MIG ヘッドの疑似出力と Fe-Al-Si 薄膜の磁気特性

Pseudo Output and Magnetic Properties of Fe-Al-Si Film in MIG Head

行徳 明・富安 弘・古賀直樹・小林 深

九州松下電器(株)磁気応用技術センター, 熊本県玉名郡菊水町大字高野 1080 (☎865-01)

A. Gytoku, H. Tomiyasu, N. Koga and F. Kobayashi

Applied Magnetic Engineering Center, Kyushu Matsushita Electric Co., Ltd.,
1080, Takano, Kikusui-cho, Tamana-gun, Kumamoto 865-01

Fe-Al-Si film has a layer with inferior magnetic properties near the boundary between the film and a ferrite core. This layer, which acts as a pseudo gap in MIG heads, is caused by nonuniform structure of the Fe-Al-Si film and the diffusion between the film and ferrite. Improvement of the properties of the Fe-Al-Si film requires better crystalline orientation, smaller grain size and homogeneous film structure, which is attained by selecting optimized substrates. When the MIG head uses a single-crystalline ferrite preparing (110) plane as a gap surface, the head has no pseudo output as does a MIG head of poly-crystalline ferrite with Fe-Ni/Fe-Al-Si double layer film, because both MIG heads have good crystalline orientation and homogeneous film structure.

本論文では、Fe-Al-Si 薄膜の結晶配向性、均質性という膜構造の観点から MIG ヘッドの疑似ギャップの生成原因について述べ、単結晶フェライトの最適な面方位を被着面として選択した MIG ヘッドが、疑似ギャップを低減することを示す。

2. 実験方法

Fe-Al-Si 薄膜は、Table 1 に示す条件にて RF スパッタリング法を用いて成膜し、550℃、1 時間の熱処理を行った。この時の膜の飽和磁束密度は 11 kG、初透磁率は 3000 程度であった (Fig. 1)。なお、初透磁率は、非磁

1. はじめに

飽和磁束密度の高い金属磁性薄膜をギャップ部に設けた Metal-In-Gap (MIG) ヘッドは、高密度記録を目的とした高保磁力媒体に対応できる磁気ヘッドとして、注目されている^{1), 2)}。しかし、金属磁性薄膜がギャップと平行に形成された MIG ヘッドでは、膜とフェライトコアの界面に疑似ギャップが形成され、波形歪の問題を有している。この疑似ギャップの原因は、金属磁性薄膜である Fe-Al-Si 薄膜の膜形成初期における磁気的劣化層であることを前回示した³⁾。また、熱処理により Al, Si の酸化物が界面付近に形成され、これが疑似ギャップの原因とする報告もある⁴⁾。いずれにせよ、界面付近での磁気的劣化が原因であると考えられる。

一方、Fe-Al-Si 薄膜の軟磁気特性は、規則構造の違い、組成による結晶磁気異方性、および磁歪に強く依存する⁵⁾。また、最近になって、面配向の乱れ、各結晶粒の集合状態などの構造上の要因が軟磁気特性に関係していることが報告されている⁶⁾。したがって、膜構造と磁気特性の関係を明らかにすることは、疑似ギャップの原因を研究する上からも重要である。

Table 1 Sputtering condition

Density of power	4.4 (W/cm ²)
Pressure of atmosphere	10 (mTorr)
Substrate temperature	150 (°C)
Sputtering rate	200 (Å/min)
Composition of target	10.5Wt%Si-8.0Wt%Al-bal.Fe

Fig. 1 Frequency characteristic of initial permeability in Fe-Al-Si film.

Table 2 Head type

Film type	Fe-Ni	Plane	Core material	Head type
P	No	•	Poly	P-Head
PP	Exist	•	Poly	PP-Head
S(211)	No	(211)	Single	•
S(111)	No	(111)	Single	•
S(100)	No	(100)	Single	•
S(110)	No	(110)	Single	S-Head

性基板上に成膜し、シャントコア法で測定した。膜構造を検討した下地基板としては、数種の Mn-Zn フェライトを用い、必要に応じて 1000Å 程度の Fe-Ni 合金薄膜を形成した。単結晶フェライトの場合、成膜面として (110) 面、(100) 面、(111) 面、(211) 面を用いた。作成した試料の種類は、Table 2 に示している。膜の結晶構造は X 線回折装置にて測定し、結晶粒径は Scherrer の式より求めた。薄膜の保磁力はフェライトのキュリー温度を超える 250℃ で、振動試料型磁力計 (VSM) を用いて測定した。

