dependence of the thickness of the photoresist stripe layer on the annealing temperature.

レジスト膜厚の減少から計算した各温度でのめっき膜に加わる圧縮応力の値と、Fig. 3により得られる各温度でのめっき膜の内部応力（引張）の値とを加えることにより、めっき膜に作用する応力を計算することができる。Fig. 6に、このようにして得られためっき膜に作用する応力の熱処理温度依存を示す。図中にはTable 3で○、×で示した磁区観察結果も書き加えてある。Fig. 6より、めっき膜に作用する応力が引張応力の時はめっき膜に縦割れ磁区構造が形成されるが、圧縮応力の時に還流磁区構造が形成されることがわかる。以上より、レジスト絶縁層の加熱収縮により発生する圧縮応力が、めっき膜の内部応力（引張）より大きい時に還流磁区構造が得られることがわかる。

以上のモデル実験より、レジストの収縮によってめっき膜に生ずる圧縮応力をうまく利用することによって還流磁区構造が実現できることがわかったので、これを実際の記録ヘッドに適用して磁区構造及びヘッド特性評価を行った。Table 2の試作ヘッド緒言に示すように、レジスト絶縁層は加熱による収縮量の比較的大きかった試料Cの条件を用いた。試作では、ウェハー状態で熱処理を施したヘッドと施さないヘッドを準備した。熱処理前後での上部磁極の磁区構造をビッター法により観察した結果をFig. 7に示

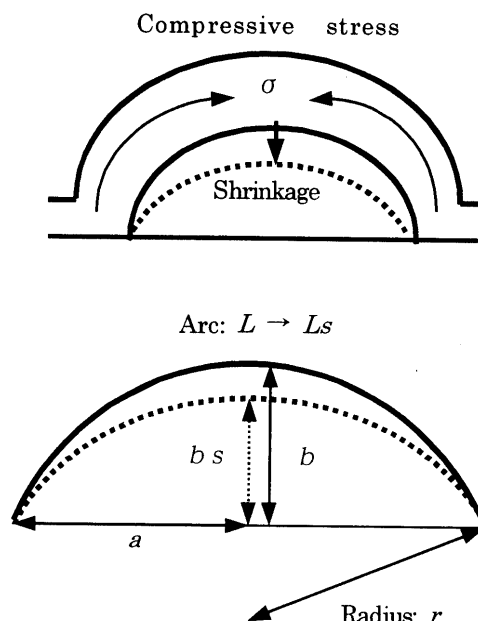


Fig. 5 Estimation of the compressive stress of the plating film induced by the shrinkage of the photoresist layer.

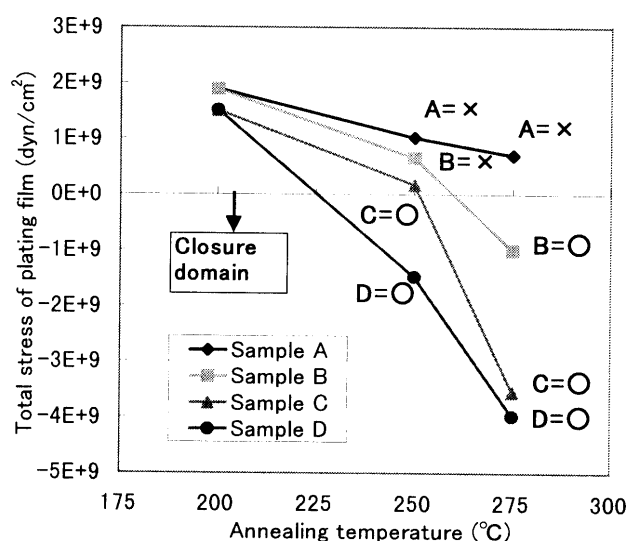


Fig. 6 Total stress of the $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ plating film and the magnetic domain structure (○ closure domain, × longitudinal domain).

す。熱処理を施さないヘッドではモデル実験と同様に上部磁極に大きな縦割れ磁区が観察されるが、無磁場、真空中 250 °C、1 時間の熱処理を施すことにより還流磁区構造へと変化していることがわかる。これは、ストライプめっき膜によるモデル実験と同様、熱処理によるレジスト絶縁層の収縮により上部磁極に圧縮応力が発生し、磁区構造が変化したと考えられる。

Fig. 8は、このように作製したヘッドの評価結果である。媒体保磁力は 4020 Oe の媒体を用いており、この媒体でヘッドのオーバーライト特性としては、 $I_w = 35$ mA で -37 dB が得られ、十分に書き込みがされていることを確認した。また、リードヘッドは同一のヘッドを用いた。図は、記録周波数とダイビットの出力 VD の関係をプロットしたものである。これをみると、熱処理を施したヘッ

