

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2014年9月25日(25.09.2014)



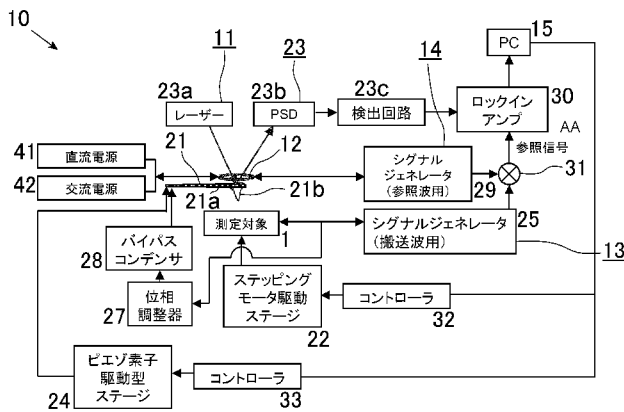
(10) 国際公開番号  
WO 2014/147866 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01R 29/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/074059
- (22) 国際出願日: 2013年9月6日(06.09.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2013-054700 2013年3月18日(18.03.2013) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学(TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 遠藤 恭(ENDO Yasushi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 山口 正洋(YAMAGUCHI Masahiro); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 島田 寛(SHIMADA Yutaka); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 室賀翔(MUROGA Sho); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 須田 篤, 外(SUDA Atsushi et al.); 〒9800021 宮城県仙台市青葉区中央二丁目1番30号 須田ビル5F Miyagi (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 高周波電磁界測定装置

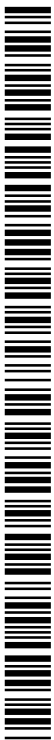


- 1 Object of measurement
- 22 Stepping motor driving stage
- 23a Laser
- 23c Detection circuit
- 24 Piezo element drive-type stage
- 25 Signal generator (carrier use)
- 27 Phase adjuster
- 28 By-pass capacitor
- 29 Signal generator (reference wave use)
- 30 Lock in amplifier
- 32, 33 Controller
- 41 DC power
- 42 AC power
- AA Reference signal

(57) Abstract: [Problem] To provide a high-frequency electromagnetic field measurement device that can separate the impact of a high-frequency electromagnetic field and the impact of a high-frequency electric field, that are generated by the input of a high-frequency signal, and that can measure a high-frequency electromagnetic field with high precision. [Solution] A magnetic force sensor (21) is formed from the cantilever of a magnetic force microscope (11) and can detect a magnetic field. A current line (12) is formed from a coil and is disposed so as to be adjacent to an object of measurement (1). A carrier guide means (13) inputs a high-frequency carrier signal to the object of measurement (1), and a reference wave guide means (14) is configured so as to input a high-frequency reference wave signal to the current line (12). Further, the potential when the carrier signal is input to the object of measurement (1) from the carrier guide means (13) is made to match the potential of the magnetic force sensor (21). The magnetic force microscope (11) has a placement stand (22) onto which the object of measurement (1) is placed, a displacement measurement means (23) for measuring the displacement of the magnetic force sensor (21), and a scanning means (24) for scanning the magnetic force sensor (21).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/147866 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

規則 4.17 に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

---

【課題】高周波信号の入力により発生する高周波磁界による影響と高周波電界による影響とを分離可能で、高精度で高周波磁界を測定することができる高周波電磁界測定装置を提供する。【解決手段】磁気力センサ 2 1 が、磁気力顕微鏡 1 1 のカンチレバーから成り、磁界を検出可能である。電流線 1 2 が、コイルから成り、測定対象物 1 に近接して配置されている。搬送波導入手段 1 3 が、測定対象物 1 に高周波の搬送波信号を入力し、参照波導入手段 1 4 が、電流線 1 2 に高周波の参照波信号を入力するよう構成されている。また、搬送波導入手段 1 3 から測定対象物 1 に搬送波信号を入力するときの電位と、磁気力センサ 2 1 の電位とが等しくなるよう構成されている。磁気力顕微鏡 1 1 は、測定対象物 1 を載せる載置台 2 2 と、磁気力センサ 2 1 の変位を測定する変位測定手段 2 3 と、磁気力センサ 2 1 を走査させる走査手段 2 4 とを有している。

## 明 細 書

発明の名称：高周波電磁界測定装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、高周波電磁界測定装置に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、携帯情報端末向けのアナログ高周波集積化回路（Radio Frequency Integrated Circuit：RFIC）の微細化の進展とともに、最小配線ピッチが狭くなってきており、配線間のクロストークや電磁ノイズ等の問題が発生する可能性が高まっている。また、無線通信で用いる高周波信号を処理するRFICチップ上では、デジタル回路面積の増加とデジタル・アナログ回路の混在により、デジタル回路で発生した電磁ノイズがアナログ回路に混入して電磁干渉（Electromagnetic Interference：EMI）問題を引き起こしている。このEMI問題に関する対策として、チップ内で発生した電磁ノイズの発生源、伝搬経路、混入先を特定することが重要であり、そのために、チップ上で発生する高周波近傍磁界を計測することは有効である。

