

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3822058号
(P3822058)

(45) 発行日 平成18年9月13日(2006.9.13)

(24) 登録日 平成18年6月30日(2006.6.30)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 R 33/02 (2006.01) GO 1 R 33/02 D

請求項の数 2 (全 11 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2001-3446 (P2001-3446) (22) 出願日 平成13年1月11日 (2001.1.11) (65) 公開番号 特開2002-207069 (P2002-207069A) (43) 公開日 平成14年7月26日 (2002.7.26) 審査請求日 平成16年1月8日 (2004.1.8)</p> <p>特許法第30条第1項適用 2000年7月18日 社団法人電気学会開催の「マグネティックス研究会」において文書をもって発表</p>	<p>(73) 特許権者 503360115 独立行政法人科学技術振興機構 埼玉県川口市本町4丁目1番8号 (74) 代理人 100089635 弁理士 清水 守 (72) 発明者 荒井 賢一 宮城県塩竈市南町6-14 (72) 発明者 山口 正洋 宮城県仙台市青葉区大手町10-15-3 03 (72) 発明者 藪上 信 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 無番地 亀岡住宅第二地区14号棟21</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧方法及びその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

外部磁界により変調されたAM変調波をキャリア成分と逆相の成分を足し合わせることで、キャリア成分のみを低減させ、これにより位相雑音を低減させ、側波帯を高感度に測定可能にすることを特徴とする高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧方法。

【請求項2】

- (a) 信号発生器と、
- (b) 該信号発生器に接続される第1のデバイダと、
- (c) 該第1のデバイダに接続されるセンサ素子と、
- (d) 該センサ素子と並列に接続され、前記第1のデバイダに接続されるアッテネータと 10
位相シフトとの直列接続回路と、
- (e) 前記センサ素子と前記位相シフトに接続される第2のデバイダと、
- (f) 該第2のデバイダに接続される前置増幅器と、
- (g) 該前置増幅器に接続されるスペクトラムアナライザとを備え、
- (h) キャリア電圧を前記第1のデバイダで分圧し、前記位相シフトの出力信号が前記センサ素子の出力信号であるキャリア成分に対し、振幅が等しく、位相がほぼ180°異なるように、前記アッテネータと前記位相シフトを用いて調節することを特徴とする高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高周波キャリア型磁界センサから出力されるAM変調波の搬送波成分を抑圧すると同時に、側波帯における搬送波成分のSSB位相雑音を低減する高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧方法及びその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、このような分野の技術としては以下に開示されるようなものがあった。

【0003】

- (1) 沼沢茂, 村上孝一, 北条博行: 日本応用磁気学会誌, 9, 263 (1985)
- (2) 加茂芳邦, 島田寛: 第13回日本応用磁気学会学術講演概要集, 23aD-6 (1989) 10
- (3) K. Mohri, T. Kohzawa, K. Kawashima, H. Yoshida, and L. V. Panina: IEEE Trans. Magn., 28, 3150 (1992)
- (4) 菊地弘昭, 竹澤昌晃, 山口正洋, 荒井賢一: 日本応用磁気学会誌, 21, 789 (1997)
- (5) 比嘉孝治, 内山剛, R. Shin, 毛利佳年雄, 宇ノ木保元, 菊地和政: 日本応用磁気学会誌, 21, 649 (1997)
- (6) M. Senda, O. Ishii, Y. Koshimoto, and T. Toshima: IEEE Trans. Magn., 30, 4611 (1994). 20
- (7) M. Senda, Y. Koshimoto: IEEE Trans. Magn., 33, 3379 (1997)
- (8) 森川健志, 西部裕司, 山寺秀哉, 野々村裕, 竹内正治, 多賀康訓: 日本応用磁気学会誌, 20, 553 (1996)
- (9) T. Morikawa, Y. Nishibe, H. Yamadera, Y. Nonomura, M. Takeuchi, and Y. Taga: IEEE Trans. Magn., 33, 4367 (1997)
- (10) M. Yamaguchi, M. Takezawa, Y. H. Kim, K. Ishiyama, M. Baba, K. I. Arai, N. Wako, and I. Abe: Proceedings of Transducers '99, 2P3.8 (1999) 30
- (11) 竹澤昌晃: 東北大学大学院工学研究科博士学位論文, p. 216 (1999)
- (12) 竹澤昌晃, 網代紀行, 山口正洋, 荒井賢一, 山崎二郎: 電気学会マグネティクス研究会資料, MAG-99-189
- (13) S. Uchiyama, M. Masuda, and Y. Sasaki: Jpn. J. Appl. Phys., 2, 621 (1963)

