補助磁極に Ni-Fe 膜を用いた Ni-Co 膜 磁気抵抗効果素子

Magnetoresistive Sensors using Ni-Co Films with Auxiliary Pole of Ni-Fe Films

光岡勝也・熊谷 昭・成重真治・華園雅信・榊原正彦*

(株)日立製作所・日立研究所, 茨城県日立市久慈町 4026 (☎319-12)

*日立金属(株)磁性材料研究所, 埼玉県熊谷市三ヶ尻 5200 (☎360)

K. Mitsuoka, A. Kumagai, S. Narishige, M. Hanazono, and M. Sakakibara*

Hitachi Res. Lab., Hitachi, Ltd.,

4026, Kuji-cho, Hitachi, 319-12

*Magnetic & Electronic Materials Res. Lab., Hitachi Metals, Ltd.,
5200, Kumagaya, Saitama, 360

Magnetoresistive effect, effective anisotropy field, domain patterns and reading abilities were studied in improved type sensors made of high magnetoresistive Ni-Co films with auxiliary pole of Ni-Fe films. Demagnetizing field in improved type sensors with the same Ni-Co stripe width as conventional type sensors was reduced to half that of the latter. Under an angular change of applied field or an application of low bias field, magnetoresistive effect in conventional type sensors decreased. This was caused by the existence of domain walls. On the other hand, improved type sensors were composed of a single domain; therefore, magnetoresistive effect did not decrease under the same field conditions. Read-out value for magnetoresistive effect of improved type sensors is about 1.6-1.8 times greater than that of conventional type sensors. The ratio of the stripe width of the sensors to the recording bit length was found to be an important factor in enlarging the distance from a medium to the sensors.

1. ま え が き

磁気抵抗効果を利用した磁気センサ^{1),2)}で大きな出力を得るためには異方性磁界と反磁界が小さく、磁気抵抗効果が大きいことが必要である。磁気抵抗効果の大きい材料として Ni-Co 合金膜が知られている³⁾。我々は、77 重量 % Ni-Co 合金膜で磁抵抗効果が最も大きく、直交スイッチング磁界中蒸着法で異方性磁界が小さくなることを先に報告した⁴⁾。

一方、磁気センサの高性能化に伴って、センサと対向した記録媒体のビット長は小さくなる方向にあり、磁気センサのストライプ幅を狭くする必要がある。しかし、ストライプ幅が狭くなると反磁界が大きくなるために低磁界での感度が低下し、高出力が得られないという問題がある。反磁界を小さくする方法として高透磁率膜を補助磁極として隣接配置することが知られている¹⁾。そこで、本研究では Ni-Co 膜に隣接して高透磁率の 81 重量 % Ni-Fe 膜を配置した素子を作製し、ストライプ幅に対する反磁界低減の効果およびその磁区構造を、また励

磁界の角度変動並びにバイアス磁界による磁気抵抗効果...に及ぼす影響を調べた。さらに、各素子の読出特性も調べた。

Fig. 1 Sample dimensions of conventional type and improved type sensors.

2. 実験方法

磁気抵抗効果膜に用いた Ni-Co 膜 (厚さ $0.06\mu\text{m}$) は直交スイッチング磁界中蒸着法で形成することにより一軸異方性を付与した。膜堆積時の磁界強さは容易軸となる方向に 6 kA/m (H_{EA}), 困難軸となる方向に 2 kA/m (H_{HA}) であった。 H_{EA} , H_{HA} の繰返し周波数は 1 Hz とし, 印加する時間比を 6 対 4 とした。補助磁極に用いた Ni-Fe 膜 (厚さ $0.25\mu\text{m}$) は磁界中スパッタリング法で形成することにより一軸異方性を付与した。スパッタリング時の磁界強さは容易軸となる方向に 4 kA/m であった。 Ni-Co 膜と Ni-Fe 膜との電気絶縁にはスパッタリング法により形成したアルミナ膜 (厚さ $0.4\mu\text{m}$) を用いた。

Fig. 1 に今回検討した素子の寸法形状を示す。基板にはコーニング 0211 (75mm 径, 0.5 mm 厚) を用いた。ストライプ状 (ストライプ長さ 3 mm) のパターンニングにはイオンミリング法を用い, Ni-Co 膜および Ni-Fe 膜の容易軸方向をストライプ長手方向と一致させた。図中, a) は従来型の素子であり, ストライプ幅は $4, 9, 19$ および $29\mu\text{m}$ の 4 種類とした。 b) は Ni-Co 膜に隣接して補助磁極の Ni-Fe 膜を配置しており, Ni-Co 膜のストライプ幅は $4, 9$ および $19\mu\text{m}$ とし, Ni-Co 膜と Ni-Fe 膜のストライプ幅の和を $28, 57$ および $78\mu\text{m}$ とした。

