強磁体金属およびその合金を析出したアルミニウム・アノード皮膜の磁気記録密度の研究

川合 慧*・石黒 郁夫*・吉本 寛*

Recording properties of anodic oxide films
on aluminum containing electro-deposited ferro-magnetic
metals and alloys

UDC 669.716.9:541.67:539.22

KAWAI Satoshi*, ISHIGURO Ikuo* and YOSHIMOTO Hiroshi*

Fe, Co, Ni, Co-Ni, Fe-Ni, and Fe-Co were electrodeposited into micropores in oxide films on aluminum produced in a sulfuric acid bath. The coercive force varies from about 0.6 K Oe of Ni to about 3.2 K Oe of Fe-Co (Co 40%) alloy. Excellent squareness ratios are observed in every deposits except Co and Co rich alloys. The recording density is calculated to be approximately 14 K BPI in Fe-Ni (Ni 20%) alloy at about 3 μm in thickness. The vertical anisotropy leads to better results.

(Received April 5, 1977)

1. ま え が き

アルミニウムおよびその合金を、適当な電解浴中でアノード的に処理すると、表面には酸化皮膜が生成し、その中には電解条件特有の微細孔が発達する。そして、この微細孔中にニッケル、コバルト、Co-Ni合金などを電解析出すると、これらの皮膜は磁性薄膜として独特な性質を示した^{1)~4)}。

本研究は硫酸皮膜の微細孔に鉄、コバルトおよびニッケルの強磁性体金属ならびに Co-Ni, Fe-Ni および Fe-Co の 2 成分系の合金を電解析出して磁性皮膜を作成し、磁気的性質を調査した後、磁気記録密度を電磁変換周波数特性を測定することによつて調査したものである。この結果、高密度の磁気記録が可能であることが判明した。

近年、磁性薄膜はレコーディング、メモリーなどの磁気デバイスに、その需要は増大しつつあり、それにつれて性能の向上も要求されている。実用の初期の段階では、粒状の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ が用いられたが、その後、針状に変わり、さらに、コバルト含有の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{CrO}_2$ に移行しつつある。これに加えて、合金粉末の利用も実験的に試みられ、また、電解、化学、真空などの方法で析出した磁性薄膜の性能も、著しく進歩を遂げている。

さて、磁性薄膜の周波数特性は回転磁気ディスクと浮上磁気ヘッドとの間に、種々な周波数のパルスを書き込んだ後、読み出される再生電圧とパルス幅によつて測定

される。ここに、パルス幅は信号の距離的単位となる磁化反転幅であつて、十分に S/N 比の大きな再生電圧において、これを小にすると記録密度は上昇する。

Bonyhard et al.⁵⁾ は、磁性薄膜の厚さを t とすると、磁化反転幅のは保磁力 H_c と、残留磁束密度 Br との間に

$$a = Br \cdot t / 2\pi \cdot H_c$$

の関係のあることを見出し、また、Talke et al.⁶⁾ は、磁気ヘッドのギャップ幅 g 、浮上量 δ および t を小さくすることにより、パルス幅の減少することを説明した。たとえば、 Br を 10K Gauss, H_c を 1K Oe, t を 0.1 μm とすると、磁化反転幅は 1.5 μm になるが、 g および δ を 0.5 μm に調整すると、記録密度は約 25K BPI に達することが認められる。

一方、Mallinson⁷⁾ は、情報理論から算定すると、磁気記録密度は 10K~30K BPI になることを調査し、近角⁸⁾ は、磁気ドメインの反転時間の究極的な最小理論値は 5.7×10^{-12} sec であり、これを周速 40 m/sec で回転した場合、100M~40 M BPI になると計算した。しかし、現在、磁性薄膜は化学めつきなどで作成されており、 H_c は約 500 Oe, t は約 0.5 μm の特性を有するので、実用的な磁気ヘッドで測定すると、現実的な記録密度は 5K~10K BPI に留まっていることが理解される。

磁性薄膜の磁気的性質についていえば、Dudson⁹⁾ は、コバルト薄膜と $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 粒子を比較して、高保磁力を有するコバルトは約 3 倍の記録密度を示すことを指摘した。また、Luborsky¹⁰⁾ は、コバルトおよび鉄の微粒子は