磁性体に高周波キャリア電流を直接通電し、その表皮効果を利用した高感度な磁界センサを薄膜で実現する研究が盛んに行われており、これまでに 10^{-10} テスラ(T)台の交流磁界分解能が得られたという報告例がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

高周波キャリア型薄膜磁界センサ既存の磁界センサに比較して更なる高感度が期待されるものの、出力信号は微小であり、その理論的最小検出感度は磁気モーメントの熱的な揺らぎで決定される。この微小な磁界信号は高周波キャリアによりAM変調され、側波帯信号を生じるが、その最小検出感度はこれまで搬送波のSSB位相雑音レベルにより制限されていた。 40

【0005】

本発明は、上記状況に鑑みて、SSB位相雑音を低減することにより、センサ素子自身の熱的揺らぎ、あるいは熱雑音レベルまでの微小な信号の検出が可能となる高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧方法及びその装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために、

〔 1 〕高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧方法において、搬送波と振幅が等しくかつ位相の 180 度異なる信号を AM 変調波と合成することにより、搬送波及び SSB 位相雑音の抑圧を行うことを特徴とする。

【 0007 】

〔 2 〕高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧装置において、信号発生器と、この信号発生器に接続される第 1 のデバイダと、この第 1 のデバイダに接続されるセンサ素子と、このセンサ素子と並列に接続され、前記第 1 のデバイダに接続されるアッテネータと位相シフタとの直列接続回路と、前記センサ素子と前記位相シフタに接続される第 2 のデバイダと、この第 2 のデバイダに接続される前置増幅器と、この前置増幅器に接続されるスペクトラムアナライザとを備え、キャリア電圧を前記第 1 のデバイダで分圧し、前記位相シフタの出力信号が前記センサ素子の出力信号であるキャリア成分に対し、振幅が等しく、位相がほぼ 180 度異なるように、前記アッテネータと前記位相シフタを用いて調節することを特徴とする。

10

【 0008 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【 0009 】

まず、センサ素子の高感度化について説明する。

20

【 0010 】

ガラス基板上に化学増幅ネガレジスト ZPN1100 を $3\mu\text{m}$ 塗布し、レジストパターンニングを行った。続いて、rf スパッタ法によりアモルファス $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ 単層膜、および Nb 導体層により磁性層を 2 分割した $\text{CoNbZr}/\text{Nb}/\text{CoNbZr}$ 積層膜を成膜し、リフトオフにより短冊状の磁界センサ素子を作製した。短冊状磁界センサ素子の外観図を図 1 に示す。なお、図 1 (a) は単層膜センサ、図 1 (b) は積層膜センサを示す斜視図である。

【 0011 】

短冊の長さ L は 1mm 、幅 W は $10, 20, 50\mu\text{m}$ と変化させた。単層膜の膜厚 D は $1\mu\text{m}$ 、積層膜では磁性膜の膜厚 D_1 を 1 層あたり $0.5\mu\text{m}$ ずつ、層間導体層の膜厚 D_2 は $5\mu\text{m}$ とした。

30

【 0012 】

作製方法としては、単層膜および積層膜の成膜時に導入された磁気異方性を、 8×10^{-4} 以下、 80kA/m (1kOe) の真空回転磁界中で 400 、2 時間の熱処理により緩和した後、同条件の真空静電磁界中で 400 、1 時間熱処理を行って、幅方向が磁化容易軸方向となるように一軸異方性を導入した。この静電界中熱処理後の異方性磁界 H_k は $400 \sim 500\text{A/m}$ ($5 \sim 6\text{Oe}$) であった。この短冊素子の長手方向に外部直流磁界 H_{dc} を印加しながら、 100MHz の高周波電流を通電し、ネットワークアナライザ (HP8752A) を用いて反射法により素子のインピーダンスを測定した。測定後、ピット法により各センサ素子の磁区構造を観察した。