有効異方性磁界 (異方性磁界と反磁界の和) は困難軸励磁の抵抗の磁界依存性より求めた⁵⁾。最大印加磁界は 8 kA/m とした。磁区観察は磁性流体を用い, 困難軸方向に交流消磁した後測定した。読出特性の測定には保磁力 99.5 kA/m , 角型比 0.54 , 厚さ $80\mu\text{m}$ の塗布型鉄粉の媒体を用い, 記録ビット長は $83.8\mu\text{m}$ とした。

3. 実験結果と検討

Fig. 2 に Ni-Co 膜のみの従来型と Ni-Fe 膜の補助磁極を隣接配置した改良型での有効異方性磁界とストライプ幅との関係を示す。ストライプ形状の平均的反磁界 H_D は次式で与えられる⁶⁾。

$$H_D = a \frac{d \cdot I_s}{W} \quad (1)$$

ここで, a は比例定数, d は膜厚, W はストライプ幅, I_s は磁化の強さである。Fig. 2 から従来型, 改良型ともに有効異方性磁界はストライプ幅に逆比例しており, (1) 式に従って反磁界が生じていることがわかる。また, この図から従来型での有効異方性磁界は異方性磁界より反磁界による寄与が大きいのに対し, 改良型では

反磁界の寄与が半減しており, 補助磁極に用いている Ni-Fe 膜が反磁界低減に大きな役割を果たしていることがわかる。

Fig. 3 に Ni-Fe 膜, Ni-Co 膜のみの従来型とこれら両者を複合した改良型構造を採用した場合の抵抗の磁界依存性とビッター図形をそれぞれ示す。R-H ループをみると明らかに Ni-Fe 膜および Ni-Co 膜のみの従来型にはヒステリシスが生じている。これに対し, 改良型ではヒステリシスはほとんど生じていない。ヒステリシスは磁区構造と密接に関係すると考えられるので, この両者の関係を調べた。その結果, ヒステリシスが生じる従来

Fig. 2 Relation between the effective anisotropy field, $H_{K,*}$ and the stripe width, W or W_1 .

Fig. 3 Field dependence of resistance and Bitter pattern in three types of sensors.

型では図中のビッタ図形に示すような多磁区の構造をとることがわかった。これに対し、改良型では印加磁界の強さにかかわらず、多磁区構造は観察されず単一磁区構造をとることが分かった。

Fig. 4 および Fig. 5 に従来型および改良型での磁気抵抗

Fig. 4 Angular dependence of magnetoresistive effect.

Fig. 5 Bias field dependence of magnetoresistive effect.

抗効果の励磁界角度依存性とバイアス磁界依存性をそれぞれ示す。図中、縦軸はマイナス磁界側から残留磁化した時の抵抗と -4.2 kA/m の磁界印加時の抵抗の差を -4.2 kA/m の磁界印加時の抵抗で規格化した磁気抵抗効果である。Ni-Fe 膜あるいは Ni-Co 膜のみの従来型の場合はいずれもわずかな励磁界角度のずれおよび小さなバイアス磁界で磁気抵抗効果が大幅に低下する部分がある。これに対して Ni-Fe 膜と Ni-Co 膜とを複合した改良型では励磁界角度のずれおよびバイアス磁界印加によっても磁気抵抗効果はほとんど変化しない。改良型がこのように優れた特性を示すのは Fig. 3 に示したように磁区構造が単磁区になっているためと考えられる。改良型で単磁区になる原因についてはこれまでのところ不明である。