3. Fe-Al-Si 薄膜の磁気特性

Fig. 2 に各基板上に形成した代表的な膜の断面 SEM 写真を示す。図より、基板の種類によって膜構造は異なり、ち密で均一な膜ほど優れた磁気特性を示していることがわかる。以下では、膜構造を結晶配向性、結晶粒径の観点から調べ、磁気特性との関係について定量的に検討した。

多結晶フェライトおよび単結晶フェライトの各面に形成した Fe-Al-Si 薄膜の X 線回折結果を Fig. 3 に示す。膜厚は 4μm とした。各々の膜の結晶構造は、下地基板によって大きく異なることがわかる。ここで、バルクセグメントの無配向状態は、X 線回折の強度比 $I_{(211)}/I_{(110)}$ が 25% 程度であることから考えると、多結晶フェライト上の膜は無配向に近い状態である。一方、単結晶フェ

ライトの (111) 面上に形成された膜は、(110) 面の結晶が優先配向している。また、単結晶フェライトの (110) 面上および、多結晶フェライトに Fe-Ni 膜を介して成膜した膜は、(211) 面が優先配向した結晶状態となっている。

膜の (211) 面の配向に注目し、全ピーク強度に対する (211) 面の強度比と保磁力 H_c の関係を Fig. 4 に示す。単結晶フェライト上では、膜の (211) 面の配向性が高くなるに伴い保磁力 H_c は小さくなる。これに対し、多結晶フェライト上の膜は、この配向性と保磁力の関係にあてはまらず、単結晶フェライトと比べて大きな H_c を示している。これは、Fig. 2 の断面の観察に見られる結晶粒の不均一性に関係していると考えられる。

次に、結晶粒径が磁気特性に与える影響について調べるために、Scherrer の式より求めた膜の (211) 面および (110) 面の各結晶粒径と保磁力 H_c の関係を求めた。Fig. 5 に示しているように、(211) 面が配向した膜は結晶粒径の微細化とともに、保磁力 H_c は小さくなっている。結晶粒径と磁気特性の関係については、結晶粒の微細化が結晶磁気異方性および異方性分散を小さくするため、磁気特性が向上すると考えられているが⁷⁾、Fe-Al-Si 薄膜も同様な傾向にあることが認められる。

Fig. 4 で示した (211) 面の配向性の向上による保磁力 H_c の減少は、Fig. 6 で示す配向性と結晶粒の関係から、配向性の向上が結晶粒の微細化に影響するためだとも考えられる。また、単結晶フェライトの (110) 面および (111) 面上の膜は、共に優先配向した結晶構造であるため、配向による乱れは生じていない。したがって、各結晶面での磁歪の違いが原因とも考えられる⁸⁾が、詳細については、現在検討中である。

次に、Fe-Al-Si 薄膜は膜厚の減少に伴い磁気特性の劣化が大きいことが知られているため^{3), 6)}、この原因に

Fig. 2 The SEM photographs of Fe-Al-Si film's cross section.

Fig. 3 X-ray diffraction patterns of Fe-Al-Si films.

Fig. 4 The relationship between coercivity and degree of crystalline orientation of (211) plane in Fe-Al-Si film.

Fig. 5 The relationship between coercivity and grain size of (211) plane and (110) plane in Fe-Al-Si film.

について検討した。ここで、(211)面の配向性が高い試料として単結晶フェライトの(110)面上、およびFe-Ni薄膜を介した多結晶フェライト上の膜を、また、膜の配向

Fig. 6 Grain size dependence of crystalline orientation of (211) plane in Fe-Al-Si film.

Fig. 7 Thickness dependence of coercivity.