40

【 0013 】

また、磁性膜が理想的な一軸異方性を有している場合の短冊状磁性薄膜の内部インピーダンス Z_i を抵抗分 R_i とリアクタンス X_i とに分けて表すと、

$$Z_i = R_i + j X_i \quad \dots (1)$$

【 0014 】

【数 1】

$$R_i = \frac{\rho l}{\omega t} \cdot \frac{a \sinh a + b \sin b}{2 (\cosh a - \cos b)} \quad \dots (2)$$

$$X_i = \frac{\rho l}{\omega t} \cdot \frac{b \sinh a + a \sin b}{2 (\cosh a - \cos b)} \quad \dots (3)$$

$$a = \frac{\sqrt{2} t}{\delta^*} \cos \theta \quad \dots (4)$$

$$b = \frac{\sqrt{2} t}{\delta^*} \sin \theta \quad \dots (5)$$

$$\theta = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \arctan \frac{\mu''_{er}}{\mu'_{er}} \quad \dots (6)$$

【0015】

のように計算される。ここで、 ρ は抵抗率、 l 、 w および t は長さ、幅および厚さであり、 μ'_{er} 、 μ''_{er} はバイアス磁化率の理論より計算される比透磁率の実部と虚部である。また、 δ^* は表皮深さであり次式で表される。

【0016】

【数2】

$$\delta^* = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_0\mu^*_{er}}} \quad \dots (7)$$

$$\mu^*_{er} = \sqrt{(\mu'_{er})^2 + (\mu''_{er})^2} \quad \dots (8)$$

【0017】

(1) ~ (3) 式より、

【0018】

【数3】

$$F(H_{dc}) = \frac{(a \sinh a + b \sin b) + j(b \sinh a + a \sin b)}{2(\cosh a - \cos b)} \quad \dots (9)$$

【0019】

のように、外部磁界の関数 $F(H_{dc})$ を定義すると、 Z_i は、

【0020】

【数4】

$$Z_i = \frac{\rho l}{\omega t} \cdot F(H_{dc}) \quad \dots (10)$$

【0021】

のように表現できる。

【0022】

ここで、センサ利得として外部磁界に対するインピーダンス変化の傾き、つまり次式に示

インピーダンス外部磁界に対する微分値 (Z_i / H_{dc}) を定義する。(10) 式を外部磁界で微分して、センサ利得を計算すると、

【0023】

【数5】

$$\frac{\partial Z_i}{\partial H_{dc}} = \frac{\rho l}{\omega t} \cdot \frac{\partial}{\partial H_{dc}} F(H_{dc}) \quad \dots (11)$$

【0024】

のように表される。

10

【0025】

図2に単層膜を用いた磁界センサ素子の外部磁界に対するインピーダンス変化を示す。図2(a)はリフトオフを用いた場合、図2(b)はイオンミリングを用いた場合を示している。

【0026】

比較のためイオンミリングを用いて作製した同寸法の素子の特性も示した。リフトオフを用いた場合とイオンミリングを用いた場合で、インピーダンス変化量が最大値をとる磁界強度が異なるのは、磁性膜の異方性磁界 H_k の大きさが異なるためである。素子幅 20, 50 μm においては、プロセスの違いによってインピーダンス変化量 Z に差は見られなかった。幅 10 μm ではリフトオフを用いた素子では 9.5 のインピーダンス変化量が得られているのに対し、イオンミリングを用いた素子では、3 程度のインピーダンス変化にとどまった。