[0003] 従来、チップ上で発生する高周波近傍磁界を計測する方法として、シールドループコイル型磁界プローブや磁気光学プローブ、超伝導量子干渉計（Superconducting Quantum Interference Device：SQUID）、巨大磁気抵抗型（Giant Magnetoresistance：GMR）センサを用いた方法がある（例えば、非特許文献1乃至4参照）。しかし、非特許文献1乃至4に記載の方法では、測定周波数帯域は0.5GHzを超えているものの、検出センサの空間分解能は概ね数十 $\mu\text{m}$ にとどまっている。このため、最少配線ピッチがサブミクロン程度であるRFICチップでは、その微細な信号配線や構成する素子を通る電流が作る磁界成分を検出することは困難であるという問題があった。

[0004] そこで、サブミクロンの空間分解能とギガヘルツ帯域の高周波特性とを同時に満たすために、本発明者等は、検出センサとして磁気力顕微鏡 (Magnetic Force Microscope: MFM) の探針に着目し、場のうなり (Beating field) 方式による高周波近傍磁界計測法を開発している (特願 2012-083425 号参照)。この場のうなり方式では、周波数帯がわずかに異なる 2 つの正弦波信号を、コプレーナウェーブガイド (Coplanar Waveguide: CPW) などの高周波伝送線路に入力し、その線路上で場のうなり (ビート信号) を発生させて、MFM 探針により高周波近傍磁界を計測している。

[0005] なお、2 つの正弦波信号として、搬送波信号および参照波信号を CPW に入力したとき、CPW 上で発生する磁界により磁気力顕微鏡の探針に作用する力  $F_M$  は、(1) 式で表される (例えば、非特許文献 5 参照)。

[数1]

$$F_M = m \frac{\partial H_z}{\partial z} \propto \left( H_c \frac{\partial H_c}{\partial z} \cos^2 \theta_c + H_{ref} \frac{\partial H_{ref}}{\partial z} \cos^2 \theta_{ref} + \left[ H_{ref} \frac{\partial H_c}{\partial z} \cos \theta_c \cos \theta_{ref} + H_c \frac{\partial H_{ref}}{\partial z} \cos \theta_c \cos \theta_{ref} \right] \cos 2\pi f_{Res} t \right) \cos^2(2\pi f_0 t - \delta) \quad (1)$$

ここで、 $m$  は探針の磁気モーメント、 $H_z$  は垂直 (Z) 方向の磁界成分、 $H_c$  は搬送波信号の磁界成分、 $\theta_c$  は搬送波信号の磁界成分の垂直 (Z) 方向の角度、 $H_{ref}$  は参照波信号の磁界成分、 $\theta_{ref}$  は参照波信号の磁界成分の垂直 (Z) 方向の角度、 $f_{Res}$  は探針 (カンチレバー) の共振周波数、 $t$  は時間、 $f_0$  は搬送波信号の周波数と参照波信号の周波数の中間値 (周波数)、 $\delta$  は位相である。

[0006] また、2 つの正弦波信号として、搬送波信号および参照波信号を CPW に入力したとき、CPW 上で発生する電界により磁気力顕微鏡の探針に作用する力  $F_E$  は、(2) 式で表される (例えば、非特許文献 6 参照)。

[数2]

$$F_E = \frac{1}{2} \varepsilon \frac{S}{h^2} (V_{cpw} - V_{tip})^2 \propto \frac{1}{Z^2} \left( E_c^2 \cos^2 \theta_c + E_{ref}^2 \cos^2 \theta_{ref} + 2E_c E_{ref} \cos \theta_c \cos \theta_{ref} \cos 2\pi f_{Res} t \right) \cos^2(2\pi f_0 t - \delta) \quad (2)$$

ここで、 $\varepsilon$ は誘電率、 $S$ はカンチレバーの面積、 $h$ は探針先端とCPWとの距離（リフト高さ）、 $V_{CPW}$ はCPWの電位、 $V_{tip}$ は探針の電位、 $Z$ はCPWの特性インピーダンス、 $E_c$ は搬送波信号の電界成分、 $E_{ref}$ は参照波信号の電界成分である。

[0007] なお、高周波磁気力顕微鏡（HF-MFM）により、振幅変調方式や周波数変調方式で、高周波近傍磁界を測定する方法もあるが、ICチップ内の回路を実動作させた状態では、配線や電源線を流れる電流から生じる磁界を直接測定することはできない。このため、ICチップの不良解析などには使用することはできない。

