

電気めっき法による高飽和磁束密度ソフト材料の開発と MR ヘッドコアへの応用

Development of Soft Magnetic Materials with High B_s by the Electroplating Method, and Their Application to an MR Write Core Head

逢坂哲彌・高井まどか・大橋啓之* 早稲田大学理工学部応用化学科・*茨城日本電気(株)

T. Osaka, M. Takai, and K. Ohashi*, Waseda University, *NEC Ibaraki Ltd.

Magnetic recording densities are increasing rapidly as a result of the development of new media, heads, and related technologies, and have now reached 3 to 4 Gb/in². New materials for MR write head cores instead of plated 82-permalloy, are strongly needed in order to realize higher densities, as well as GMR sensor materials. In this review, we present and review CoNiFe materials that we developed by means of an electroplating method. This ternary alloy was firstly developed in the 1950s, but we recently newly-developed it as a soft material with high B_s (saturation magnetic flux density). One of the optimum points Co₆₅Ni₁₂Fe₂₃ (at%) with $B_s=2.1$ T, $\lambda_s=2 \times 10^{-6}$, and $H_c=1.7$ Oe. This material shows the thermal stability up to 270°C and almost the same corrosion resistance as the plated 82-permalloy. The results of using the material for commercial production of developed MR head are briefly reviewed. In addition, soft magnetic materials with high ρ (resistivity), by an electroplating method, are also reported.

Key words: MR head, high B_s , CoNiFe, write head core, soft magnetic material

1. はじめに

磁気記録の高密度化が進んでいる現在、記録ビットは非常に細くなり、そのビットを書き込むための書き込み用ヘッドにはさらに強い磁界を発生させるためにより大きな飽和磁束密度 (B_s) をもつコア材料が必要になっている。また、ビット密度が高くなると、ディスクの回転速度を下げ、性能を低下させでもない限り、より高周波数で書き込むことが可能なヘッドが必要になる。

高周波での書き込みを妨げる要因である渦電流を低減させるにはヘッドコアに比抵抗 (ρ) の高い材料を用いることが有効である。したがって、究極的なヘッドコア材料には、 B_s が高くかつ ρ も高い材料が望ましいが、両者を同時に満たす軟磁性材料を開発することはなかなか容易ではない。

そこで、手はじめに高 ρ あるいは高 B_s どちらかに絞って材料開発を考えた。田川らのシミュレーション結果¹⁾によれば、コアの膜厚を一定に保った場合、高周波特

性を伸ばすのに最も効果的なのは ρ を高くすることである。しかし、透磁率の高周波での低下が渦電流により生じている金属磁性薄膜の場合には、膜厚を薄くすれば透磁率の周波数特性は膜厚の二乗に反比例して伸びる。高 B_s 材料の導入はヘッド磁界を下げずにコアを薄膜化することが可能である。また、薄い絶縁層を間に入れた積層コアにすれば、渦電流は他の損失と同等以下に減らすことができる。したがって、我々は、まず高 B_s 化に注目したソフト材料開発に着手した。

まず種々の材料を考えた場合、1.9 T 以上の B_s の値を幅広い組成範囲で有するコバルト・ニッケル・鉄の三元系合金を考えることが最も重要であろうという結論に達した。コバルト・ニッケル・鉄三元系の研究は、溶融合金系については1950年代初めにBozorthによって保磁力 (H_c)、飽和磁束密度 (B_s) の磁気特性に関する研究がまとめられ、その内容は一般に広く認められるところとなっている²⁾。また、1930年代には、蒸着膜に関するCoNiFe三元系の磁歪に関する研究も行われている³⁾。さらに近年、宮崎らによりスパッタ法や急冷法によってもこの材料の研究が行われ、新たな飽和磁歪 $\lambda_s=0$ のラインが見いだされている⁴⁾。

めっき法によるこの材料の磁気特性に関する成果は、すでにワイヤーメモリー時代に広く研究され、コバルトニッケル鉄めっきとして一部実用化されたこともあった。近年、高 B_s 膜を探索するという目的で、コバルト、鉄の含有量が多い領域の磁気特性に関する研究が行われるようになったが、十分な三元図が完成しているわけではない^{5)~7)}。

めっき法は古代飛鳥時代から装飾用の技術として古くからの先駆的技術として用いられていた。近年、工業的には、回路基板用配線や、薄膜抵抗体形成法として発展しており、磁性膜としては、1960年代には電析パーマロイ (Ni₈₀Fe₂₀) 膜が、ワイヤーメモリー材料として工業的に広く用いられている⁸⁾。さらに1979年には、電析パーマロイ膜が、IBMにより薄膜ヘッドコア材料に利用され、また1994年から実用化しているマージ型MRヘッドの書き込み用ヘッドコアにもひき続き使われている。このように