20

【0027】

図3は幅 10 μm における、センサ素子の磁区構造写真を示したものである。線画も併記した。図3(a)に示すように、リフトオフを用いた素子では軸方向に平行な 180° 磁壁と素子端部では 90° 磁壁が観測された。この還流磁区構造の中で主磁区の面積が還流磁区の面積と比較して支配的であり、磁界中熱処理によって素子の幅方向に一軸異方性が誘導されていることが明らかである。一方、図3(b)に示すように、イオンミリングを用いた素子では 180° 磁壁は観測されず、90° 磁壁のみが観測され、一軸異方性の劣化は明らかである。これが、インピーダンス変化量が低減した原因と考えられる。

30

【0028】

一軸異方性の劣化の一因として、微細加工時の素子端部での加工精度が考えられる。図4に素子端部の拡大写真を示す。図4(a)はリフトオフを用いた場合、図4(b)はイオンミリングを用いた場合を示している。図4(b)に示したように、イオンミリングを用いた場合、リフトオフを用いた場合と比較してテーパが大きく形状に凹凸がある。この形状の乱れが静磁エネルギーの増大につながり、それを抑制するために還流磁区の大きい磁区構造をとっている可能性がある。

【0029】

図5は単層膜および積層膜を用いたセンサの素子幅に対するセンサ利得の変化を計算値と併せて示したものである。計算値は(11)式を基に算出した。単層膜の場合、素子幅の減少に伴い、センサ利得は増加し、計算値の傾向と一致した。積層膜の場合、単層膜と比べてセンサ利得が増加し、高感度化が実現できた。幅 20 μm 以下では、センサ利得にして 100 k / T (10 / Oe) 以上が得られた。

40

【0030】

図6は単層膜によるセンサ素子の磁区構造を観測した写真を示す図であり、図6(a)は 50 μm 幅の場合、図6(b)は 20 μm 幅の場合、図6(c)は 10 μm である。図7は積層膜によるセンサ素子の磁区構造を観測した写真を示す図であり、図7(a)は 50 μm 幅の場合、図7(b)は 20 μm 幅の場合、図7(c)は 10 μm である。

【0031】

これらの図より、積層膜の磁区構造では単層膜で見られる還流磁区が観測されず、軸方向

50

にほぼ平行な 180° 磁壁がみられた。これは分割された磁性層間の端部で静磁結合が発生し、磁極や還流磁区の発生が抑えられるためと考えられる。

【0032】

以上のことから、センサ素子を積層構造にすることにより、還流磁区の面積をセンサ利得を増加できることが明らかとなった。

【0033】

図8は測定システムの等価回路を示す図であり、図8(a)に本発明のキャリア抑圧回路の等価回路を、図8(b)にセンサ素子とスペクトラムアナライザを直列に接続したキャリア抑圧回路が無い系の等価回路を示した。

【0034】

図8(a)において、1は信号発生器(HP8656B)、2は第1のデバイダ(KDI D2935)、3はセンサ素子、4はアッテネータ(HP8494A)、5は位相シフタ(HLS-JJ-1)、6は第2のデバイダ(KDI D2935)、7は前置増幅器(HP87405)、8はスペクトラムアナライザ(HP8561E)である。

【0035】

また、図8(b)において、11は信号発生器(HP8656B)、12はセンサ素子、13はスペクトラムアナライザ(HP8561E)である。

【0036】

上記したように、高周波キャリア型磁界センサにおいて、被測定磁界はAM変調波の側波帯の出力を測定することにより検出する。キャリア抑圧回路は、センサ素子3からのAM変調波のキャリア成分のみを低減し、側波帯を高感度に計測することを意図している。キャリア電圧を第2のデバイダ6で分圧し、点Bの信号が点Aのキャリア成分に対し、振幅が等しく、位相がほぼ 180° 異なるように、アッテネータ4と位相シフタ5を用いて調節した。

【0037】

図9はキャリア抑圧回路における点Aおよび点Cでの周波数スペクトルを示したものである。側波帯の検出限界は側波帯の大きさがキャリア成分のSSB位相雑音の大きさと等しい条件で決定される。SSB位相雑音とは、キャリアを供給する発振器の周波数の揺動に起因するノイズである。キャリア抑圧回路によってキャリア成分を打ち消すことにより、図9(b)ではキャリア成分のSSB位相雑音が -120 dBm から -133 dBm に低減されており、より微小な側波帯の信号の検出が可能となる。点Aおよび点Bの信号を合成し、利得 $24\text{ dB NF } 6.5\text{ dB}$ の前置増幅器7で増幅された合成信号をスペクトラムアナライザ8で測定した。

