Development of Micro-magnetic Scale with Electroplating of Magnetism

Y. Sampei^{*,***}, H. Anzai^{*}, Y. Itoh^{*}, O. Maeda^{**}, H. Nakamura^{**}, S. Osanai^{**}, K. Yamaguchi^{***}, and O. Nittono^{***}^{*}Fukushima Technology Centre, 1-12 Machiikedai, Koriyama 963-0215, Japan^{**}Nikkoshi Co., Ltd., 39-11 Abura-kubo, Sekibe, Shirakawa, Fukushima, 961-0021, Japan^{***}Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima Univ., 1 Kanayagawa, Fukushima 960-1296, Japan

A magnetic encoder is an element that detects the moved distance, speed, and rotation angle by sensing magnetism. This has been detected by reading the scale of the magnetic pattern with magnetic sensors. Therefore, it is possible to use these in severe situations such as in liquid and under dust. The magnetic scale of a magnetic encoder is obtained by machining a magnetic substance or by injection molding a plastic magnet. However, it is difficult to obtain the pitch on a detailed scale in the machining. Moreover, a plastic magnet is vulnerable to radiation. We aimed to develop a magnetic scale that was resistant to high temperature and radiation. We combined photolithography and electroplating to form an under 200-micro-meter micro-indentation pattern for the magnetic substance metal and used it as a scale.

Key Words: magnetic encoder, magnetic scale, photolithography, radiation resistance, micro pattern, electroplating

磁性体の微細めっきによるマイクロ磁気スケールの開発

三瓶義之^{*,***}・安齋弘樹^{*}・伊藤嘉亮^{*}・前田修^{**}・中村寛^{**}・小内俊介^{**}・山口克彦^{***}・入野修^{***}^{*}福島県ハイテクプラザ, 福島県郡山市待池台1-12 (〒963-0215)^{**}ニッコーン(株), 福島県白河市関辺字油久保39-11 (〒961-0021)^{***}福島大学共生システム理工学類, 福島県福島市金谷川1 (〒960-1296)

1. はじめに

磁気エンコーダーは、磁気スケールを磁気センサーで読み取ることで、移動距離や速度、回転角度などを検出する素子である。その信号検出には、硬磁性体に着磁された磁気記録をスケールとしてそれを読み取る方式と、軟磁性体金属の凹凸パターンをスケールとし、外部磁場による磁化の差を検出する方式の二種類が一般的に用いられている¹⁾。

磁気エンコーダーは液中や塵埃中、強い光の下など光学式エンコーダーが使用できない過酷な環境で使用される例が多く、放射線医療機器の内部制御などに高温下・放射線下で使用可能な高分解能の磁気スケールが強く求められている。

しかし、磁気記録を用いた方式では、微細な磁気記録を検出する為には記録媒体と検出部とのクリアランスを狭める必要があり、長期使用での信頼性が低下するという問題がある。

また熱や外部磁場による磁気記録の劣化や、熱や放射線によるプラスチックマグネットの劣化といった問題もあり、このような環境で使用することは難しかった^{2) 3)}。

軟磁性体金属の凹凸パターンを用いる方式では、MRセンサーを用いることでクリアランスを確保でき、金属素材であることから高温や放射線に対する耐久性も期待できるが、機械加工の際の工具径の限界や加工時間の問題からパターンピッチが0.5 mm以下の磁気スケールを作成することは難しかった。

近年、X線リソグラフィと電鍍技術を用いてnmオーダーのサイズのニッケル構造体を形成する技術が開発され、X線に代わり紫外線リソグラフィを用いた手法でもμm以下のサイズのニッケル構造体を形成する事が可能となっている^{4) 5)}。

この技術により形成された軟磁性体金属の微細構造をMRセンサーにより非接触で検出できれば高分解能かつ耐高温・耐放射線の磁気スケールとして使用できる可能性がある。

本研究では、高分解能かつ耐熱・耐放射線性の高い磁気ス

ケールの可能性について、紫外線フォトリソグラフィと電気めっきの組み合わせにより軟磁性体金属の微細構造を形成し、MRセンサーとバイアス磁石の組み合わせにより非接触で検出することを試みた。

