Ni-Fe 薄膜の高周波透磁率変化を利用した 磁気再生ヘッド

Magnetic Read-Out Head Using Induced RF Permeability Variation in Ni-Fe Film

秋山純一・岩崎仁志・谷田部茂・千葉 脩

(株)東芝 総合研究所, 川崎市幸区小向東芝町 1 (〒210)

J. Akiyama, H. Iwasaki, S. Yatabe and S. Chiba, Toshiba R & D Center,
1, Komukai, Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, 210

A novel magnetic read-out principle is proposed which can extract a high quality output from a high density recorded signal. The principle utilizes a sharp RF permeability change in a soft magnetic film due to a weak external field. This variation is caused by both magnetization rotation and ferromagnetic resonance.

A magnetic read-out head has been experimentally made which operates according to the novel principle. The manufactured head was evaluated by sinusoidal signals (0.5-10 MHz) which are saturatedly recorded in a magnetic tape with a ferrite ring head (head gap: 0.3 μm , track width: 100 μm).

The reproduced 0.5 MHz signal level from the head is at least 35.7 dB higher than that from the ring head, and the 5 MHz signal is 17.6-22.5 dB robustly detected by the novel head. The carrier-to-noise ratio for a 5 MHz carrier (1 μm wavelength) is 44-47 dB and is insusceptible to Ni-Fe film thickness.

1. はじめに

磁気記録の分野では記録の高密度化がますます進むと予想される。現在垂直磁気記録方式を用いると光ビーム記録方式で記録された信号ピットに匹敵するほどの微小領域に信号を記録することができる。これはビット法による観察で明らかになっている¹⁾。ところがこのような信号を従来の磁気ヘッドで再生しようとしても感度が不足して十分な C/N の出力は得られない。すなわちこの感度不足が現在の磁気記録における記録密度の限界を決めていると言える。したがって真に記録密度を上げるためには磁気ヘッドの再生感度を向上させることが最も重要である。

このような背景の下で筆者らは高周波透磁率の変化を利用した新原理の磁気再生方式の着想を得た^{2)~4)}。この方式は信号磁界による磁性体の高周波透磁率変化を共振回路の共振の変化に変えて再生信号を得るというものである。したがって信号磁界から再生信号を得るまでに強磁性共鳴⁵⁾ (高周波透磁率変化の原因の一つ) と電気的共振の二つの共振現象を利用していることから、この方式を用いた磁気再生ヘッドは原理的に高感度であると予

想される。なお本ヘッドはMRヘッドやホールヘッドと同様に信号磁界の強度に比例した電圧変化を検出して信号を再生する磁界感应型のヘッドに属し、その再生出力は理想的には媒体のスピードに依存しない。

本報告では比較的作成の容易な単磁極型の新原理ヘッドを試作評価し、本ヘッドおよびこの再生原理が将来の高密度磁気記録における高感度の再生手段として適するかどうかを検討した。その結果、本ヘッドはリングヘッドよりも極めて高感度であり C/N も良好であることが明らかとなり、これより高密度記録用の再生ヘッドとして有望であることがわかった。

2. 軟磁性薄膜の高周波透磁率

Ni-Fe 膜などの軟磁性薄膜の VHF 帯や UHF 帯における高周波透磁率 (μ_{RF}) は実部 μ_{RF}' と虚部 μ_{RF}'' により成る複素透磁率となり次のように表される。

$$\mu_{RF} = \mu_{RF}' - j\mu_{RF}'' \quad (1)$$

実際に Ni-Fe 薄膜の μ_{RF} の磁界 (H) 依存性を高周波の周波数 (f) をパラメータとして測定した⁶⁾。測定に用いた Ni-Fe 薄膜 (Fe-80.3% Ni) はスパッタにより作成しその形状は 4 mm $\times$ 4 mm $\times$ 0.1 μm とした。 μ_{RF} の H

Fig. 1 Magnetic field dependence of the real part of RF permeability (μ'_{RF}) with RF frequency as a parameter.