* パイロット万年筆株式会社 (平塚市)。The Pilot Pen Co. Ltd. (Hirataka)

約100～200Åの直径において、約 1K Oe の保磁力に達することを観察し、高密度記録の可能性を説明した。

このように高密度磁気記録を得るための磁性薄膜としては、高保磁力を有し、微細な粒子あるいは薄い膜厚を必要とすることが判明する。そして、硫酸電解浴におけるアノード皮膜の微細孔の直径は約100Åを呈し、かつ、薄膜に加工することもできるので、この微細孔中に強磁性金属あるいは合金を電解析出すると、優れた磁性薄膜としての特性を示すことが推定される。

2. 磁性皮膜の作成法および測定法

本研究の実験は大別して、磁性皮膜の作成と、その性質の測定になる。具体的には次の順序である。

- (1) 硫酸皮膜の作成
- (2) 鉄、コバルト、ニッケルおよびその2成分合金の電解析出
- (3) 析出物の組成および結晶構造の測定
- (4) 磁気ヒステリシスループの測定
- (5) 磁性皮膜表面の研磨
- (6) 研磨面の表面あらさおよびかたさの測定
- (7) 電磁変換周波数特性の測定

2.1 磁性皮膜の作成

アルミニウム試料は純度99.99%、 $\frac{1}{2}$ H材とし、磁気ヒステリシスループの測定には500×100×0.5mmの大きさの圧延材をミル仕上げのまま使用した。次に、周波数特性の測定には150φ×5mmのディスク材を、あらかじめ約200℃、8時間熱処理して内部歪を除去し、さらに、ダイヤモンドバイトによつて超研削し、平滑面を作成した。また、実用的立場から同じ大きさの他のアルミニウム材料、99.85%、2S、43S、52S、56S、61Sおよび75Sを使用して比較検討した。

アノード皮膜は硫酸電解浴において、いわゆる標準的電解条件によつて作成した。また、皮膜の厚さは約10μmになるように調整した。

電解析出浴は、それぞれの金属硫酸塩にほう酸を添加し、さらに、経験的な立場から電解均一性に効果の認められるグリセリンを混合して基本浴とした。電解浴のpHは5に調整したが、鉄塩を含有する場合には4に保持して、沈殿の発生を防止した。2成分混合電解浴の場合には、両者の比率を、ほぼ、20%の間隔で変化させるように配合した。

これらの表面処理の条件はTable 1に示した。ただし、2成分電解析出浴は代表的な組成のみとした。

2.2 電解析出物の定量、結晶構造の測定および磁気ヒステリシスループの測定

アノード皮膜の微細孔の析出物は原子吸光法によつて定量し、析出物の結晶構造は粉末X線回折法で測定し

Table 1 Bath compositions.

Procedures	Remarks
Degreasing	5%NaOH, 60°C, 1 min.
Desmut	5%NH ₄ O ₃ , 20°C, 1 min.
Anodizing	15%H ₂ SO ₄ , 0.1%Al, 1.5A/dm ² , 20°C, 20 min.
Electro deposition	15 V (a.c. 50 Hz), 30°C. Bath compositions are indicated as follows.*
Sealing	1%Ni(CH ₃ COO) ₂ ·4H ₂ O, 90°C, 20 min.

*Component (g/l)	Fe	Co	Ni	Fe-Co	Fe-Ni	Co-Ni
FeSO ₄ ·7H ₂ O	50			30	25	
CoSO ₄ ·7H ₂ O		50		20		20
NiSO ₄ ·7H ₂ O			50		250	80
H ₃ BO ₃	25	25	25	25	25	25
HOCH ₂ CH(OH)CH ₂ OH	20	20	20	20	20	20
pH	4	5	5	4	4	5

た。いずれも皮膜から化学的に分離抽出した試料について試験した。

一方、板材の磁性皮膜は6mmφの円板に打抜き、石英製支持棒に固定し、試料振動型磁力計にて最大10KOeの磁場をかけて、ヒステリシスループをX-Yレコーダーで記録した。