### 先行技術文献

#### 非特許文献

[0008] 非特許文献1：N. Ando et al., “Development of Miniaturized Thin-Film Magnetic Field Probes for On-Chip Measurement”, J. Magn. Soc. Jpn., 2006年, Vol. 30, p. 429

非特許文献2：N. Adachi et al., “Far-Infrared Ferromagnetic Resonance of Magnetic Garnet for High Frequency Electromagnetic Sensor”, IEEE Trans. Magn., 2010年, Vol. 46, p. 1986

非特許文献3：C. P. Vlahacos et al., “A Cryo-Cooled Scanning SQUID Microscope for Imaging High-Frequency Magnetic Fields”, IEEE Trans. Appl. Supercond., 2011年, Vol. 21, p. 412

非特許文献4：T. Nakai et al., 「反射信号を用いた高周波キャリア型磁界センサによる微小交流磁界計測に関する研究」, J. Magn. Soc. Jpn., 2006年, Vol. 30, p. 550

非特許文献5：J. Welker et al., “qPlus magnetic force microscopy in frequency-modulation mode with millihertz resolution”, Beilstein Journal of Nanotechnology, 2012年, Vol. 3, p. 174-178

非特許文献6：A. S. Hou et al., “Scanning Probe Microscopy for Testing Ultrafast Electronic Devices”, Optical and Quantum Electronics, 199

6年, Vol.28, p.819-841

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] 従来の場合のうなり方式による高周波近傍磁界計測法では、サブミクロンの空間分解能とギガヘルツ帯域の高周波特性とを同時に満たすことはできるが、演算処理を工夫しても、高周波信号の入力により発生する高周波磁界による影響と高周波電界による影響とを分離できず、高周波磁界の測定精度が低下してしまうという課題があった。

[0010] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、高周波信号の入力により発生する高周波磁界による影響と高周波電界による影響とを分離可能で、高精度で高周波磁界を測定することができる高周波電磁界測定装置を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0011] 上記目的を達成するために、本発明に係る高周波電磁界測定装置は、高周波信号を入力された測定対象物が発する高周波磁界を測定するための高周波電磁界測定装置であって、磁気的作用による振動を利用して磁界を検出可能な磁気力センサと、前記測定対象物に近接して配置された電流線と、前記測定対象物に高周波の搬送波信号を入力する搬送波導入手段と、前記電流線に高周波の参照波信号を入力可能であり、入力する前記参照波信号の周波数を変更可能に構成された参照波導入手段とを有し、前記搬送波導入手段から前記測定対象物に前記搬送波信号を入力するときの電位と、前記磁気力センサの電位とが等しくなるよう構成されていることを特徴とする。

[0012] 本発明に係る高周波電磁界測定装置は、以下のようにして、高周波信号を入力された測定対象物が発する高周波磁界を測定することができる。すなわち、搬送波導入手段により測定対象物に高周波の搬送波信号を入力して、一定の強度および周波数を有する高周波磁界を発生させる。また、参照波導入手段により、測定対象物に近接して配置された電流線に高周波の参照波信号を入力して、一定の強度および周波数を有する高周波磁界を発生させる。こ

のとき、参照波導入手段で参照波信号の周波数を変更して、測定対象物が発生する高周波磁界の周波数と、電流線が発生する高周波磁界の周波数とが僅かにずれるようにすることにより、各高周波磁界を含む磁界のうなり（ビート信号）を発生させることができる。このビート信号の周波数を、磁気力センサの共振周波数に近づけることにより、高周波磁界の測定を行うことができる。

[0013] また、このとき、搬送波導入手段から測定対象物に搬送波信号を入力するときの電位と、磁気力センサの電位とが等しくなるよう構成されているため、高周波信号の入力により高周波磁界と共に発生する高周波電界から磁気力センサが受ける力を抑制することができる。これにより、高周波磁界による影響と高周波電界による影響とを分離することができ、高精度で高周波磁界を測定することができる。なお、搬送波導入手段から測定対象物に搬送波信号を入力するときの電位と、磁気力センサの電位とは、同じ値に近づけば近づくほど磁界の測定精度が高くなるため、ぴったり等しくなることが好ましいが、回路の構成上、多少のずれが生じることがある。このため、これらの電位は、ぴったり等しくなっていなくとも、ほぼ等しくなっていればよい。

[0014] 本発明に係る高周波電磁界測定装置は、高周波磁界と高周波電界とを分離する効果を高めて測定精度をさらに向上させるために、搬送波導入手段から測定対象物に搬送波信号を入力するときの電位の位相および振幅と、磁気力センサの電位の位相および振幅とを揃えることが好ましい。位相を揃えるために、例えば位相調整器などを使用することができる。