めっき法は、近年の工業化レベルで必須技術として活躍しており、エレクトロニクスデバイス産業分野で広く応用されている技術となっている⁹⁾。

2. めっき法の特徴

めっき技術は前述したようにその起こりはたいへん古く、さらに最近では各種デバイスの成膜法の一つとして広く用いられている。めっき法は、大別して電気めっき法と無電解めっき法に分類され、導体部分への回路形成が主な電気めっき法に対して、無電解めっき法は主に不導体部分への回路形成法として確立している。電気めっき法では、めっき浴中の成分として、析出させる金属イオンの他にイオンの輸送を助ける塩、界面の pH 変動を抑制する pH 緩衝剤、さらに膜の光沢性や応力の緩和を目的としたいくつかの添加剤が利用されている^{10), 11)}。電気めっき法における添加剤の役割はたいへん重要で、凹凸のある基板面へ平滑かつ光沢性の良いめっき膜を得るためには欠かせない成分である。それらの吸着作用により結晶粒子サイズを変化させることが可能なため、平面性が良好なめっき膜を形成させることができる。

また、電気めっき法は、極めて高純度な材料をつくる方法としても利用されている。例えば、硫酸銅溶液から高純度の銅の精錬はよく知られているが、4 から 5 ナインの高純度鉄電析などは高純度金属精製法の最も特徴的なもので¹²⁾、真空成膜法のように徹底した不純物管理を行わなくても高純度材料が得られるという特徴がある。これは電極での金属析出電位が熱力学的な電位に相当するため、いくつかの不純物が含まれていても目的の金属のみが高純度で得られるという原理を利用しているためである。最近では 5×10^{-8} Pa の超高真空成膜に相当する Co および Fe の単原子層析出がめっき法で可能となることが認められるようになってきている¹³⁾。

さて、このめっき法であるが、通常は常温、あるいは少なくとも水を使う場合には 100°C 以下の温度で析出させるために、非平衡状態の薄膜が作製可能となる。例えば、ニッケルとリンの合金でアモルファス材料ができるという例がその代表的な場合である。急冷法によるアモルファス材料の発見よりも、電析法によるアモルファス材料の発見の方が古いのは、手軽に非平衡合金析出が可能のためである。

3. コバルト・鉄・ニッケル 3 元系合金の開発

このめっきを最初に検討したのは、1995 年、ちょうど当時修士課程大学院生であった中村明義君が担当した。まず、三元系で自由に各元素組成比を変え、全体の特徴をすばやく測定、確定させるために、二つの方法を検討した。一つは、工業的なパーマロイ膜作製法であるパドル装置で行うめっき法を、より単純な回転ディスク電極 (RDE) を

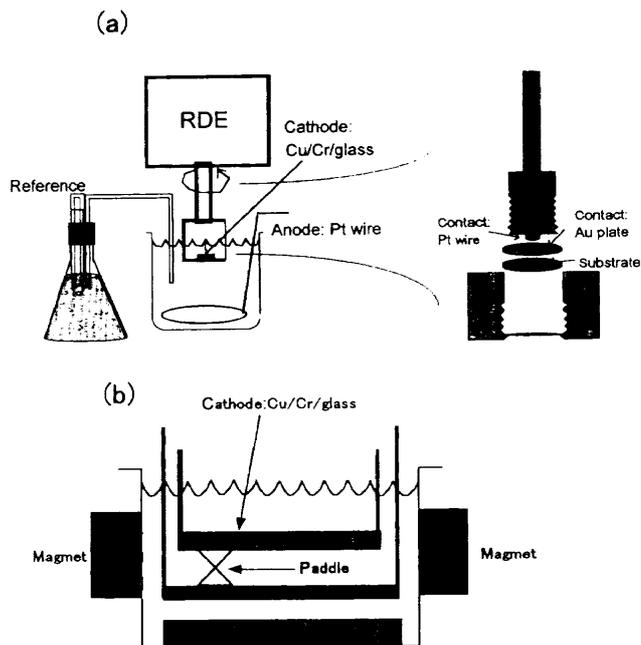


Fig. 1 Schematic drawing of a rotating disk electrode (RDE) (a) and paddle cell (b).

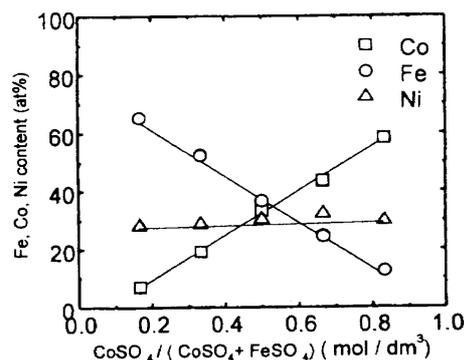


Fig. 2(a) Dependence of the film composition on the $(\text{CoSO}_4 + \text{FeSO}_4)$ concentration ($\text{NiSO}_4 = 0.2 \text{ mol/dm}^3$) for $1.5\text{-}\mu\text{m}$ -thick CoNiFe films.