これらの測定法の詳細は前報¹⁾に記載したので省略する。

2.3 磁性皮膜面の研磨、あらさおよびかたさの測定

アルミニウムディスクは磁性皮膜処理後、ポリッシングマシン（丸本工業、7941-338型）にてラッピング仕上げを施した。この方法はポリエステル製琢磨布上にディスクを置き、約50g/cm²の荷重で、約100rpmの速度にて、アルミナの研磨剤を用いて研磨するものである。

研磨後は溶剤などで脱脂し、清浄にした後、触針式表面粗度計（Rank Precision Ind., Talysurf-10型）を用いて表面あらさを測定した。

磁性皮膜の表面を研磨することによつて、皮膜の厚さは薄くなっていくが、皮膜の断面のかたさを微小硬度計（Reichert, M_B-F型）にて測定した。

2.4 電磁変換周波数特性の測定

表面の平滑化研磨を行なった磁性皮膜の周波数特性を測定した。

まず、高速回転（3,600rpm）するスピンドルにディスクを固定し、磁気ヘッドを中心より50～70mmの位置に表面より約0.3μm浮上させた。磁気ヘッドはヘッド幅530μm、ギャップ長1.0～1.5μmのリング型フェライ

トコアー (Ni-Zn 合金) にコイルを16回巻いたものである。

次いで、NRZ“1”のパルスで 0~5M Hz にわたり、パルスジェネレーターを用いて、磁気ディスク上に書き込み、同じ磁気ヘッドを使用して誘起する出力電圧を読み取った。

測定の順序は次のとおりである。

- (1) 約0.2および 5M Hzにおける出力波形をオシログラフ上に観察した。
- (2) 周波数を 2M Hz に固定し、書き込み電流と読み出し電圧との関係を調査し、最高の電圧の得られる電流値を求めた。
- (3) この電流値にて、0~5M Hz にわたるパルスを書き込み、再生出力電圧を求め、周波数特性を測定して比較した。
- (4) 周波数特性曲線を標準化した後、出力が $\frac{1}{2}$ になる周波数を求め、磁気記録密度を算出した。

3. 析出層の組成と磁気的性質

3.1 金属単体の場合

鉄、コバルトおよびニッケル硫酸塩電解浴からの析出物は、それぞれ、bcc, hcp および fcc の微細金属結晶で構成されているのが認められた。X線回折によるスペーシングの測定結果を ASTM のカードと比較して **Table 2** に示した。

これらの磁性皮膜の磁気ヒステリシスループを市販磁気テープと比較すると **Fig. 1 (a), (b), (c), および (d)** のように記録された。

磁気テープの保磁力は約 350 Oe に留まり、水平方向の異方性は強いが、磁性皮膜の場合には、いずれも高い保磁力、たとえば、鉄の析出物では約 2.3K Oe にも達し、かつ、垂直方向の異方性の優れていることが観察された。

硫酸磁性皮膜の保磁力の高い原因は、Luborskyの指摘したように、析出金属の粒子がひじょうに小さく、かつ、細長い形状を呈することに起因するものと思われる。また、垂直磁気異方性は析出金属結晶の配向性に依存するもので、結晶磁気異方性とも考えられるものである。

3.2 2成分合金の場合

2成分からなる合金、Co-Ni, Fe-Ni および Fe-Co 合金を析出した場合、電解浴中と析出層中の成分の組成の変化を測定した。前者においては鉄の析出がニッケルに優先するが、後者では鉄とコバルトはほとんど同じ割合で析出した。既に測定された Co-Ni 系においてはコバルトの析出が支配的であつたが、これらは交換電流密度の大きさに依存するものと推定される。

Table 2 Lattice constants of Fe, Co and Ni.

(a) α -Fe: b.c.c. $a = 2.8664 \text{ \AA}$

Observed distance			ASTM Card Index 6-096		
Int.	d(Å)	hkl	d(Å)	I ₁	hkl
Medium	2.03	110	2.0268	100	110
Weak	1.43	200	1.4332	20	200
			1.1702	30	211

(b) α -Co: h.c.p. $a = 2.507 \text{ \AA}$, $c = 4.070 \text{ \AA}$

Observed distance			ASTM Card Index 5-0727		
Int.	d(Å)	hkl	d(Å)	I ₁	hkl
Strong	2.17	100	2.165	20	100
Weak	2.0	002	2.023	60	002
Medium	1.91	101	1.910	100	101