[0015] 本発明に係る高周波電磁界測定装置は、磁気力顕微鏡を有し、前記磁気力センサは、前記磁気力顕微鏡のカンチレバーから成り、前記磁気力顕微鏡は、前記測定対象物を載せる載置台と、前記磁気力センサの振動による変位を測定する変位測定手段と、前記測定対象物に対して前記磁気力センサを相対的に走査させる走査手段とを有していることが好ましい。この場合、変位測定手段により、磁気力センサが高周波磁界から受ける力を測定することができる。また、走査手段で走査することにより、回路などの測定対象物上で発

生する高周波磁界の2次元分布を得ることができる。これにより、測定対象物上の電磁ノイズの発生源や伝搬経路、混入先などを特定することができ、EMI問題の解決に寄与することができる。

[0016] 本発明に係る高周波電磁界測定装置で、前記電流線はコイルから成っており、前記カンチレバーは絶縁体から成り、先端の探針の表面に磁性体膜が形成されていることが好ましい。この場合、コイルが主に高周波磁界を発生し、絶縁体のカンチレバーの梁が高周波電界の影響を受けないため、高周波磁界を高精度で測定することができる。影響を除去できる電界は、100MHz以上の高周波電界であり、特にGHzオーダーの電界の影響も除去することができる。カンチレバーは、高周波磁界の測定精度を高めるために、梁の探針とは反対側の面に磁性体膜が形成されていてもよい。また、前記カンチレバーの前記磁性体膜の磁性材料の磁化を交流消磁可能に、前記電流線に交番磁界を印加するための交流電源と、前記カンチレバーの前記磁性体膜の磁性材料の磁化を再着磁可能に、前記電流線に直流磁界を発生させるための直流電源とを、有していてもよい。

[0017] また、本発明に係る高周波電磁界測定装置で、前記電流線は開放型伝送線路から成っており、前記カンチレバーはシリコン製であってもよい。この場合、開放型伝送線路が主に高周波電界を発生し、シリコン製のカンチレバーが高周波電界の影響を受けやすいため、高周波磁界の影響を相対的に抑えて、高周波電界を高精度で測定することができる。カンチレバーは、シリコン製に限らず、他の導電性の素材から成っていてもよいが、加工性がよいため、シリコン製が特に好ましい。なお、本発明に係る高周波電磁界測定装置は、高周波磁界および高周波電界の双方を測定可能に、電流線がコイルと開放型伝送線路とを切換可能に構成されていてもよい。また、カンチレバーも、絶縁体から成り、先端の探針の表面に磁性体膜が形成されているものと、シリコン製のものとを切換可能に構成されていてもよい。

[0018] 本発明に係る高周波電磁界測定装置は、前記参照波導入手段により周波数を変更しながら前記参照波信号を入力したとき、前記変位測定手段により測



定された前記磁気力センサの振動による変位から、前記磁気力センサが共振周波数で振動したときの振幅を求めるとともに、そのときの前記参照波導入手段による前記参照波信号の周波数を求め、求められた前記磁気力センサの振幅と前記参照波信号の周波数とに基づいて、前記搬送波信号の入力により前記測定対象物が発する高周波信号の振幅と周波数とを算出する解析手段を有していてもよい。この場合、解析手段により、高周波信号を入力された測定対象物が発する高周波信号を定量的に把握することができる。高周波磁界の測定時には、(1)式を利用して高周波磁界を定量的に求めることができる。また、高周波電界の測定時には、(2)式を利用して高周波電界を定量的に求めることができる。

[0019] 本発明に係る高周波電磁界測定装置で、前記磁気力センサは絶縁体から成っていてもよい。この場合、絶縁体の磁気力センサが高周波電界の影響を受けないため、高周波磁界を高精度で測定することができる。

### 発明の効果

[0020] 本発明によれば、高周波信号の入力により発生する高周波磁界による影響と高周波電界による影響とを分離可能で、高精度で高周波磁界を測定することができる高周波電磁界測定装置を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の実施の形態の高周波電磁界測定装置を示すブロック図である。  
[図2]図1に示す高周波電磁界測定装置の測定系の回路図である。  
[図3]本発明の実施の形態の高周波電磁界測定装置の、高周波電界検出用の変形例を示すブロック図である。  
[図4]図3に示す高周波電磁界測定装置の測定系の回路図である。  
[図5]本発明の実施の形態の高周波電磁界測定装置に関し、(a)場のうなり方式による高周波磁界の測定装置の全体構成を示す斜視図、(b)その測定に用いるコプレーナウェーブガイド(CPW)の測定位置を示す拡大平面図、および(c)拡大断面図である。  
[図6]図5に示す測定装置による高周波磁界の測定で使用する、搬送波信号と