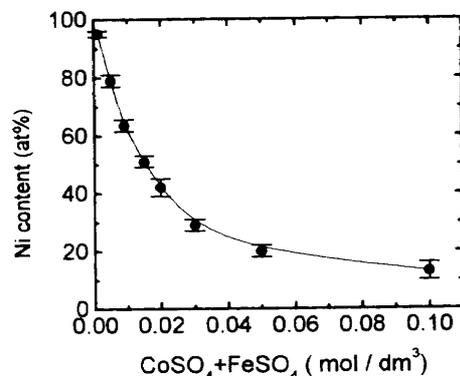


Fig. 2(b) Dependence of the Ni composition on the $(\text{CoSO}_4 + \text{FeSO}_4)$ concentration ($\text{NiSO}_4 = 0.2 \text{ mol/dm}^3$) for $1.5\text{-}\mu\text{m}$ -thick CoNiFe films.

用いて行うという方法を考えている。これは、組成均一な膜を作製することを目的に電解液をかくはんするパドル装

Table 1 Basic bath composition and operating conditions for using saccharin as additive

Chemicals	Concentration (mol/dm ³)
CoSO ₄ · 7H ₂ O	0.03-0.0875
NiSO ₄ · 6H ₂ O	0.2
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.005-0.045
H ₃ BO ₃	0.4
NH ₄ Cl	0.28
Saccharine Na	2 g/dm ³
Bath pH	2.8
Bath temperature	Room temperature
Counter electrode	Pt wire
Current density	20 mA/cm ²

置の煩雑さを避け、同様な目的でかつ簡単に研究室レベルで行える方法である。しかし、一般的なRDE装置は電解液のイオン移動や電気化学反応機構の研究を行う目的に利用する装置であり、電極材料（多くは白金やカーボン）がテフロン材の中に埋め込まれている。そこで、我々はこの一体型のRDEを電極基板のみが取り外せ、磁気特性や組成などの物性を測定可能なように設計変更した。もう一つの検討項目は、電流密度にあまり依存しないで膜組成を変化させることができる条件範囲を見つける方法である。これは、電流密度に依存しないめっき浴組成とめっき条件の確立で、工業的に微細パターン部分への析出を考慮し、ある程度の高電流密度領域が存在しても均一な組成膜が作製可能なめっき条件を探しだすことを目的とした。ここでFig. 1に開発したRDEセルと一般的に知られているパドルセルの模式図を示す。また、パドルセルめっき法やフレームめっき法についてはすでに解説しているので文献14を参照してほしい。このような手法で検討を行った結果、CoとFeはFig. 2a, NiはFig. 2bで示すように変えることができることを見だし、どのような膜組成のCo-NiFe膜でも作製できることを明らかにした。このときのめっき浴組成と条件をTable 1に示す。このめっき条件で三元合金系を作製した結果、過去の電析膜とほぼ同じ内容が得られるという結論に至った。多くのめっき法を用いて磁性材料を開発している研究者は、ここでどのような方向へ研究を展開するか、悩むところと思われる。我々は、このとき、高 B_s 領域（1.8 T以上）かつ低 λ_s を示す組成領域に着目し（この実験ではFig. 3(a)にみられるように高 B_s 領域では、低 $H_c < 2O_e$ が得られなかった）、低 H_c 化を結晶粒子の微細化で行う手法を考案した。これはめっき法において、結晶粒子の微細化を添加剤を用いて行うことが知られているので、添加剤を検討することで研究を進めた。ここまでの研究では、パーマロイめっきで用いられているサッカリン（Sを含む化合物）を用いていたので、サッカリンよりも、金属表面上に強く吸着して、より多くのSを膜中に含有させる添加剤を系統的に検討することにした。