依存性はインピーダンスアナライザ (YHP 製 4191 A) を用いて測定した。 μ'_{RF} はインダクタンス (L) として、 μ''_{RF} は抵抗 (R) として測定し、測定値は任意スケールとした。なお後述する再生ヘッドの場合と同じく高周波磁界 (試料の異方性磁界 (~ 4 Oe) よりも十分小さい強度) と外部磁界 (H : 信号磁界に相当) を試料の困難軸方向に印加した。Fig. 1 に μ'_{RF} 、Fig. 2 に μ''_{RF} の測定結果の一例を示す。 H が増加すると、 μ'_{RF} は、 $f=200$ MHz では単調に減少し、 $f=650$ MHz では極小値を有し、 $f=900$ MHz では単調に増加する。一方 μ''_{RF} は、 $f=200$ MHz ではわずかな極大を示し、 $f=650$ MHz と $f=900$ MHz では単調に減少する。 $f=650$ MHz での $H=0$ における大きな μ''_{RF} は強磁性共鳴に起因し、この周波数は強磁性共鳴周波数 (f_k) にほぼ等しい。 μ'_{RF} は f_k よりも低い 200 MHz で大きな磁界変化をし、 μ''_{RF} は f_k にほぼ等しい 650 MHz で最大の磁界変化をする。したがって微小な磁界変動に対しても大きな μ_{RF} の変化を得るためには、 μ'_{RF} では 200 MHz の周波数を、 μ''_{RF} では 650 MHz の周波数を選んで、困難軸方向に数 Oe のバイアス磁界 (H_b) を印加しておけばよい。なお異方性磁界 (~ 4 Oe) を超える H が加わると、磁化と高周波磁界がほぼ平行になるため、すべての f で $\mu'_{RF} \approx 1$ 、 $\mu''_{RF} \approx 0$ になる。したがって定性的には $H=0$ における μ_{RF} が外部磁界による磁化回転に応じて急峻に減少することにより μ_{RF} の高感度な磁界変化が生じると言える⁷⁾。

3. 再生原理

Fig. 3 は本ヘッドの原理の模式図である。記録媒体上にある磁極 (Ni-Fe 薄膜) が媒体からの信号磁界の変化

Fig. 2 Magnetic field dependence of the imaginary part of RF permeability (μ''_{RF}) with RF frequency as a parameter.

を検出すると磁極の高周波透磁率が変化する。このとき磁極に結合したコイルとコンデンサで LC 共振回路を構成しておくと、この共振周波数 (F_r) と尖鋭度 (Q) の両方またはいずれかが変化する。この共振回路に RF 発振器より高周波を供給し磁極を励振すると F_r と Q の変化は共振回路に発生する高周波電圧の変化を誘起する。この電圧変化をピーク検波回路を用いて検出することにより記録信号磁界に比例した検波電圧の変化 (再生信号) が得られる。

ところで高周波複素透磁率変化と LC 共振回路の共振曲線、再生信号電圧の関係を明らかにするために、次のような実験を行った。Fig. 1, 2 の測定に用いた Ni-Fe 薄膜の試料を Fig. 3 と同じ構成の電気回路を用いて検波電圧 (V) と外部磁界 (H) の関係を測定した (Fig. 4)。ただし試料に供給するコイルは試料の磁化容易軸と平行に $1/2$ ターンで試料に近接させた。その結果、磁界 H を

Fig. 3 The reproducing principle schematic diagram.

Resonance curves and V-H curves

Fig. 4 The head circuit resonance curve shift due to applied magnetic field (H) and H dependence of reproduced output (V).

Fig. 5 The manufactured single-pole-type head schematic diagram.

困難軸方向に印加してこれを0から10 Oeに変えると、LC共振回路の F_r は数MHz高くなり、その共振電圧も約20%向上した。Fig. 1, 2 から予想されるように250~300 MHzの範囲では H を0から異方性磁界(~4 Oe)を越える値に変えると μ_{RF}' と μ_{RF}'' はともに急激に減少する。ところでコイルの L は μ_{RF}' に比例し、 F_r は $1/\sqrt{L}$ に比例する。また Q は μ_{RF}'' にはほぼ反比例する。したがって上記周波数範囲では H の増加とともに F_r と Q は両者とも増加するはずである。上記の結果はこのとおりになっており、これより磁極の複素透磁率 μ_{RF}' と μ_{RF}'' のいずれも信号再生に利用できることが明らかになった。

さらに外部信号磁界 H (60 Hz, 振幅10 Oe)と検波電圧変化(ΔV)の関係を調べるために図中A, B, C, Dの各点に周波数を固定した(Fig. 4のV-H曲線)。この H も困難軸方向に印加した。周知のように L 変化による ΔV は共振曲線の半値幅を与える左、右肩の周波数で最

大となり左右で ΔV の位相は反転する。一方 Q 変化による ΔV は共振点で最大となる。したがって図のV-H曲線に示されるようにA点(左肩に相当)とD点(右肩に相当)での ΔV は主に L すなわち μ_{RF}' の変化によるものであること、さらにB点(共振点に相当)での ΔV は主に Q すなわち μ_{RF}'' によるものである。また H 増加とともに μ_{RF}' と μ_{RF}'' の両方が減少する場合にはC点のような共振点と右肩の間の周波数で最大の感度が得られることがわかる。

実際にこの原理を用いて記録媒体に記録された信号を最大感度で再生するためには、例えば250~300 MHzの範囲では図のC点に周波数を設定し約3 Oeのバイアス磁界を加えるというように、周波数帯によって異なる μ_{RF}' , μ_{RF}'' の磁界変化の仕方に応じて最適の高周波設定周波数とバイアス磁界を選択する必要がある。

4. 実験方法

本研究に用いた試作ヘッドはガラス基板上にNi-Fe磁極(組成Fe-80.3% Ni)と回路パターンをスパッタとホトリソグラフィを用いて形成した単磁極型のヘッドであり回路パターン上には電子部品を実装した(Fig. 5)。磁極に結合するコイルは1/2ターンの薄膜(3~5 μm 厚)であり、この構成で電磁的結合は十分にとることができた。