参照波信号との合成スペクトルである。

[図7]図5に示す測定装置により高周波磁界を測定したときの、(a)搬送波信号の周波数が100MHzの場合の、探針の振動振幅値を示すグラフ、(b)搬送波信号の周波数が100MHzおよび2GHzの場合の、カンチレバーの共振周波数近傍での探針の振動振幅値と、搬送波信号の電流値との関係を示すグラフである。

[図8]図5に示す測定装置により高周波磁界を測定したときの、搬送波信号の周波数と、探針の振動振幅値およびQ値との関係を示すグラフである。

[図9]図5に示す測定装置により高周波磁界を測定したときの、搬送波信号の周波数が100MHzおよび2GHzの場合の、CPWに対する探針の位置と、探針の振動振幅値との関係を示すグラフである。

[図10]本発明の実施の形態の高周波電磁界測定装置に関し、図5(a)を改良した高周波磁界の測定装置の全体構成を示す斜視図である。

[図11]図10に示す測定装置および図5(a)に示す測定装置により高周波磁界を測定したときの、搬送波信号の周波数が2GHzの場合の、CPWに対する探針の位置と、探針の振動振幅値との関係を示すグラフである。

[図12]図10に示す測定装置により、Ni-Feでコーティングされたカンチレバーおよびコーティングされていないカンチレバーを用いて高周波磁界を測定したときの、搬送波信号の周波数が2GHzの場合の、CPWに対する探針の位置と、探針の振動振幅値との関係を示すグラフである。

[図13]図10に示す測定装置により高周波磁界を測定したときの、搬送波信号の周波数が1.1GHzの場合の、CPWに対する探針の位置と、磁界(Hz)×磁界勾配(dHz/dz)との関係を示すグラフである。

[図14]図1に示す高周波電磁界測定装置を用いて、場のうなり方式により高周波磁界を測定したときの、(a)搬送波信号がない場合、(b)搬送波信号の振幅が9dBm、(c)搬送波信号の振幅が12dBm、(d)搬送波信号の振幅が15dBm、(e)搬送波信号の振幅が18dBm、(f)搬送波信号の振幅が21dBmの場合の、探針の振動振幅(上段)および位相

(下段)の測定結果を示すグラフである。

[図15]図1に示す高周波電磁界測定装置を用いて、場のうなり方式により高周波磁界を測定したときの、搬送波信号の振幅に対する探針の振動振幅のピーク値の変化を示すグラフである。

[図16]図1に示す高周波電磁界測定装置を用いて、場のうなり方式により高周波磁界を測定したときの、参照波信号の周波数と探針の振動振幅のピーク値との関係を示すグラフである。

[図17] (a) 図1に示す本発明の実施の形態の高周波電磁界測定装置、(b) 図3に示す本発明の実施の形態の高周波電磁界測定装置、(c) 図5(a)に示す、場のうなり方式による高周波磁界の測定装置、(d) 図10に示す、図5(a)を改良した高周波磁界の測定装置の測定原理図である。

### 発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面に基づき、本発明の実施の形態について説明する。

図1乃至図16は、本発明の実施の形態の高周波電磁界測定装置を示している。

図1に示すように、高周波電磁界測定装置10は、高周波信号を入力された測定対象物1が発する高周波磁界を測定するための高周波電磁界測定装置10であって、磁気力顕微鏡11と電流線12と搬送波導入手段13と参照波導入手段14とコンピュータ15とを有している。

[0023] なお、測定対象物1としては、例えば、トランジスタやダイオード等の能動素子、コンデンサやインダクタ等の受動素子、電源回路、LSIチップ、高周波伝送線路などである。

[0024] 磁気力顕微鏡11(MFM)は、磁気力センサ21と載置台22と変位測定手段23と走査手段24とを有している。磁気力センサ21は、梁21aの先端に探針21bが設けられた、絶縁体のカンチレバー(Cantilever)から成っている。磁気力センサ21は、探針21bの表面および、梁21aの探針21bとは反対側の面に磁性体膜が形成されている。磁気力センサ21は、磁気的作用による振動を利用して磁界を検出可能に構成され

ている。なお、磁気力センサ 21 は、特に、透磁率の高い軟磁気特性を有するもの、または、保磁力が 50 ~ 100 Oe 程度で、透磁率を有するものから成ることが好ましい。

[0025] 載置台 22 は、ステッピングモータ駆動ステージから成り、測定対象物 1 を載置可能に設けられている。載置台 22 は、測定対象物 1 を載せた状態で、高さを調節可能に構成されている。変位測定手段 23 は、レーザー 23a と光位置センサ (PSD) 23b と検出回路 23c とを有している。変位測定手段 23 は、レーザー 23a からの光を磁気力センサ 21 に当て、その反射光を光位置センサ 23b で受けて、その信号を検出回路 23c に送ることにより、磁気力センサ 21 の振動による変位を測定可能になっている。