【0038】

測定に用いたセンサ素子は、長さ 5 mm 、素子幅 $50\text{ }\mu\text{m}$ で CoNbZr/Cr/CoNbZr の積層構造である。 CoNbZr の膜厚は $0.5\text{ }\mu\text{m}$ ずつ、非磁性層間膜厚は 10 nm である。このセンサ素子に周波数 370 MHz 、電圧 3 V のキャリア信号を通電し、センサ素子に周波数 500 kHz の微小交流磁界を印加した場合のセンサ出力を測定した。微小交流磁界計測時には、センサ素子のセンサ利得が最大となるように 400 A/m (50 e) の直流バイアス磁界を印加した。

【0039】

図10はキャリア抑圧回路を用いた場合およびセンサ素子とスペクトラムアナライザを直列に接続した系での微小交流磁界に対するセンサ出力を示したものである。センサ素子とスペクトラムアナライザを直列に接続した系では、磁界の検出分解能は $2.0 \times 10^{-8}\text{ T}$ ($2.0 \times 10^{-4}\text{ Oe}$) であった。これは、キャリア周波数のSSB位相雑音が -118 dBm であり、 $2.0 \times 10^{-8}\text{ T}$ 以下の磁界では、センサ素子からのAM変調波の側波帯の出力がSSB位相雑音に埋もれるためである。一方、キャリア抑圧回路を用いると、SSB位相雑音は -161 dBm まで低減できたと考えられる。スペクトラムアナライザのノイズフロアは -140 dBm であるので、これが検出限界となる。その結果、図8(a)の回路を用いた測定系では $8.5 \times 10^{-11}\text{ T}$ ($8.5 \times 10^{-7}\text{ Oe}$) の磁界検出分解

10

20

30

40

50

能が得られた。

【0040】

上記したように、本発明では新たに微細加工プロセスとしてリフトオフを用いてセンサ素子を作製した。その結果、幅 $10\ \mu\text{m}$ の単層膜において、イオンミリングを用いた場合と比較して約3倍のインピーダンス変化量を得た。また、積層構造のセンサ素子を作製し、長さ $1\ \text{mm}$ の素子においてセンサ利得 $100\ \text{k}\ \Omega/\text{T}$ ($10\ \text{m}\Omega/\text{Oe}$)を実現した。さらに、高感度磁界測定法としてキャリア抑圧回路を提案し、 $8.5 \times 10^{-11}\ \text{T}$ ($8.5 \times 10^{-2}\ \text{Oe}$)という微小交流磁界の検出に成功した。

【0041】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。 10

【0042】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。

【0043】

(A) 微細加工プロセスとして、リフトオフを用いてセンサ素子を作製し、幅 $10\ \mu\text{m}$ と小型化した素子において、従来と比べて3倍以上のインピーダンス変化量を得た。

【0044】

(B) センサ素子を積層化することで還流磁区の面積を減少させ、センサ利得の向上を実現した。 20

【0045】

(C) 積層構造において、素子を幅 $10\ \mu\text{m}$ 、長さ $1\ \text{mm}$ と小型化した場合でも、 $100\ \text{k}\ \Omega/\text{T}$ ($10\ \text{m}\Omega/\text{Oe}$)のセンサ利得が得られた。

【0046】

(D) キャリア抑圧回路を用いてSSB位相雑音を低減させることにより、 $8.5 \times 10^{-11}\ \text{T}$ ($8.5 \times 10^{-7}\ \text{Oe}$)の微小な磁界の検出を可能にした。

上記したように、本発明は、高周波キャリア型センサが室温で動作するセンサとしては従来センサをしのぐ高感度を有し、次世代の磁気記録ヘッドの有力な候補となり得るのみならず、室温で動作する超高感度磁界センサの登場により新たな産業の創出への道を拓くものと考えられる。 30