性の悪い試料として、多結晶フェライト上の膜を用いた。各下地基板での保磁力 H_c の膜厚依存性をFig. 7に示す。多結晶フェライト上の膜は、1000Å以下の膜厚において、保磁力 H_c が100 Oeとなり非常に特性が悪くなっている。一方、単結晶フェライト(110)面上の膜、およびFe-Ni合金薄膜を介した膜では、保磁力 H_c は10 Oe程度にまで改善されている。

前述したように、保磁力は配向性と結晶粒径に影響されるので、配向性および結晶粒径の膜厚依存性について調べた。その結果をFig. 8, Fig. 9にそれぞれ示す。単結晶フェライト上の膜では配向性および結晶粒径は、膜厚に依存せずば一定の値を示している。それに対し、多結晶フェライト上の膜は配向性、結晶粒径共に不均一で、しかも(211)面の配向性は低い膜となっている。以上のことから、単結晶フェライト上の膜は、多結晶フェライト上の膜と比べて配向性の乱れがなく、一様な結晶粒径の膜構造を有し、膜初期より特性の良い(211)面の配向性の高い膜となっている。このことが保磁力の膜厚依

Fig. 8 The relationship between thickness and degree of crystalline orientation of (211) plane in Fe-Al-Si film.

Fig. 9 Thickness dependence of grain size of (211) plane in Fe-Al-Si film.

存性における、単結晶フェライトと多結晶フェライトの差であると考えられる。

ところで、単結晶フェライト上の膜は、膜厚の変化に伴った膜構造上(結晶粒径、配向性)の差は見られないが、磁気特性の膜厚依存性は生じている。この理由としては、膜厚が薄いほど応力が大きくなるということから考えると、応力による逆磁歪効果とも予想される。また、後述する界面での拡散も原因の一つであると考えられる。

以上の結果より、Fe-Al-Si 薄膜の膜の配向性、結晶粒径およびそれらの膜内部での均一性が、下地基板によって影響を受け、その磁気特性に差が生じることがわかった。

4. ヘッド特性

4.1 ヘッド構成

今回用いた MIG ヘッドは、Fig. 10 に示すように、

Fig. 10 Structure of MIG head.

ヘッドのトレーリングコアに Fe-Al-Si 薄膜をギャップと平行に $4\mu\text{m}$ 形成した構成である。Fe-Al-Si 薄膜を形成するコア表面は、メカノケミカルポリッシングなどの方法で加工変質層を除去した。ヘッド加工工程における熱処理は、すべて 550°C 、1 時間で実施した。

前記 Fe-Al-Si 薄膜の磁気特性の結果に基づいて検討した MIG ヘッドの種類は Table 2 に示している。

4.2 疑似出力

Fig. 11 に各々の MIG ヘッドの孤立波形を示す。(a) の多結晶フェライトをコア材として用いた場合のみ、孤立波形に疑似出力が観察される。この理由は、前節 (Fig. 7) で述べたように、多結晶フェライト上に形成された膜の初期は、 $1000\text{\AA}$ の厚みで 100 Oe 程度の非常に特性の劣化した層となっているため、これが再生ギャップとして疑似的に機能していることが考えられる。一方単結晶フェライトコアを用いた MIG ヘッドの場合、初期は保磁力 H_c が 10 Oe 程度となり、磁氣的劣化が少ないため疑似出力は発生しないと考えられる。

ところで、従来より Fe-Al-Si 薄膜とフェライトでは、熱処理によって拡散が起ることが知られている。そこで、膜とフェライト界面での拡散を把握するために、オージェ電子分光法によって膜表面から深さ方向に Fe, Si, Al などの量がどのように変化しているのかを測定した。測定に用いたサンプルは各フェライト基板上に Fe-Al-Si 薄膜を $500\text{\AA}$ 形成し、磁気ヘッド製造工程と同じ熱処理を施した。Fig. 12 にその結果を示す。図中の界面に注目すると、中間層として Fe-Ni 合金薄膜を介した試料では、特定の原子あるいは酸化物の偏在は見られない。一方、単結晶フェライトの (110) 面上および多結晶フェライト上の膜では、共に Si, Al およびその酸化物が界面に偏在することが観察され、同程度の拡散が起きている。検出した Si の酸化を一つの劣化層だと考えると、 $300\text{\AA}$ 程度の非磁性層が界面に存在することになる。こ

Fig. 11 The isolated waveforms of various MIG head.