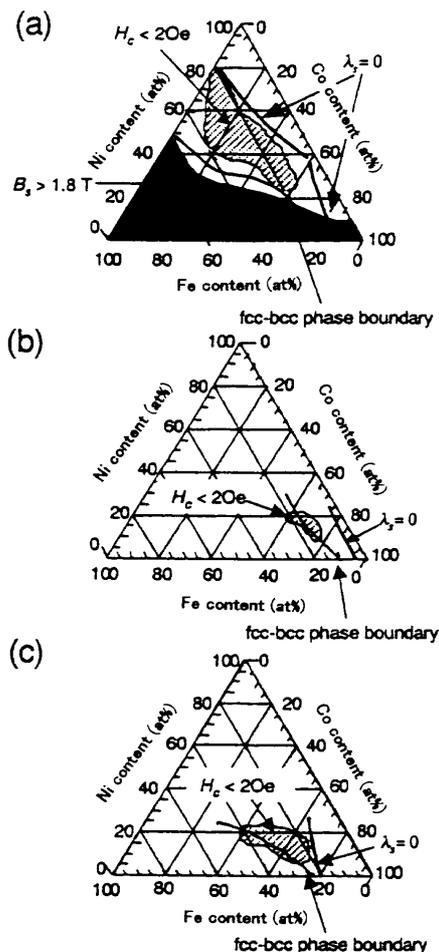


Fig. 3(a) The films were produced by electroplating with saccharin as additive. The low H_c (< 160 A/m) region is located within the $B_s = 1.6$ – 1.7 T region in the fcc single-phase area.

Fig. 3(b) The films were produced by electroplating with thiourea as additive. The low H_c (< 160 A/m) region is located within the $B_s = 1.7$ – 1.8 T region. The fcc-bcc phase boundary is shifted to the right toward the Fe-poor region.

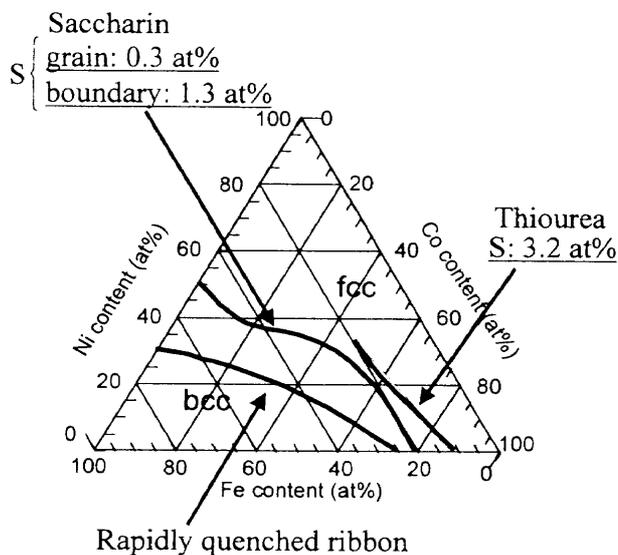
Fig. 3(c) The films were produced by electroplating with no sulfur-containing additive (SCA). The low H_c (< 160 A/m) region is shifted to the high B_s (> 1.8 T) region. The fcc-bcc phase boundary is shifted to the left toward the Fe-rich region.

Fig. 3 Element maps of the magnetic properties and structures of three types of CoNiFe films.

その中でチオ尿素（Sを含む化合物）を添加剤に用いた結果、Fig. 3(b)にみられるように B_s が1.8 T程度で $H_c < 2O_e$ 以下の領域が得られるようになった¹⁶⁾。そこで、添加剤からの膜中へのSの微量混入量を調べるとサッカリンでは0.3 at%，チオ尿素では3.2 at%と膜中のS含有量が添加剤により大きな相違を見せた。また、チオ尿素を用いる浴からの膜はサッカリンを用いて作製した膜と比較して結晶

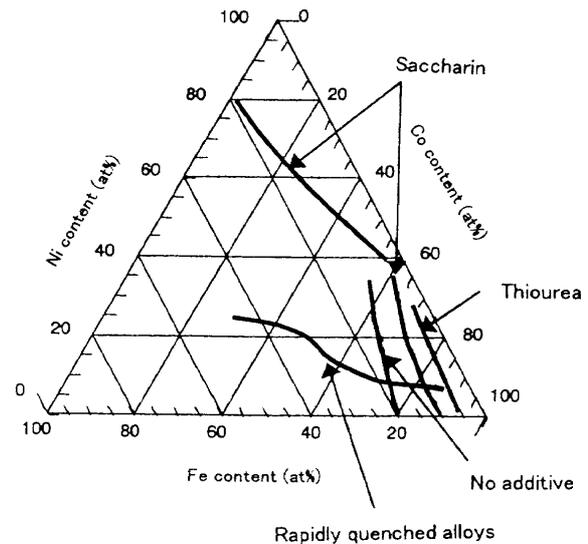
Table 2 Basic bath composition and operating conditions for No-SCA additive

Chemicals	Concentration (mol/dm ³)
CoSO ₄ · 7H ₂ O	0.03-0.0875
NiSO ₄ · 6H ₂ O	0.2
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.005-0.045
H ₃ BO ₃	0.4
NH ₄ Cl	0.28
Na laulyl sulfate	0.01 g/dm ³
Bath pH	2.8
Bath temperature	Room temperature
Counter electrode	Pt wire
Current density	3-20 mA/cm ²

**Fig. 4** Dependence of the fcc-bcc phase boundary on the film composition for electroplated CoNiFe films and quenched CoNiFe ribbon.