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる短冊状磁界センサ素子の外観図である。

【図2】本発明にかかる単層膜を用いた磁界センサ素子の外部磁界に対するインピーダンス変化を示す図である。

【図3】本発明の実施例を示す幅 $10\ \mu\text{m}$ におけるセンサ素子の磁区構造写真を示した図である。

【図4】本発明の実施例を示す素子端部の拡大写真を示す図である。

【図5】本発明の実施例を示す単層膜および積層膜を用いたセンサの素子幅に対するセンサ利得の変化を計算値と併せて示す図である。 40

【図6】本発明の実施例を示す単層膜によるセンサ素子の磁区構造を観測した写真を示す図である。

【図7】本発明の実施例を示す積層膜によるセンサ素子の磁区構造を観測した写真を示す図である。

【図8】測定システムの等価回路を示す図である。

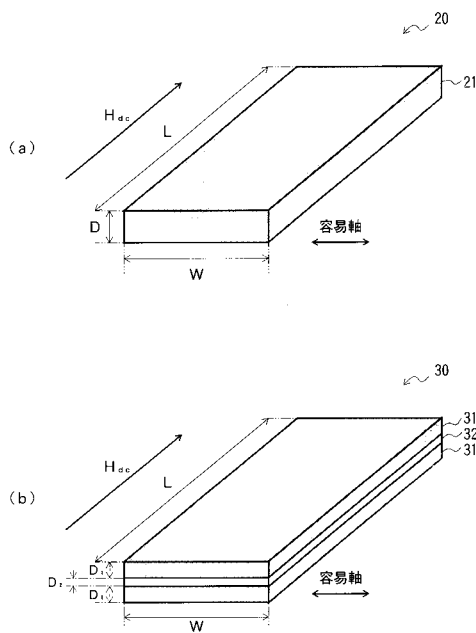
【図9】本発明の実施例を示すキャリア抑圧回路における点Aおよび点Cでの周波数スペクトルを示す図である。

【図10】本発明の実施例を示すキャリア抑圧回路を用いた場合およびセンサ素子とスペクトラムアナライザを直列に接続した系での微小交流磁界に対するセンサ出力を示す図である。 50

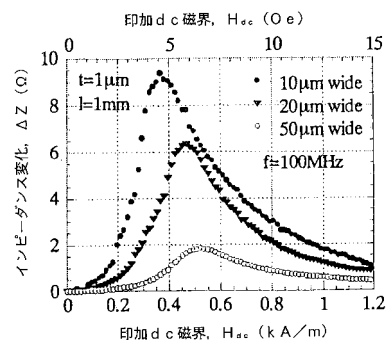
【符号の説明】

- 1 信号発生器
- 2 第1のデバイダ
- 3 センサ素子
- 4 アッテネータ
- 5 位相シフタ
- 6 第2のデバイダ
- 7 前置増幅器
- 8 スペクトラムアナライザ