(c) Ni: f.c.c. $a = 3.517 \text{ \AA}$

Observed distance			ASTM Card Index 4-0850		
Int.	d(Å)	hkl	d(Å)	I ₁	hkl
Strong	2.04	111	2.03	100	111
Medium	1.78	200	1.76	42	200
Weak	1.27	220	1.25	21	220

2成分系合金の析出構造は Co-Ni 系で固溶体を形成することを見出したが、Fe-Ni 系でも同じ傾向が見出された。

すなわち、ニッケル fcc の格子定数は鉄の含量の増加によつて急激に増大するが、約80%にて bcc 構造に転移することが認められた。そして、この変化は冶金法による合金の格子定数の値とほとんど一致することが見出される。同様に、Fe-Co 系においても合金を生成するものと推定することができる。

Fe-Ni および Fe-Co 合金の全率に亘る析出磁性皮膜の保磁力は、それぞれ、**Fig. 2** および **Fig. 3** のように測定された。Fe-Ni 系では垂直方向の保磁力はニッケルの約 700 Oe から鉄の約 2.3K Oe にわたつて一様に増加した。しかし Fe-Co 系では鉄含量が約40%において、3.2 KOe という最大値に達した。

Fe-Ni (Fe 20%), Fe-Co (Fe 40%) および Co-Ni (Co 50%) 合金におけるヒステリシスループを、それぞれ、**Fig. 4 (a), (b), および (c)** に示した。鉄およびニッケル含量の多い合金の角型比は良好な値を示したが、コバルトを含む場合には減少することが観察された。これは、それぞれの金属の主要軸の磁化率の中、コバルトの [100] 軸が磁化困難軸に相当し、これが配向性の強い析出金属結晶の中にもじやつかん含まれてくることに原因があると推定される。

Fig. 1 M-H hysteresis curves of anodic oxide films with ferro-magnetic metals

Fig. 2 Coercive forces of anodic oxide films with Fe-Ni.

3.4 保磁力の範囲と残留磁化の大きさ

硫酸電解浴におけるアノード皮膜に、強磁性体金属および2成分合金を析出した磁性皮膜の保磁力の範囲はTable 3のとおりである。なお、微細孔の直径の小さな硫酸皮膜に対して、直径の大きい(約300 Å)りん酸皮膜の性質も比較のため記載した。

一般に、低保磁力の磁性皮膜を得るにはりん酸皮膜にニッケルを析出し、高保磁力では硫酸皮膜に鉄を電解析出するのが良いと理解できる。しかし、皮膜の機械的性

Fig. 3 Coercive forces of anodic oxide films with Fe-Co.

質によつて、実用性が異なつてくるので一考を要する。

また、硫酸とりん酸の混合型電解浴によるアノード皮膜の保磁力は混合割合に比例して一様に変化することが見出された。

種々なアルミニウム材料に硫酸皮膜を施し、コバルトを析出した場合、残留磁化の大きさを比較するとFig. 5のごとく測定された。アルミニウムの純度が低下すると、著しく残留磁化の大きさは減少することが判明した。しかし、純度99.5%以上の材料では磁性皮膜として充分使

Fig. 4 M-H hysteresis curves of anodic oxide films with ferro-magnetic alloys.

用に堪えることが認められる。残留磁化の大きさは析出金属量に比例するから、アルミニウムの純度によって微細孔の有孔率は大きく変化し、この微細孔を充填する析出金属量に影響するものと認められる。

4. 磁気記録密度の測定

4.1 磁性皮膜面のあらさとかたさ

磁性皮膜処理前後の表面あらさをFig. 6 (a)および(b)に、また、皮膜断面の押し込みかたさの測定の結果をFig. 7に示した。

表面あらさは研磨の結果、最終的には $0.02\mu\text{m}$ に達した。この値は極めて良好な値と認めることができる。通

常のめつきディスクの表面は $0.05\sim 0.1\mu\text{m}$ に研磨されているが、これに対し約2倍以上も向上している。このように優れた平滑面の得られるのはアノード皮膜がセラミック質を有して硬いためと推定される。