粒子が微細化され、低 H_c が得られることが透過電子顕微鏡写真により確認した。

このように、Sの含有量により磁気特性が大きく異なることを見いだしたが、着目してしたゼロ λ_s ラインと fcc-bcc 混相ラインが、Fe 含有量の少ない領域、また Ni が多い領域に移動したことも次の材料設計の指針となった。さらに、各種成膜法で作製した CoNiFe 膜において、 B_s の値と H_c の値に関してはほぼ同様の結果が得られているが、 λ_s と結晶構造の値だけは、1994 年に見いだされた新しいゼロ急冷薄帯などによる膜での λ_s ラインと一致しなかった。急冷薄帯とめっき法やスパッタ法による薄膜形成で磁気特性が異なるのは何が原因であろうか。そこで、我々が添加剤の種類を変化させて得た膜の特性とを見比べた結果、添加剤をなるべく使わないで高純度 CoNiFe をつくろうという発想でこの 3 元系を検討しようという考えに至った。すなわち微量 S 含有量が少ない方が bcc-fcc 混相ラインが高 B_s 側に移動していることに気づいた (Fig. 4)。

**Fig. 5** Dependence of the λ_s zero line on the film composition for electroplated CoNiFe films and quenched CoNiFe.**Table 3** Characteristics of electrodeposited high B_s CoNiFe film

Film composition (at%)	Co ₆₅ Ni ₁₂ Fe ₂₃
H_c (Oe)	1.7
B_s (T)	2.0-2.1
λ_s	$+2 \cdot +7 \times 10^{-6}$
ρ ($\mu\Omega$ cm)	21
μ	600 (1 MHz)
H_k (Oe)	15
Thermal stability	270°C

このような考えに基づいてこの研究を押し進めてくれたのが 1996 年当時修士大学院生の林勝義君である。このときのめっき条件を Table 2 に示す。その結果、予想どおり bcc-bcc 混相ラインが B_s の高い、すなわち B_s が 2.0 T 以上の領域に移動し (Fig. 4)、ゼロ λ_s ラインも Fe 含有量の多い領域に移動した (Fig. 5)。さらに、この相境界領域付近で H_c が 2 Oe 以下の特性が得られた。相境界付近のこの低 H_c が得られた膜は、単相領域の膜と比較して、結晶粒子が微細化されていたことが、低 H_c が得られた原因と考察される。結果的に、相境界領域が高 B_s 領域に存在し、ゼロ λ_s ラインも Fe 含有量の多い領域に移動したため、目的の高 B_s 軟磁性膜がこの領域で見つかったわけである^{17), 18)}。

したがって、最終的な開発は表面活性をもつイオンを含む添加剤 (SCA: sulfur containing additive) を入れないめっき系で、 B_s が 2.1 T でかつソフト性が高い軟磁性材料を開発することが可能になった。このときの最適な CoNiFe 膜の特性を Table 3 に示す。運よくゼロ λ_s ラインも S 含有量が少なくなると高 B_s 側に移動したわけである (Fig. 5)。

Fig. 6 に最適 CoNiFe (HB-CoNiFe) 膜の耐食性試験を示

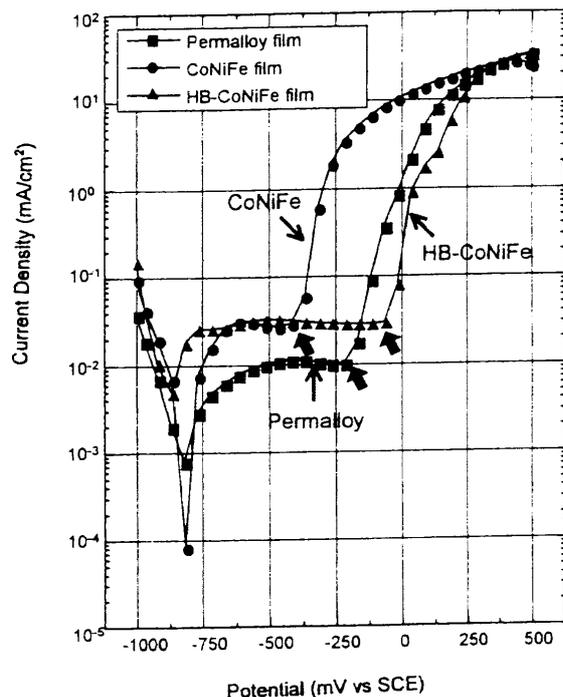


Fig. 6 Anodic polarization curves in a 2.5% NaCl solution. Shown are the curves of electroplated permalloy, CoNiFe, and HB-CoNiFe films in the anodic direction at 10 mV s^{-1} at ambient temperature. The sequence of anodic dissolution potential is HB-CoNiFe (-840 mV) > permalloy (-820 mV) ~ CoNiFe (-820 mV), whereas that of pitting corrosion potentials is HB-CoNiFe (-65 mV) > permalloy (-170 mV) > CoNiFe (-420 mV).