[0026] 走査手段 24 は、 piezo 素子駆動型ステージから成り、磁気力センサ 21 が取り付けられている。走査手段 24 は、測定対象物 1 に対して磁気力センサ 21 を水平面内で移動可能に構成されている。

電流線 12 は、1 回巻きまたは 2 回巻きの円形状または半円形状のコイル (Coil) から成り、測定対象物 1 に近接して配置されている。

[0027] 図 1 および図 2 に示すように、搬送波導入手段 13 は、高周波の搬送波信号を発信するシグナルジェネレータ (SG) 25 と、発信された搬送波信号を 2 つに分けるスプリッタ (Power Splitter) 26 とを有している。搬送波導入手段 13 は、スプリッタ 26 により分けられた一方の信号を測定対象物 (DUT) 1 に入力するとともに、他方の信号を位相調整器 27 およびバイパスコンデンサ 28 を介して磁気力センサ 21 に入力するよう構成されている。これにより、高周波電磁界測定装置 10 は、測定対象物 1 に搬送波信号を入力するときの電位と、磁気力センサ 21 の電位とが等しくなるよう構成されている。

[0028] 図 1 および図 2 に示すように、参照波導入手段 14 は、高周波の搬送波信号を発信するシグナルジェネレータ 29 を有し、電流線 12 に高周波の参照波信号を入力可能に構成されている。また、参照波導入手段 14 は、入力する参照波信号の周波数を変更可能に構成されている。

[0029] 図1に示すように、コンピュータ15は、ロックインアンプ30を介して変位測定手段23の検出回路23cに接続され、ロックインアンプ30および周波数ミキサ31を介して搬送波導入手段13と参照波導入手段14とに接続されている。これにより、高周波電磁界測定装置10は、搬送波導入手段13からの搬送波信号と参照波導入手段14からの参照波信号とを周波数ミキサ31で混合して参照信号を発生させ、ロックインアンプ30で検出回路23cからの変位データと同期させてコンピュータ15に送り、高感度の測定を行うようになっている。

[0030] また、コンピュータ15は、解析手段（図示せず）と制御手段（図示せず）とを有し、それぞれコントローラ32、33を介して載置台22と走査手段24とに接続されている。解析手段は、参照波導入手段14により周波数を変更しながら参照波信号を入力したとき、変位測定手段23により測定された磁気力センサ21の振動による変位から、磁気力センサ21が共振周波数で振動したときの振幅を求めるとともに、そのときの参照波導入手段14による参照波信号の周波数を求めるようになっている。また、求められた磁気力センサ21の振幅と参照波信号の周波数とに基づいて、搬送波信号の入力により測定対象物1が発する高周波信号の振幅と周波数とを算出するようになっている。制御手段は、載置台22の高さを調整して、測定対象物1と探針21bとの間隔を制御するとともに、走査手段24を水平移動させて、測定対象物1の水平面内での測定位置を制御するようになっている。

[0031] 次に、作用について説明する。

高周波電磁界測定装置10の測定原理を、図17(a)に示す。高周波電磁界測定装置10は、以下のようにして、高周波信号を入力された測定対象物(DUT)1が発する高周波磁界を測定することができる。すなわち、搬送波導入手段13により測定対象物1に高周波の搬送波信号を入力して、一定の強度および周波数を有する高周波磁界(H)を発生させる。また、参照波導入手段14により、測定対象物1に近接して配置された電流線12に高周波の参照波信号を入力して、一定の強度および周波数を有する高周波磁界

(H) を発生させる。このとき、参照波導入手段 14 で参照波信号の周波数を変更して、測定対象物 1 が発生する高周波磁界の周波数と、電流線 12 が発生する高周波磁界の周波数とが僅かにずれるようにすることにより、各高周波磁界を含む磁界のうなり（ビート信号）を発生させることができる。このビート信号の周波数を、カンチレバーから成る磁気力センサ 21 の共振周波数に近づけることにより、高周波磁界の測定を行うことができる。

[0032] このとき、変位測定手段 23 により、磁気力センサ 21 が高周波磁界から受ける変位が測定されるため、その測定データに基づいて、解析手段により、(1) 式を利用して、高周波信号を入力された測定対象物 1 が発生する高周波磁界を定量的に求めることができる。

[0033] また、高周波電磁界測定装置 10 では、搬送波導入手段 13 から測定対象物 1 に搬送波信号を入力するときの電位と、磁気力センサ 21 の電位とが等しくなるよう構成されており、さらに、位相調整器 27 およびバイパスコンデンサ 28 により、それらの電位の位相および振幅が揃っているため、高周波信号の入力により高周波磁界と共に発生する高周波電界から磁気力センサ 21 が受ける力を抑制することができる。これにより、高周波磁界による影響と高周波電界による影響とを分離することができ、高精度で高周波磁界を測定することができる。また、電流線 12 のコイルが主に高周波磁界を発生し、磁気力センサ 21 である絶縁体のカンチレバーの梁 21a が高周波電界の影響を受けないため、高周波磁界をさらに高精度で測定することができる。