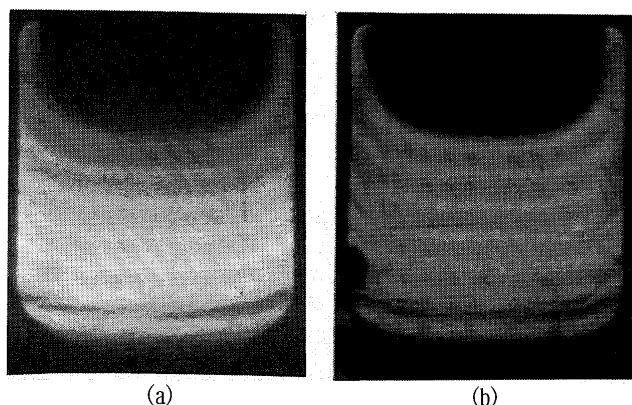


Fig. 7 Magnetic domain structure of the $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ upper pole (a) as-plated, (b) annealed at 250 °C for 1h ($H=0$).

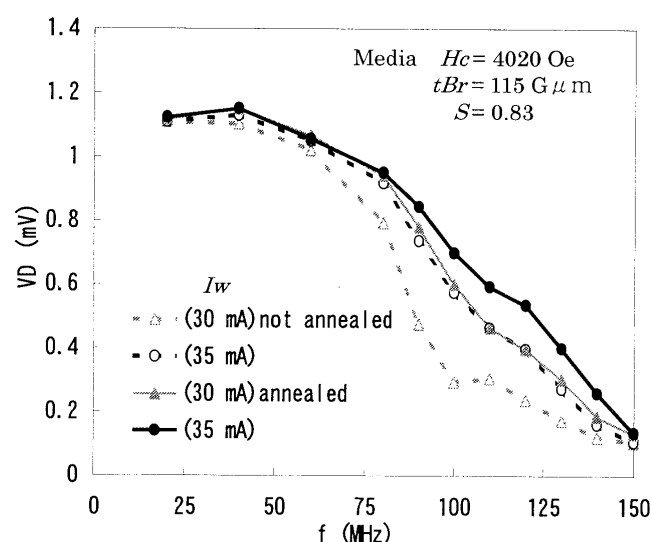


Fig. 8 Comparison between the frequency characteristics obtained by the annealed and non-annealed heads.

ドの方が 80 MHz を超える周波数でダイビット出力が増加しており、高周波での記録能力が向上していることがわかる。これは、熱処理により上部磁極の磁区構造が縦割れから還流に変化することにより高周波特性が向上したと考えられる。

4. 結 論

記録ヘッドにおけるレジスト絶縁層上に形成された上部磁極のモデルとして、ストライプレジスト絶縁層に直交するように形成した $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ ストライプめっき膜の磁区制御について検討した。

その結果、めっき後に再度アニールを施すことによってレジスト絶縁層は更に収縮し、この結果めっき膜に圧縮応力が発生し、磁区構造が縦割れから還流磁区に変化することがわかった。また、めっき膜自身の内部応力とレジスト収縮により発生する圧縮応力とを加えることにより得られるめっき膜に作用するトータルの応力を評価したところ、トータルの応力が圧縮応力となる時、還流磁区構造が得られることがわかった。

また、このモデル実験をベースに実際の記録ヘッドの $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ 上部磁極の磁区制御に適用した。めっき直後には大きな縦割れ磁区を形成していた上部磁極は、熱処理を施すことにより、モデル実験と同様還流磁区構造へと変化した。またこれに伴い、ヘッドの高周波領域での特性が向上した。

文 献

- 1) 成重真治, 光岡勝也, 華園雅信, 高木政幸, 吉田敏博: 日本応用磁気学会誌, 7, 99 (1983).
- 2) P.L.Trouilloud, B.E.Argyle, B.Petek, and D.A.Herman: *IEEE Tran. Magn.*, 25, 3461, (1989).
- 3) 三浦義従, 片橋 久, 松原結子, 村守 清: 日本応用磁気学会誌, 14, 571 (1990).
- 4) 鳴海俊一, 須藤修二, 相原 誠, 福井 宏: 日本応用磁気学会誌, 16, 95 (1992).
- 5) 小林和雄: 日本応用磁気学会誌, 17, 117 (1993).
- 6) 小柳弘明, 荒井礼子, 光岡勝也, 福井 宏, 成重真治, 杉田 信: 日本応用磁気学会誌, 13, 103 (1989).
- 7) 斎藤美紀子, 大橋啓之, 山田一彦, 清宮健司, 小澤 隆: 日本応用磁気学会誌, 19, 141 (1995).
- 8) 篠浦 治, 小柳 勤, 中川善朗: 日本応用磁気学会誌, 21, 245 (1997).
- 9) 大森広之, 寺田尚司, 菅原伸浩, 山元哲也: 日本応用磁気学会誌, 23, 1049 (1999).