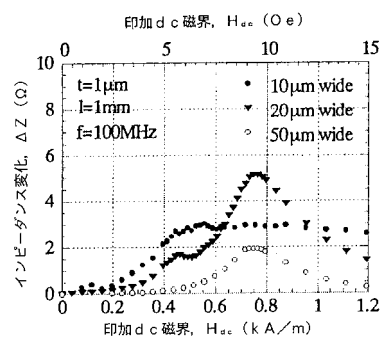
【図1】



【図2】

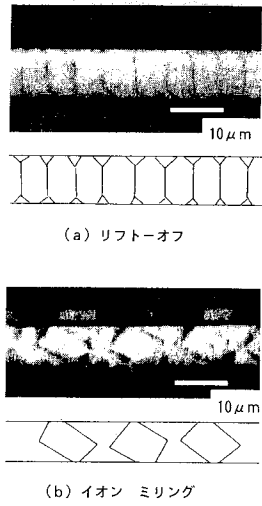


(a) リフトーオフ

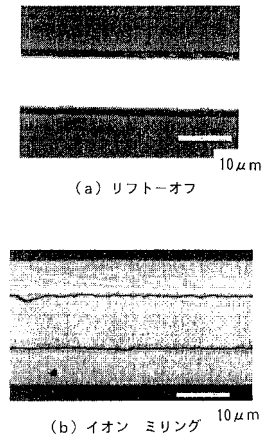


(b) イオン ミリング

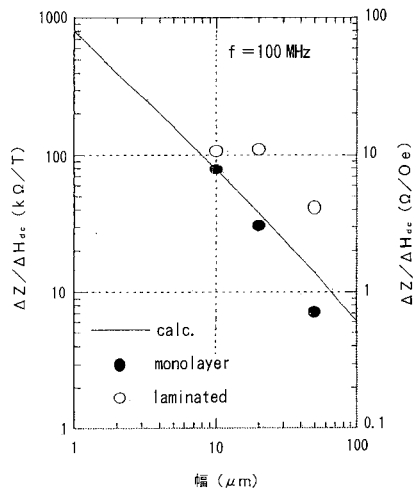
【 図 3 】



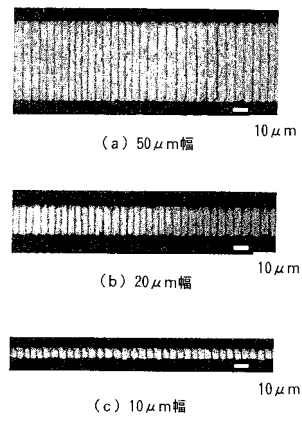
【 図 4 】



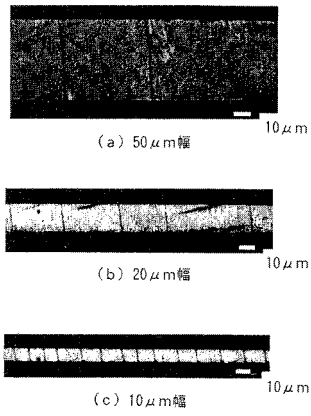
【 図 5 】



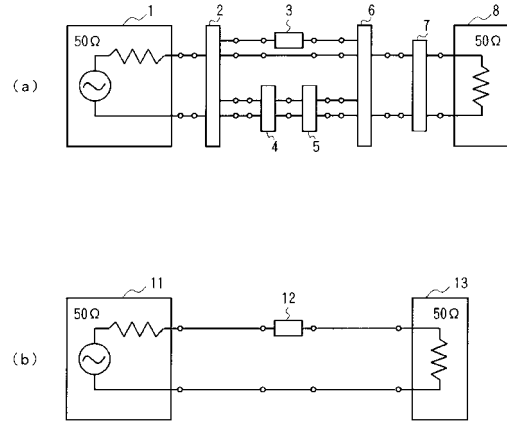
【 図 6 】



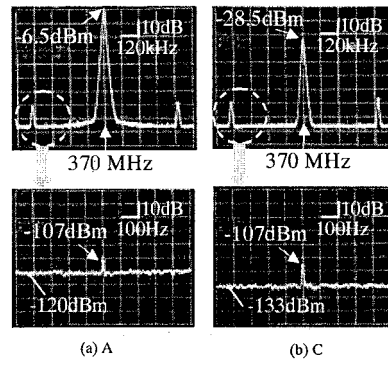
【 図 7 】



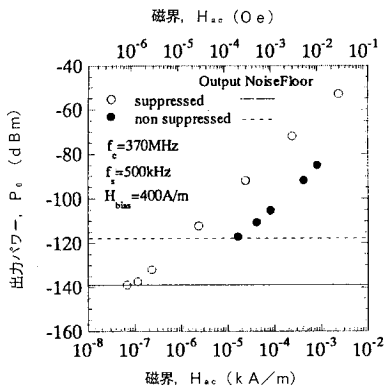
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 哲

宮城県仙台市太白区長町字越路19-1393 2-205

審査官 堀 圭史

(56)参考文献 特開平10-90380(JP,A)

特開昭58-139082(JP,A)

実開昭56-116685(JP,U)

特開平8-32351(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01R 33/02-18

JST7580(JDream2)

JSTPlus(JDream2)