[0034] 高周波電磁界測定装置 10 は、走査手段 24 で走査しながら測定を行うことにより、回路などの測定対象物 1 上で発生する高周波磁界の 2 次元分布を得ることができる。これにより、測定対象物 1 上の電磁ノイズの発生源や伝搬経路、混入先などを特定することができ、EMI 問題の解決に寄与することができる。

[0035] なお、図 1 に示すように、高周波電磁界測定装置 10 は、電流線 12 に直流磁界を発生させるための直流電源 41 と、電流線 12 に交番磁界を印加す

るための交流電源42とを有していてもよい。この場合、交流電源42で電流線12を高周波磁界源にすることにより、磁気力センサ21の磁性体膜の磁性材料の磁化を交流消磁することができる。また、直流電源41で電流線12を直流磁界発生源にすることにより、磁気力センサ21の磁性体膜の磁性材料の磁化を再着磁して飽和させることができる。

[0036] また、図3および図4に示すように、電流線12は、開放型伝送線路 (Open type transmission line) から成っており、磁気力センサ21のカンチレバーはシリコン製であってもよい。このときの高周波電磁界測定装置10の測定原理を、図17(b)に示す。この場合、開放型伝送線路が主に高周波電界(E)を発生し、シリコン製のカンチレバーが高周波電界の影響を受けやすいため、高周波磁界の影響を相対的に抑えて、高周波電界を高精度で測定することができる。また、(2)式を利用して高周波電界を定量的に求めることができる。図3および図4に示す高周波電磁界測定装置10は、メモリなどでの高周波電界測定に利用することができる。

[0037] さらに、高周波電磁界測定装置10は、高周波磁界および高周波電界の双方を測定可能に、電流線12がコイルと開放型伝送線路とを切換可能に構成されていてもよい。また、カンチレバーも、絶縁体から成り、先端の探針21bの表面に磁性体膜が形成されているものと、シリコン製のものとを切換可能に構成されていてもよい。

以下、高周波電磁界測定装置10の原理について、検証のための実験を行った。

[0038] [場のうなり方式による高周波磁界の測定]

場のうなり方式を利用して高周波磁界の測定を行った。測定対象物1として、コプレーナウエーブガイド(CPW)を作製した。CPWの作製には、電子線リソグラフィ、DCマグネトロンスパッタおよびリフトオフ法を用いた。作製したCPWは、一端が終端された1ポート型形状であり、その構造はガラス基板(Glass sub.; 厚さ: 550 $\mu$ m、比誘電率 $\epsilon_r$ :

7. 0) 上に積層させた、Cr (5 nm) / Cu (300 nm) / Cr (5 nm) の三層膜である。CPWの線路長は7800  $\mu$ m、信号線 (SL; Signal Line) の幅は5  $\mu$ m、グラウンド線 (GL; Ground Line) の幅は50  $\mu$ m、信号線とグラウンド線との間のギャップ幅は6  $\mu$ mである。また、CPWの特性インピーダンスは、189  $\Omega$ である。なお、図5 (b) および (c) に示すように、測定時の位置表示として、CPWの信号線の中央の、短絡点から約400~600  $\mu$ mの点を原点としている。

[0039] 磁気力センサ21として、Ni-FeでコーティングされたMFMのカンチレバーを用いた。このカンチレバーの共振周波数は約28 kHz、ばね定数は1.3~1.4 N/m、Q値は80、探針21bの先端半径は40~50 nmである。カンチレバーは、測定前に磁化を垂直方向に固定している。また、測定条件として、探針 (MTM tip) 21bとCPWとの間の距離 (Lift Height) を500 nm、搬送波信号を9.15 mA、100 MHzおよび2 GHz、参照波信号を9.15 mA、100 MHzおよび2 GHz、ロックインアンプ30のバンド幅を80 Hzとした。

[0040] 測定には、図5 (a) に示す装置を用いた。図5 (a) に示す測定装置の測定原理を、図17 (c) に示す。図5 (a) の装置は、高周波電磁界測定装置10とは以下の点で異なっている。まず、電流線12を使用せず、搬送波信号と、搬送波信号の周波数からカンチレバーの共振周波数分だけずらした参照波信号とを、測定対象物 (DUT) のCPWに同時に入力することにより、CPW上で場のうなりによる高周波磁界を発生させている。また、ロックインアンプ30の参照信号として、ファンクションジェネレータ (FG) 51からの出力を用いている。なお、ファンクションジェネレータ51の出力周波数は、カンチレバーの共振周波数を含むよう、数百 kHz以下とした。