の場合、前回報告したシミュレーションの結果より 10% 以上の疑似出力が発生することが推定できる³⁾。しかし、Fig. 11 に示されるように、多結晶フェライトを用いたヘッドでも 5% 以下の疑似出力しかなく、さらに単結晶フェライトの場合は、ほとんど疑似出力が発生しない。この方法による拡散の測定は、膜面の面粗さおよびエッチングレートの差を誤差要因として含んでおり、図に示されている範囲がそのまま拡散範囲になるとは考えられない。また、粗さを考慮したとしても、単結晶フェライトの場合の疑似出力の未発生を説明することはできない。したがって、拡散による磁気的劣化は完全に非磁

性化するものでないと考えられる。

そこで、拡散による疑似出力の影響をさらに詳しく調べるために、単結晶フェライトを用いてギャップ形成温度を 550℃ から 700℃ に上げ、拡散を促進させた MIG ヘッドを試作評価した。Fig. 13 に示した孤立波形からもわかるように、550℃ でギャップ形成した場合とは異なり、疑似出力が観察される。Fig. 14 にこの温度でのオージェ電子分光法によるデプス・プロファイルを示す。Fig. 12(b) と比べると拡散の程度を示すピーク強度はほぼ等しいが、拡散範囲は大きく広がっている。

以上のことから、疑似出力は界面での磁気特性の劣化した層の特性と厚みに依存することがわかった。熱処理温度の上昇に伴う疑似出力の増大は、この特性の劣化した層が広がったために起きたと考えられる。

以上の結果に基づいて、Fe-Al-Si 薄膜の結晶配向性および拡散と疑似出力の関係をまとめたのが Table 3 で

Fig. 12 Auger depth profiles of Fe-Al-Si/Fer-rite.

Fig. 13 The isolated waveform of MIG head annealed at higher temperature.

Fig. 14 Auger depth profile of Fe-Al-Si film, which were sputtered on (110) plane of single crystalline ferrite and annealed at higher temperature.

Table 3 The relation between pseudo output and magnetic properties of Fe-Al-Si film

Head-type	$I(211)/(I(211)+I(110))$	Diffusion (Al, Si)	Pseudo output
P-Head (Ta=550 °C)	0.4	300 Å	5%
S-Head (Ta=550 °C)	1.0	250 Å	<1%
PP-Head (Ta=550 °C)	0.9	0	<1%
S-Head (Ta=700 °C)	1.0	500 Å	2~5%

ある。多結晶フェライトと単結晶フェライトでは拡散は同程度起きているが、膜の配向性に大きな違いがあることから、疑似出力の主な原因は拡散による劣化よりも、膜の結晶配向性による劣化によるものと考えられる。疑似出力のレベルを決める界面近傍の特性劣化層の特性と厚みは、拡散および膜構造による劣化の兼ねて決定されるが、疑似出力に関係する初期膜の改善には膜構造の方が強く寄与していることがわかる。つまり、あるレベル

での拡散による劣化があるとしても、膜構造による特性向上を図ることで界面での特性劣化を抑え、疑似出力を低減することが可能である。

5. まとめ

Fe-Al-Si 薄膜の磁気特性への下地の影響について、膜構造上の点から検討を行った。さらに、MIG ヘッドについてこの膜特性と疑似出力の関係について検討を行い、以下の結論を得た。

- (1) Fe-Al-Si 薄膜は下地によって膜の構造が異なり、磁気特性にも大きく差がある。
- (2) その膜構造として、(211) 面の配向性を高め、結晶粒を小さくし、さらに均一な膜構造にすることにより、優れた軟磁気特性が得られる。
- (3) 疑似出力は膜構造および拡散に依存する磁気的劣化層が原因となるが、膜構造上の劣化の方がその影響は大きいと考えられる。
- (4) 単結晶フェライトの(110) 面上に Fe-Al-Si 薄膜を形成した場合、膜の均質性、配向性が向上し、MIG ヘッドの本質的課題である疑似出力を抑えることができる。

文 献

- 1) Jaap J. M. Ruigrok: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-20**, 872 (1984).
- 2) 小林, 窪田, 久村, 佐藤: 応用磁気学会誌, **10**(2), 101 (1986).
- 3) 富安, 佐藤, 金井: 応用磁気学会誌, **11**(2), 105 (1987).
- 4) 久村, 国頭, 佐藤, 石田: 応用磁気学会誌, **12**(2), 103 (1988).
- 5) 高橋, 諏訪部, 成田, 脇山: 応用磁気学会誌, **12**(2) 103 (1988).
- 6) 高橋, 佐藤, 島津, 高橋: 電子情報通信学会技術研究報告, MR88-8 (1988).
- 7) 千田, 永井: 電子情報通信学会技術研究報告, MR-88-16, 17 (1988).
- 8) 高橋, 佐藤, 加藤: 応用磁気学会誌, **11**(2), 303 (1987).

1988 年 11 月 22 日受理, 1989 年 2 月 10 日採録