次に従来型および改良型で試作した素子の読出特性を調べた。Fig. 6 にスペーシング（素子と媒体の距離）を $20 \sim 80 \mu\text{m}$ とした場合の各素子の出力とスペーシングとの関係を示す。Ni-Co 膜のストライプ幅が同じ ($4 \mu\text{m}$) 素子 E と A を比較すると、改良型素子 E は出力が大幅に改良されていることがわかる。この高出力を示す E の素子 (Ni-Co 膜と Ni-Fe 膜のストライプ幅の和が $28 \mu\text{m}$) とほぼ同じストライプ幅 ($29 \mu\text{m}$) の従来型素子 D の特性を比べると $50 \mu\text{m}$ 以下のスペーシングでは素子 E の出力が大きく、 $50 \mu\text{m}$ 以上では素子 D の方が出力が大きくなっていることがわかる。広いスペーシング領域で素子 D よりも素子 E の方が出力が低下する原因を調べるために Ni-Co 膜のストライプ幅 W_1 および Ni-Co 膜と Ni-Fe 膜のストライプ幅の和 W_2 を各々素子 E に比べ 2 倍にした素子 F、 W_1 を F の素子に比べ 2 倍にした素子 G、さらに W_2 を G の素子に比べ 1.3 倍程度とした素子 H (W_2 は記録ビット長以下) の読出特性を調べた。その結果、E の素子から F 及び G の素子へとス

Fig. 6 Relation between read-out values for magnetoresistive effect, $\Delta R/R$, and spacing, S .

トライブ幅を広げるにつれて最大出力をとるスペーシングは広がる。また、F 及び G の素子の出力が E の素子とほぼ同じ高出力を示すのに対し、H の素子の場合には出力が小さい。このことよりスペーシングをさらに広げるためには記録ビット長に適したストライブ幅があると考えられる。H の素子の出力が小さい原因については W_2 ($78\text{ }\mu\text{m}$) が記録ビット長 ($83.8\text{ }\mu\text{m}$) とほぼ同じ大きさであるためと考えられる。即ち、Ni-Co 膜が磁界を受けない磁化遷移領域上でも補助磁極に用いている Ni-Fe 膜が磁化遷移領域の中間位置にあるため Ni-Fe 膜は磁化される。その結果、磁化された Ni-Fe 膜によって Ni-Co 膜も磁化される。したがって、Ni-Co 膜は磁化遷移領域上、磁化遷移領域の中間位置どちらの場合にも磁化されるため磁気抵抗効果の変化量が小さくなり、出力が低下したものと予想される。なお、スペーシングが小さい領域で出力が低下するのは記録ビット長の半分の距離間隔に素子を配置し、素子間の出力差を得る方式²⁾

Fig. 7 Maximum read-out values for magneto-resistive effect, $[\Delta R/R]_{\text{MAX}}$, and for spacing, $[S]_{\text{MAX}}$, as a function of stripe width in improved type sensors, W_2 .

としているためである。

Fig. 6 で得られた結果のうち、最大出力 $[\Delta R/R]_{\text{MAX}}$ の値とその時のスペーシング $[S]_{\text{MAX}}$ とを縦軸にとり、Ni-Co 膜と Ni-Fe 膜のストライブ幅の和 W_2 を記録ビット長 L で規格化した値を横軸にとって整理しなおした結果を Fig. 7 に示す。この図から W_2 が大きくなるとともに $[S]_{\text{MAX}}$ は大きくなり、 $[\Delta R/R]_{\text{MAX}}$ は小さくなることからわかる。磁気センサとして使用する場合、 $[\Delta R/R]_{\text{MAX}}$ および $[S]_{\text{MAX}}$ のいずれも大きくする必要があるので記録ビット長に最適なストライブ幅があるものと考えられる。最適化については今後更に検討する予定である。

4. 結 言

磁気抵抗効果の大きい Ni-Co 膜に隣接して補助磁極の Ni-Fe 膜を用いた改良型素子について磁気特性および読出特性を検討し、以下のことが分かった。Ni-Fe 膜の補助磁極を用いることにより反磁界は半減する。また、単磁区に近い磁区構造となり、励磁界の角度変動およびバイアス磁界による磁気抵抗効果の低下を防止できる。改良型の素子を用いると従来型の素子に比べ読出力は 3% 以上となり高出力化が可能となった。

おわりに本論文をまとめるに当たり、有益なご討論をいただいた当所杉田博士に感謝いたします。

文 献

- 1) 伊藤, 他: 日本応用磁気学会研究会資料, 23-1, 1 (1982).
- 2) K. Miyashita: *System and Control*, **22**, 11, 11 (1983).
- 3) T. R. McGuire and R. I. Potter: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-11**, 1018 (1975).
- 4) 成重, 他: 日本応用磁気学会誌, **9**, 2, 91 (1985).
- 5) G. Kneer: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-2**, 747 (1966).
- 6) D. A. Thompson *et al.*: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-11**, 1039 (1975).

1985 年 12 月 28 日受理, 1986 年 2 月 27 日採録