皮膜断面のかたさの測定では、圧痕子の径は約 $3\mu\text{m}$ になるので、表面層およびバリアー層境界近くにおいては正確な測定はできなかった。それでも、アルミニウム素地より約 $2\mu\text{m}$ 離れた部分で約500 Hvにも達することが認められた。この事実は表面層を研磨して薄い磁性皮膜を得る場合、皮膜のかたさが大になり、磁気ヘッドによる表面の損傷を防ぐことに良い効果があると考えられる。

4.2 周波数特性

磁性皮膜の磁気的特性の測定の結果から、試料として、ニッケル、Co-Ni (Co 50%) および Fe-Ni (Fe 40%) 合金を析出した皮膜を採用した。

まず、 $0.2\sim 0.3\text{M Hz}$ における出力波形を観察し、次

Fig. 5 Comparison of residual magnetic strengths.

Table 3 Coercivities of magnetic films.

Anodic oxidation	Electro-deposition	Coercivity
Sulfuric acid	Co	—
Sulfuric acid	Ni	—
Sulfuric acid	Fe	—
Sulfuric acid	Co-Ni	—
Sulfuric acid	Fe-Ni	—
Sulfuric acid	Co-Fe	—
Phosphoric acid	Co	—
Phosphoric acid	Ni	—
Sulfuric acid + Phosphoric acid	Co	—
Sulfuric acid + Phosphoric acid	Ni	—

Coercive force (kOe)

(a) Aluminum substrate

↑ 1 Div.: 0.1 μm
 ← 1 Div.: 0.5 mm

(b) Oxide film

↑ 1 Div.: 0.1 μm
 ← 1 Div.: 0.5 mm

Fig. 6 Mechanically finished surface roughness. **Fig. 7** Hardness of oxide films on cross section.

いで、5 MHz に上昇し、波形を比較した。その結果を **Fig. 8 (a), (b) および (c)** に示した。

低い周波数の場合には水平方向の磁気異方性の Co-Ni 合金の波形を示したが、垂直磁気異方性のニッケルおよび Fe-Ni 合金は (a) の波形を示したが、垂直磁気異方性のニッケルおよび Fe-Ni 合金 (b) はの波形を呈した。しかし、これらの波型は周波数が高くなるにつれて徐々に変化し、5 MHz に至つて、典型的なサインカーブ (c) の波形が観察された。一般的にはデジタルな信号を得るにはリップルの少ない波形を利用するのが望ましいと考えられる。

磁気ヘッドにおける書き込み電流を変化すると、同じヘッドによる読み出し電圧は大きく変動した。2 MHz における両者の関係は **Fig. 9** のごとく測定された。Co-Ni 合金の場合には比較的高い出力電圧 (3.7 V) を得たが、ニッケルおよび Fe-Ni 合金において低い電圧 (1.5 ~

2.2 V) に留まった。これはリング型磁気ヘッドが、水平方向に発達した磁気フラックスを、より効率良く電磁変換することに起因すると推定される。

最も高い出力電圧の得られる書き込み電流を使用し、0 ~ 5 MHz に亘るパルスを書き込み、得られた出力電圧

(a) Co-Ni Frequency: 0.2 MHz

(b) Fe-Ni Frequency: 0.3 MHz

(c) Co-Ni, Fe-Ni Frequency: 5.0 MHz

Fig. 8 Wave forms of read-back pulse. **Fig. 9** Writing currents vs. reading voltages.

を記録した。

この結果, Co-Ni (Co 50%) 合金の皮膜において, 膜厚が約15, 5および1 μm における電圧は Fig. 10 のように変化した。皮膜の厚さの薄いものが高い周波数において良好な性質を示した。次いで, 膜厚を約3 μm に一定した磁性皮膜, ニッケル, Co-Ni および Fe-Ni 合金の皮膜を比較すると Fig. 11 の結果が得られた。この場合には出力電圧を標準化して示しているが, 垂直磁気異方性を有する皮膜が, 高い周波数の領域で大きな出力を発生している。

このような周波数特性から, 再生電圧の $\frac{1}{2}$ に低下するところの周波数と, ディスクの回転数から磁気記録密度を計算すると Table 4 のように示される。すなわち, Co-Ni (Co 50%) 合金では 5.4K BPI の密度に留まったが, それでも, 現在実用中のディスクと, ほぼ, 同等の値を示した。そして, ニッケルでは 12K BPI, Fe-Ni (Ni 20%) 合金では 14K BPI に上昇し, 優れた性能を示した。磁性皮膜の厚さが薄いと, さらに, 良好な高密度記録が可能になると期待できる。