す。ここでは、サッカリン添加剤用浴などからの同じ組成の CoNiFe 膜とめっきパーマロイ $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜を比較のために示している。試験液は代表的な 2.5 % NaCl 溶液である。ここでは HB-CoNiFe の溶解電位はやや早であるがピットができる孔食電位（太めの矢印で示す）は明らかに HB-CoNiFe が最も貴になり、めっきパーマロイよりも耐食性のよい膜となっている。これは膜中の S 含有量が少ないためと考えられる。このことから十分に実用化レベルの耐食性をもつ膜と判定できる¹⁸⁾。

4. 高比抵抗ソフト膜の開発

次に、高比抵抗ソフト膜の開発についても多少触れておきたい。我々は無電解 NiP めっき膜において、アミン基を含む添加剤を加えると、条件によっては $5,000 \mu\Omega\text{cm}$ と半導体から絶縁体に近い金属光沢をもつめっきが行えることを見いだしている¹⁹⁾。これは、アミン系添加剤により C が微量に膜中に析出するためである。この技術をソフト膜作製に利用し高比抵抗材料開発を行った。まず NiFe パーマロイ膜にジエチレントリアミン (DET) を添加剤として加えると Fig. 7 に示すように比抵抗が $20 \mu\Omega\text{cm}$ から $100 \mu\Omega\text{cm}$ 以上に上昇する²⁰⁾。ソフト性を損なわないように H_c

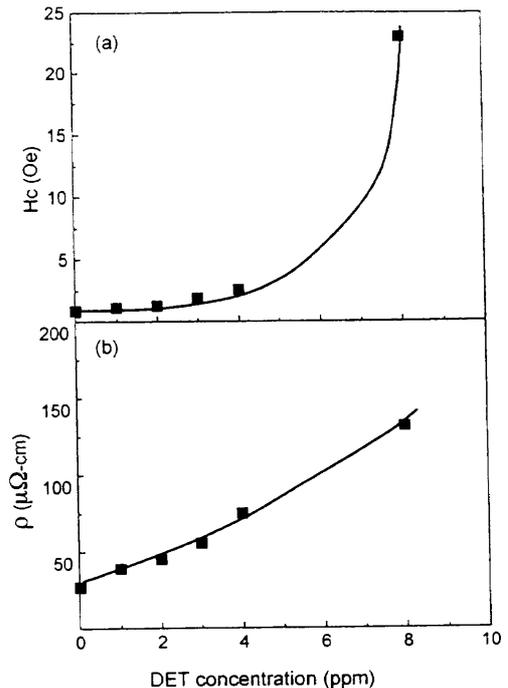


Fig. 7(a) Relation between the DET concentration and the resistivity of NiFe films prepared at 10 mA/cm^2 .

Fig. 7(b) Relation between the DET concentration and H_c of NiFe films prepared at 10 mA/cm^2 .

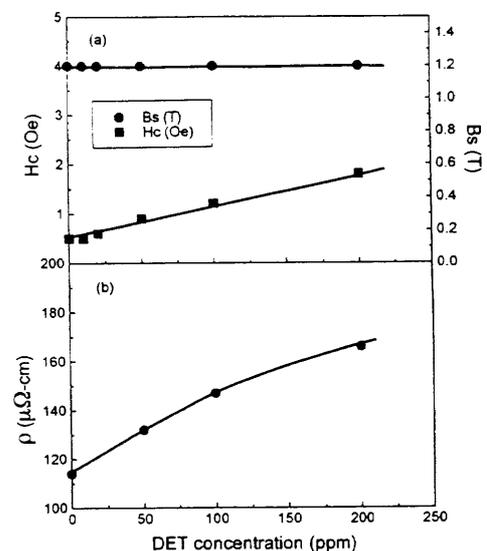


Fig. 8 Dependence of the B_s , H_c , and ρ of NiFeP films on the DET concentration.