実験は、本ヘッドに700~800 MHzの高周波を供給しにおいて、市販1/2インチビデオテープ(面内配向)を当接させ、このテープを5 m/secの速度で走行させて行った(Fig. 5)。測定の際には再生信号の C/N (5 MHzキャリア, 4 MHzノイズ, $\Delta f=30$ kHz)が最大になるようにヘッド励振用高周波の周波数とパワーおよびバイアス磁界を調節した。このバイアス磁界(10~50 Oe)はヘッド外部に配置した永久磁石を用いて磁極の困難軸方向に印加した。試作ヘッドから得られた再生信号は増幅した後、スペクトラムアナライザ(タケダ理研製TR 4172)を用いてスペクトラムを観測することにより感度と C/N の評価を行った。なお実験に用いたテープにはあらかじめトラック幅100 μm 、ヘッドギャップ0.3 μm のリングヘッドを使用して0.5~10 MHzの正弦波信号を飽和記録した。またこのリングヘッドでも再生実験を行い、試作ヘッドと感度の比較をした。

5. 実験結果と考察

Fig. 6は試作ヘッドの記録周波数特性をNi-Fe磁極の膜厚をパラメータとして測定した結果である。比較のために信号記録に用いたリングヘッドの再生特性も示した。試作ヘッドの再生出力は低記録周波数では膜厚の大

Fig. 6 Reproduced signal level as a function of recording frequencies, the ring head output characteristics are also shown for comparison.

Fig. 7 Ni-Fe film thickness dependence of carrier-to-noise ratio.

きい順に高かった。これは膜厚が増加すると信号磁界を検出する磁極の体積が増大し、これに結合するコイルのインダクタンス変化が大きくなるためと考えられる。一方高記録周波数での再生出力は膜厚によらずほぼ等しくなった。この理由は、第1には記録波長が短くなると信号磁界は磁極端部に集中するために、膜厚が増加し磁極端部の反磁界が増大すると、短波長信号磁界に対する実効的な透磁率が減少して、上述したような低記録周波数（長波長）信号における感度の上昇が抑制されるためと考えられる。なお、本実験における再生ヘッドと媒体と

の接触状態が必ずしも良好とは言えないこと、あるいは使用した媒体が市販の面内ビデオテープであることも一因と考えられる。

また試作ヘッドとリングヘッドを比較すると試作ヘッドの方が極めて高感度であった（0.5 MHz では 35.7～47.5 dB, 5 MHz では 17.6～22.5 dB 高感度）。

次に 5 MHz 信号をキャリアとする試作ヘッドの C/N を磁極の膜厚を変えて測定した (Fig. 7)。膜厚を 12.5～100 nm と大幅に変えても C/N は膜厚にあまり依存せず 44～47 dB（ノイズバンド幅 30 kHz）と良好であった。

なお本再生方式で利用できる記録周波数の限界は共振回路の共振の半値幅 (F_r/Q) と磁極内磁化の周波数応答性によって決まると考えられる。磁化の応答周波数の限界は未解明であり今後の研究課題でもあるが、本方式は従来方式よりも広い再生帯域をもつと考えられる。

6. ま と め

Ni-Fe 薄膜の信号磁界に応じた高周波透磁率変化により高周波電圧が変調される効果を用いた単磁極型の磁気再生ヘッドを試作評価することによって、本ヘッドが従来のリングヘッドよりも極めて高感度であり、良好な C/N を有することがわかった。

したがって本再生原理とこの原理を利用した磁気再生ヘッドは垂直磁気記録方式等の高密度磁気記録における再生手段として有望であると考えられる。

謝辞 本研究遂行にあたってご指導、ご激励をいただいた当社元専務 澤崎憲一博士に心から感謝いたします。

文 献

- 1) 土岐, 青山, 山形, 渡辺, 西本, 伊藤: 第18回東北大通研シンポジウム, p. 81 (1982)
- 2) 沢崎, 千葉: 公開特許公報, 昭 57-36407 (1982)
- 3) 秋山, 岩崎, 谷田部, 千葉: 昭和60年度電子通信学会半導体・材料部門全国大会講演文集, 52 (1985)
- 4) 秋山, 岩崎, 谷田部, 千葉: 第9回応用磁気学会学術講演集, 29 pA-3, 284 (1985)
- 5) 太田: 磁気工学の基礎Ⅱ, p. 350, 共立出版 (1973)
- 6) 岩崎, 秋山, 谷田部, 千葉: 昭和60年度電子通信学会半導体・材料部門全国大会講演文集, 53 (1985)
- 7) 岩崎, 秋山, 谷田部, 千葉: 第9回応用磁気学会学術講演集, 29 pA-6, 287 (1985)

1985 年 12 月 26 日受理, 1986 年 2 月 27 日採録