5. 磁性皮膜の特徴

5.1 磁気異方性について

磁性体内の自発磁化が結晶学的な方向によつて内部エネルギーを変化することは磁気異方性としてよく知られている。そして, 異方性エネルギー E_a の最小の方向が磁化容易軸となる。

hcp 構造のコバルトは一軸異方性を示しスピン軸のなす角度を θ とすると,

$$E_a = K_0 + K_1 \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta + \dots$$

となる。ここに K は磁気異方係数を表わす。そして, E_{00-1} において $E_a = K_a$ となり最小値をとり, $[00-1]$ は磁化容易軸となる。

立方晶系では内部磁化の方向余弦を α_1 , α_2 および α_3 とすると,

$$E_a = K_0 + K_1(\alpha_1^2\alpha_2^2 + \alpha_2^2\alpha_3^2 + \alpha_3^2\alpha_1^2) + K_2\alpha_1^2\alpha_2^2\alpha_3^2 + \dots$$

で示される。そして, 主要軸については,

$$E_{100} = K_0$$

$$E_{110} = K_0 + 1/4 K_1$$

$$E_{111} = K_0 + 1/3 K_1 + 1/27 K_2$$

と計算される¹¹⁾また, それぞれの単結晶における磁化曲線の積分値から, 鉄では $5 \times 10^4 \text{ erg/cm}^3$, ニッケルでは $-9 \times 10^4 \text{ erg/cm}^3$ と求められた¹²⁾。すなわち, 鉄では, $K_1 > 0$ であることから E_{100} が, また, ニッケルでは $K_1 < 0$ で E_{111} が最小値となり磁化容易軸となる。

一方, 金属の電解析出において, 結晶容易軸は鉄, コバルトおよびニッケルにおいて, それぞれ $[100]$, $[001]$

Fig. 10 Frequency responses of anodic oxide films with Co-Ni.

Fig. 11 Frequency responses of anodic oxide films with Fe-Ni, Ni and Co-Ni.

Table 4 Recording densities of magnetic films.

Magnetic films	Ni	Co-Ni	Fe-Ni
Hc (=)		700	
Br (=)		750	
Rs (=)		0.7	
Hc ($\perp$)	600	600	1050
Br ($\perp$)	450	350	350
Rs ($\perp$)	1.0	0.3	1.0
t (μm)	3	3	3
Iw (mA)	55	100	100
Ep-p (mV)	1.5	3.7	2.2
BPI	12200	5400	13800

および $[111]$ と報告されており磁化容易軸と一致する。また, 基本的な電解浴からの金属の析出状態は, ほぼ, 柱状構造を呈するが, Co-Ni (Co 50%) 合金では層状構造を示すので, 磁化容易軸は素地の表面に対して, 前者では法線方向に, 後者では水平方向をとることが理解される。

このような現象はアノード皮膜の微細孔への析出にも適用されるので, 析出結晶の配向性が磁性皮膜の磁気異

方向性を左右するものと推定される。

5.2 高保磁力について

一般に、微粒子の多磁区構造において、磁化は磁壁移動によって変化するが、単磁区構造では磁化の変動は主として、スピンの回転によって起きる。そして、異方性エネルギーに抗しての回転磁化を行なう場合には、保磁力は大きな値をとることが指摘されている。

今、微細粒子が細長い針状であり、磁場の長軸の方向に働くものとする。長軸および短軸の反磁場係数を M および N とし、飽和磁化の大きさを I_s 、磁化の方向と長軸のなす角を θ とすると、反磁場エネルギー E_a は

$$E_a = 1/2 (M \cos^2 \theta - N \sin^2 \theta) I_s^2$$

また、磁場によるポテンシャルエネルギー E_h は

$$E_h = H I_s \cos \theta$$

で示される。そして、全エネルギー E を極小にする条件は

$$\frac{dE}{d\theta} = \frac{d}{d\theta} (E_a + E_h) = 0$$

であるから、その解は、

$$-I_s^2 (N - M) \sin \theta \cdot \cos \theta - H I_s \sin \theta = 0$$

この式で、 $\theta = 0$, $N = 2\pi$, $M = 0$, I_s の実測値を求め分散度を考慮すると、鉄、コバルトおよびニッケルの場合は、それぞれ、約 5.8K, 1.8K および 0.4KOe と計算される¹³⁾。