が 2 Oe 以下を保つ条件では、 $\rho = 56 \mu\Omega\text{cm}$ で $H_c = 1.9 \text{ Oe}$ というパーマロイ膜が作製できた。さらに、NiFeP 系を検討した例を Fig. 8 に示すが、ここでは $\rho = 170 \mu\Omega\text{cm}$, $H_c = 1.8 \text{ Oe}$ という値が得られている²¹⁾。Table 4 にこれらの磁気特性をまとめる。

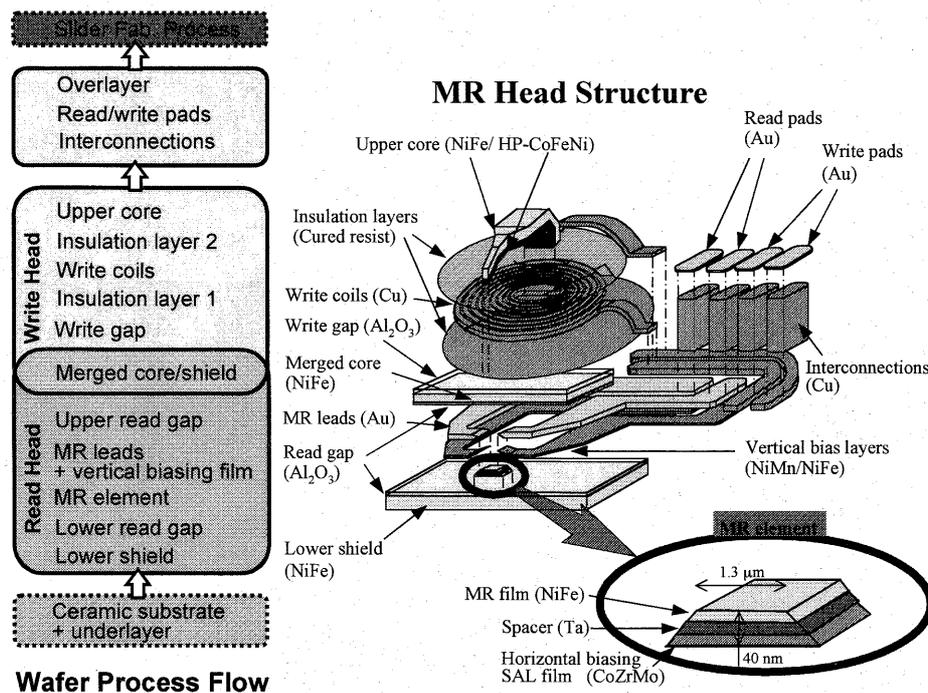


Fig. 9 Schematic drawing of the merged-type MR head structure and its process flow.

Table 4 Magnetic properties and resistivity of NiFe and FeNiP films

Sample	B_s (T)	H_c (Oe)	ρ ($\mu\Omega$ cm)
Ni ₈₁ Fe ₁₉	1.0	0.5	20
Ni ₇₈ Fe ₂₂ (3 ppm DET)	1.1	1.9	56
Fe ₆₅ Ni ₁₁ P ₂₄	1.2	0.6	110
Fe ₇₀ Ni ₆ P ₂₄ (200 ppm DET)	1.2	1.8	170

5. HB-CoNiFe 膜の MR ヘッドへの搭載

ここで紹介した高 B_s ソフト膜 HB-CoNiFe を書き込み用コアに用いた MR ヘッドを試作し評価した。Fig. 9 に MR ヘッド構造の模式図を示す。上部コア材料として、従来用いられてきたパーマロイ Ni₈₀Fe₂₀ と 0.3~1.0 μm 膜厚の HB-CoNiFe をめっきで積層している。このときの MR ヘッドの作製プロセスを参考までに図中に示す。従来のプロセスに HB-CoNiFe めっきを加えたプロセスとなっている。

高 B_s の HB-CoNiFe めっきを 0.5 μm 付与したコアをもつ MR ヘッドのオーバーライト (重ね書き SN 比) は、パーマロイコアの MR ヘッドに比べ、保磁力 2400 Oe の媒体に対しては約 5 dB、保磁力 2950 Oe の高密度用媒体に対しては約 18 dB の改善がみられた。このときのスペーシングは 60 nm である。このヘッドによる書き込み能力の改善は、高密度記録が可能な H_c の高い記録媒体に対し

て顕著である。

このように HB-CoNiFe めっきを導入することで、MR ヘッドの書き込み能力を大幅に高めることができる。

なお、図示はされていないが、共通コア (上部シールド層) 上にも HB-CoNiFe を付与した両側高 B_s の構成ではさらに高い書き込み能力をもつことが確認されている²²⁾。

これらの結果から考えると高 B_s ソフト材料による書き込みヘッドは、より高密度記録が可能な高 H_c 媒体に有効に書き込めるため、面内記録媒体の高 H_c 化が可能になり、その結果熱ゆらぎに対する現状の限界をより高密度記録領域へ押し上げることが可能である。

6. おわりに

古くから用いられているめっき法を新しいハイテク分野での薄膜成形法として利用するための考え方を述べ、従来からの CoNiFe 三元系において高 B_s 領域でいままでは報告が得られていなかった低 H_c 領域を得るための開発内容を紹介した。幸いなことにこの成果は *Nature* 誌に掲載されたが、¹⁸⁾ その経緯に関しては論説²³⁾ に紹介するのでご参照されたい。この材料は実際の MR ヘッドに搭載され成果をあげており、この材料の今後の発展を期待したい。