2. 磁性体めっきと磁気特性の測定

実験ではNiめっき、Fe-Ni合金めっきおよびFe-Co合金めっきの電気めっきにより磁性体の皮膜を形成することを試みた。Niめっきにはスルファミン酸ニッケル浴⁶⁾、Fe-Ni合金めっきには硫酸ニッケル-塩化ニッケル-第一鉄からなるめっき浴⁷⁾、Fe-Co合金めっきは硫酸第一鉄-硫酸コバルトからなるめっき浴⁸⁾を用いた。基板には□5 mm×0.5 mmの銅板、浴温度50℃、電流密度は2 A/dm²で定電流制御によりめっきを行った。析出しためっき皮膜は蛍光X線分析により元素分析を行った。その結果、スルファミン酸ニッケル浴からは純Niめっき、Fe-Ni合金めっき浴からはFe:Ni=2:8、Fe-Co合金めっき浴からはFe:Co=4:6の比率のめっきが析出していることが確認できた。めっき皮膜の磁気特性については、振動試料型磁力計により測定を行った。得られたヒステリシスカーブをFig.1に示す。

Fig.1の結果より、今回作製したいずれの素材のめっき皮膜も磁性を持っており、特にFe-Ni合金めっきが軟磁性体として良好な性能を有していることが確認できた。

このFe-Ni合金めっき、およびFe-Co合金めっきについて、真空中で熱処理を行い、X線回折によりめっきの結晶性の評価を行った。Fe-Ni合金めっきは600℃、Fe-Co合金めっきは700℃と1000℃で熱処理を行った。Fig.2にFe-Ni合金めっき、Fig.3にFe-Co合金めっきのX線回折測定結果を示す。

Fig.2およびFig.3より、Fe-Ni合金、Fe-Co合金のいずれもめっき直後は結晶性が低い、Fe-Ni合金は600℃、Fe-Co合金めっきは700℃での熱処理により結晶性が向上していること

Fig. 1 Hysteresis curves for plating.
(a) Ni, (b) Fe-Ni, and (c) Fe-Co

Fig. 2 XRD patterns of Fe-Ni plating
before and after annealing at 600 °C.

が確認できた。Fe-Co合金めっきについては1000 °Cでの熱処理では逆に結晶性が低下していることが確認できた。

熱処理前後における磁気特性の変化について試料振動型磁力計にて測定を行った。Fig.4に熱処理前後での保磁力と飽和磁化について未処理品を基準とした相対値で示す。

Fig.4よりFe-Ni合金めっきは保磁力、飽和磁化ともに大きな変化が見られなかったが、後述する磁気センサによる評価では信号強度の著しい増加が見られた。Fe-Co合金めっきでは700 °Cでの熱処理により保磁力の増加が見られた。これは、熱処理による結晶性の向上に起因しているものと考えられる。

Fig. 3 XRD patterns of Fe-Co plating
before and after annealing at 700 °C and 1000 °C.

Fig. 4 Ratio of Hc and Bs
(a) Fe-Ni, (b) Fe-Co (before annealing).

Fig.4よりFe-Ni合金めっきは保磁力、飽和磁化ともに大きな変化が見られなかったが、後述する磁気センサによる評価では信号強度の著しい増加が見られた。Fe-Co合金めっきでは700 °Cでの熱処理により保磁力の増加が見られた。これは、熱処理による結晶性の向上に起因しているものと考えられる。

3. 微細構造の形成とスケール評価

フォトリソグラフィーと電気めっきの組み合わせにより、磁性体の微細パターンを形成することを試みた。アスペクト比の高い微細構造を形成するために、レジストには化学増幅型の厚膜

フォトリソを用いた. Table 1にフォトリソグラフィの条件, Fig.5に今回行ったプロセスの概略図について示す.

このプロセスにより作製したパターン幅50 μm , 高さ50 μm , ピッチ200 μm のFe-Ni合金による磁気スケールのSEM画像をFig.6に示す. Fig.6より, Fe-Ni合金めっきにより目的のパターンが形成されていることが確認できる. また, Ni, Fe-Ni合金, Fe-Co合金いずれのめっきで作製したパターンともレジスト剥離工程やセンシングの際の摩擦に耐えられる十分な強度を持っており, 熱処理の際にも剥離や変形などの問題は発生しなかった.

磁気スケールの信号評価として, 100 μm ピッチ(パターン50 μm /間隔50 μm)でスケールを作製し, MRセンサーおよび測定ステージを用いて評価を行った. 評価装置およびセンサ

Table 1 Photolithography processes.

Photoresist		SU-8
Pretreatment		Acetone
Coating		Applicator
Pre-baking	73 °C	450 sec
	103 °C	600 sec
Exposure		300 mj/cm ²
Post exposure baking	73 °C	330 sec
	103 °C	540 sec
Development		300 sec
Rinsing		IPA 60 sec

Fig. 5 Schematics for photolithograph and electroplating process.