この値は磁性皮膜の保磁力と比較すると、ほぼ、近似することが認められる。磁性皮膜の高保磁力の原因は、微細孔中の析出金属が、ひじょうに細長い形状を示すことにあって考えてよからう。

5.3 高密度記録について

高密度磁気記録において、記録された弧立出力電圧と広帯域より引き出されるノイズ電圧の比、すなわち、S/N は大きな値をとることが望ましい。このノイズの発生は金属薄膜の場合には磁壁移動のため、また、微粒子の場合には分散の悪さによるものと説明されている。

これに対して、磁性皮膜中の金属微粒子は、それぞれ分離独立しているので、ノイズの発生は極めて少ないことが期待される。ノイズレベルが低いと、信号電圧はより低い値でも明瞭に取り出すことができるので、それだけ記録密度は上昇することになる。

また、Fe-Ni 合金の場合には 14K BPI という値が実測されたが、磁気ヘッドの浮上安定性などの技術的課題が解決されるならば、さらに良好な記録密度が導き出されるものと推定される¹⁴⁾。

5.4 磁性皮膜の性質について

アノード磁性皮膜の性質は、次のように集約されると思われる。

(1) 保磁力は一般に高く、かつ、広範囲 (約 0.6~3K

Oe) にわたっている。

(2) 残留磁束密度は比較的低いが、微細孔の底部では磁性金属が密に充填するので、1~2K Gauss にも達した。

(3) 磁気異方性はほとんど垂直方向をとった。しかし、水平方向 (Co-Ni 50% 合金) も可能であった。

(4) 磁気記録密度は垂直磁気異方性のものが優れており、約 14K BPI に達した。

アノード皮膜は化学的に安定であり、機械的にも良好な性質を示す。また、アルミニウムは圧延、押し出しなどの加工が容易であることから、磁性皮膜は広い範囲の応用が可能と考えられる。

アノード皮膜は本来無色透明である。この中に磁性金属がコロイド状に分散している。このため、磁気光学的な情報検出法、たとえば、Kerr および Faraday 効果を期待することもできる。

6. 謝 辞

この研究を完遂するに際し、種々な試料作成と磁気測定に御尽力を頂いたパイロット万年筆^株、池田保男および笠原貴志男氏に御礼を申し上げる。また、電磁変換周波数特性の測定に御協力を頂いた日本電信電話公社、武蔵野通信研究所、安田享祐および佐藤勇武氏に深甚な謝意を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 川合：軽金属, **23** (1973), 143, 151.
- 2) 川合, 石黒, 上田：軽金属, **25** (1975), 159.
- 3) S. Kawai & R. Ueda: J. Electrochemical Soc., **122** (1975), 32.
- 4) S. Kawai: J. Electrochemical Soc., **122** (1975), 1028.
- 5) P. I. Bonyhard, A. V. Davis & B. K. Middleton: IEEE, Trans. Magn., MAG-2, p 1, March, (1966).
- 6) F. E. Talke & R. C. Tseng: IEEE, Trans. Magn., MAG-9, p 133, June, (1973).
- 7) J. C. Mallinson: IEEE, Trans. Magn., MAG-10, p 368, June, (1974).
- 8) 近角：“強磁性体の物理”, p. 246, 裳華房, (1965).
- 9) M. F. Dudson: Radio & Elec. Eng., **38**, p 225, Oct., (1969).
- 10) F. E. Luborsky: J. Appl. Physics, **32**, Suppl., 171.
- 11) 近角：“磁気”, p. 320, 共立出版, (1968).
- 12) A. E. Berkowitz & E. Kneller: "Magnetism & Metallurgy" Vol. 1, p 66, Academic Press, N.Y., (1969).
- 13) 有山：“物質の磁性”, p. 312, 共立出版, (1960).
- 14) 川合, 石黒：信学技報, MR 76—25~27, (1976).