参考文献

- 1) 田川育也, 上原祐二: 日本応用磁気学会誌, **22**, 199 (1998).
- 2) R. M. Bozorth: "Ferromagnetism," Vol. V. pp. 160-180 (D. Van Nostrand Company, Inc., New York, 1951).
- 3) O. V. Aweres and H. Neumann: *Wiss. Veroffentlich. Siemens*, **14**, 93 (1935).
- 4) T. Miyazaki, T. Oomori, F. Sato, and S. Ishio: *J. Magn.*

Magn. Mat., **129**, L135 (1993).

- 5) N. C. Anderson and R. B. Chesnutt (IBM), U.S. Patent, 4,661,216 (1987).
- 6) 小俣雄二: 電子情報通信情報学会テクニカルレポート, **MR-23**, 23 (1988).
- 7) 篠浦 治, 上島聡史, 成宮和義: 日本応用磁気学会誌, **18**, 277 (1994).
- 8) 逢坂哲彌, 編: “湿式法を利用したエレクトロニクス高機能薄膜作製法” (広信社・総合工学出版会, 1992).
- 9) 逢坂哲彌, 編: “めっきとハイテク”, 一億人の科学 (大日本図書, 1993).
- 10) J. Edwards: *Trans. Inst. Met. Finish.*, **39**, 45 (1962).
- 11) J. Edwards: *Trans. Inst. Met. Finish.*, **39**, 52 (1962).
- 12) 大長利和, 安彦兼次: まてりあ, **34**, 279 (1995).
- 13) W. Schindler and J. Kirschner: *Phys. Rev. B*, **55**, R987 (1997).
- 14) 高井まどか, 逢坂哲彌: 日本応用磁気学会誌, **21**, 51 (1997).
- 15) 中村明義, 高井まどか, 林 勝義, 逢坂哲彌: 表面技術, **47**, 934 (1996).
- 16) M. Takai, K. Hayashi, M. Aoyagi, and T. Osaka: *J. Electrochem. Soc.*, **144**, L203 (1997).
- 17) T. Osaka, M. Takai, K. Hayashi, and Y. Sogawa: *IEEE Trans. Magn.*, in press.
- 18) T. Osaka, M. Takai, K. Hayashi, K. Ohashi, M. Saito, and K. Yamada: *Nature*, **392**, 796 (1998).
- 19) 初川拓朗, 東川太一, 逢坂哲彌, 中尾英弘: 表面技術, **47**, 779 (1996).
- 20) 高井まどか, 近藤 祥, 目羅史明, 加世田 学, 逢坂哲彌: 表面技術, **49**, 292 (1998).
- 21) 高井まどか, 目羅史明, 加世田 学, 逢坂哲彌: 日本応用磁気学会誌, **22**, 629 (1998).
- 22) K. Ohashi, Y. Yasue, M. Saito, K. Yamada, T. Osaka, M. Takai, and K. Hayashi: *IEEE Trans. Magn.*, in press.
- 23) 逢坂哲彌: 日本応用磁気学会誌, 1998年10月号論説.

(1998年4月13日受理)



逢坂哲彌 おおさか てつや

昭49 早稲田大学大学院理工学研究科応用化学専攻(博士終了), 早大助手, ジョージタウン大博士研究員, 早大講師, 同助教授を経て, 昭61 早稲田大学教授, 現在電気化学会副会長, 日本化学会技術賞, 電気化学協会学術賞, 回路実装学会論文賞, 表面技術協会協会賞, IUSF(国際表面処理連合)ワーニック賞, ECS(米国電気化学会)電析部門研究賞等を受賞, 現在に至る.

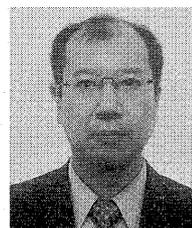
専門 電気化学, 電子材料化学, 表面処理化学, 具体的には磁気記録材料, リチウム二次電池, 電気二重層キャパシタ, 回路実装材料, 化学センサ等の基礎および応用研究 (工博)



高井まどか たかい まどか

平8 3月より平10 3月まで同大学理工学部助手, 平10 3月早稲田大学理工学研究科, 応用化学専攻, 博士課程修了, 平10 4月電子技術総合研究所, 材料科学部, 科学技術特別研究員, 現在に至る.

専門 電気化学 (工博)



大橋啓之 おおはし けいし

昭54 名古屋大学大学院修士課程修了, 同年 日本電気(株)入社, 磁気ヘッドの開発および設計に従事, 現在に至る.

専門 磁性材料