一の構造の概略をFig.7に示す. MRセンサーは基板垂直方向に感度を持つよう, 幅45 μm のInSb薄膜を150 μm 間隔で平行に2本配置し, これらを直列に接続した構造とした.

MRセンサーとスケールとのクリアランスは150 μm とし, バias磁石によるスケール直上の磁界の分布を2本のInSb薄膜の抵抗の差として中点にかかる電圧の変化の形で検出した.

Fig.8に(a)Niめっき, (b)Fe-Ni合金めっき, (c)Fe-Ni合金めっき(600 °Cで熱処理), (d)Fe-Co合金めっきで作製したそれぞれ100 μm ピッチのスケール出力の結果を示す.

Fig.8より, 今回使用した素材の中ではFe-Niに熱処理を施したパターン(c)が最も信号強度が強く, 熱処理を行うことにより, 信号強度が約3倍に向上していることが確認できた. これは熱処理による結晶化が影響しているものと考えられる.

Fig. 6 Pitch 200 μm Fe-Ni pattern. (pattern 50 μm /space 150 μm /height 50 μm)

Fig. 7 Schematics for measurement equipment. (a) Overview, (b) sensor area magnification, and (c) sensor internal circuit

Fig. 8 Signals of MR sensors.
(a)Ni, (b)Fe-Ni, (c)Fe-Ni(annealed), and (d)Fe-Co

Fig.8(c)のスケールを用い, Fig.7(b)に示したクリアランスを変化させた際のスケール出力の測定結果をFig.9に示す.

Fig.9より, スケールからの信号強度はセンサーとスケールとのクリアランスが150 μm まではほとんど変化しないが, それ以上に広がると急激に減衰することが確認された.

5. まとめ

本研究では, 高分解能かつ耐熱・耐放射線性の高い磁気スケールの開発の可能性について, 紫外線フォトリソグラフィーとニッケル等の磁性体金属のめっきを組み合わせることで軟磁性体金属の微細構造を形成し, MRセンサーとバイアス磁石の組み合わせにより非接触で検出することを試みた. それにより以下の知見を得た.

- 1)Fe-NiやFe-Coといった磁性体のめっきにより微細パターンを形成し, 単結晶InSb型MRセンサーにより非接触で検出することができ, 磁気スケールとして使用できることが確認できた.
- 2)MRセンサーによる測定では今回使用した素材の中で最も透磁率の高いFe-Niから最も強い信号を得られた. またFe-Niは熱処理により大幅に信号強度を向上させることが出来, これは熱処理による結晶性の向上に起因していると考えられる.
- 3)センサーとスケールとのクリアランスは150 μm までは信号強度に大きな影響がないが, それ以上離れると急激に信号強度が減衰することが確認された.

Fig. 9 Signals of MR sensor when distance between sensor and scale is increased.
(a)140 μm , (b)150 μm , (c)175 μm , and (d)200 μm

本論文で作製した磁気スケールは, 金属素材のみで形成されているため, プラスチックマグネットに比べ高温や放射線に対して高い耐性を持っているであろうことが期待でき, 高温や放射線耐性の評価などを行うことで, 実用化が可能であると考えられる.

References

- 1)T.Ohmori: Hukyuban Sensa Jituyou Binran (in Japanese), p.507 (FUJI.Technosystem,Tokyo,2000).
- 2)T.Seguchi,N.Hayakawa,K.Yoshida,N.Tamura, Y.Katsumura, and Y.Tabaka: Radiat. Phys. Chem.**26**,221(1985).
- 3)Kiyoshi.H: Koubunsizairyoku no Jyumyo hyoka.Yosokuhou (in Japanese),P.31-36(IPC,Tokyo,1994).
- 4)P.Bley and J.Mohr:FED Journal Vol.5 Suppl.1,P.34-48(1994).
- 5)M.Yasui,Y.Hirabayasi, and H.Fujita: Journal of The Surface Finishing Society of Japan,55,P.226-231(2004)
- 6)Takeaki.F,Jyunzou.M: Electroplating & Chemicalplating Guidebook (in Japanese),p.382(Tokyo mekki zairyoku kyoudou kumiai,Tokyo,1987).
- 7)Hidehiko.E, Takashi.K: Goukinmekki (in Japanese), p.152 (Nikkan Kougyo Shuppan,Tokyo,1987).
- 8)S.Glasstone,J.C.Speakman:J.Electrodepositors'tech.Soc., 8, 11 (1932).

2008年10月20日受理, 2009年1月7日再受理, 2009年1月9日採録