[0041] まず、搬送波信号と参照波信号とを、パワーコンバイナ52を介して合成した後のスペクトルの評価を行った。一例として、搬送波信号の周波数が1



00MHzの場合のスペクトルを、図6に示す。図6に示すように、100MHzと100.028MHzで、狭帯域幅の二つのスペクトルが観測されている。一方、その周波数差にあたる28kHz近傍ではスペクトルは観測されていない。この結果は、搬送波信号の周波数を10MHzから10GHzまで変えたすべての場合でも同様となっている。したがって、搬送波信号と参照波信号とを、CPWの線路上に入力して場のうなり成分を発生させても、カンチレバーの共振周波数帯近傍の低周波帯では信号が合成されないことが確認された。また、これらのスペクトルの線幅は、カンチレバーの共振周波数帯域に比べて十分に狭いことも確認された。

[0042] 次に、このうなり成分による高周波磁界の測定を行った。一例として、搬送波信号の周波数が100MHzの場合の、探針21bの振動振幅値の測定結果を、図7(a)に示す。探針21bの測定位置は、CPWの信号線とグラウンド線との間のギャップの中央である。図7(a)に示すように、カンチレバーの共振周波数にあたる28kHz近傍で、探針21bの振動振幅値が最大となっているのが確認された。この結果から、2つの高周波信号による場のうなりを、MFMの探針21bで検出可能であるといえる。

[0043] また、搬送波信号の周波数が100MHzおよび2GHzの場合に、カンチレバーの共振周波数にあたる28kHz近傍での探針21bの振動振幅値と、搬送波信号の電流値との関係を調べ、その結果を図7(b)に示す。探針21bの測定位置は、CPWの信号線とグラウンド線との間のギャップの中央である。図7(b)に示すように、搬送波信号の電流値を上昇させると、カンチレバーの共振周波数近傍における振動振幅値は線型的に増加していることが確認された。これは、CPW上で発生する磁界のうなりによる波形の振幅強度が、搬送波信号の電流の増加にともない増加し、MFM探針21bがそのうなりにより形成される高周波信号の包絡線に追従していることによるものと考えられる。

[0044] 次に、搬送波信号の周波数を変化させながら、場のうなりによる高周波磁界の測定を行った。このときの、搬送波信号の周波数と、探針21bの振動

振幅値およびQ値との関係を、図8に示す。探針21bの測定位置は、CPWの信号線とグラウンド線との間のギャップの中央である。図8に示すように、振動振幅値は、2GHz付近まではほぼ一定で、0.60~0.75nmとなっている。また、2GHz以上では、0.08nm近くまで急減し、その後、対数関数的に減少しているのが確認された。また、Q値は、周波数帯域に関係なくほぼ一定であり、その値はおよそ350であることが確認された。

[0045] 次に、搬送波信号の周波数が100MHzおよび2GHzの場合に、探針21bをCPWの断面方向に移動させながら、場のうなりによる高周波磁界の測定を行った。このときの、探針21bの位置と、探針21bの振動振幅値との関係を、図9に示す。図9に示すように、探針21bの振動振幅値が、CPWの信号線およびグラウンド線とカンチレバーとが重なる検出面積 (Detection Area) の減少とともに、減少していることが確認された。このことから、カンチレバーは、高周波磁界だけでなく、高周波電界をも検出していることが示唆される。

[0046] [場のうなり方式での磁界と電界の分離]

図5(a)に示す装置を改良して、場のうなり方式での高周波磁界と高周波電界の分離を試みた。測定対象物1として、図5に示すCPWを使用した。また、磁気力センサ21として、図5(a)と同じNi-Feでコーティングされたカンチレバーを用いた。測定に用いた装置を図10に示す。また、この測定装置の測定原理を、図17(d)に示す。図10の装置は、図5(a)の装置と異なり、スプリッタ26、位相調整器27およびバイパスコンデンサ28により、CPWに搬送波信号を入力するときの電位と、カンチレバーの電位とが等しくなるよう構成されている。これにより、高周波電磁界測定装置10により近い構成になっている。

[0047] 図10に示す装置を用いて、搬送波信号の周波数が2GHzの場合に、探針21bをCPWの断面方向に移動させながら、場のうなりによる高周波磁界の測定を行った。このときの、探針21bの位置と、探針21bの振動振

幅値との関係を、図11に示す（図中の「改良後」；黒丸）。また、比較のため、図5（a）の装置で測定した、図9の2GHzの場合の結果も示す（図中の「改良前」；白丸）。図11に示すように、図10に示す装置の結果では、探針21bの振動振幅値と、CPWの信号線およびグラウンド線とカンチレバーとが重なる検出面積との相関が認められない。このことから、CPWに搬送波信号を入力するときの電位と、カンチレバーの電位とが等しくなるよう構成することにより、高周波電界による影響を抑制することができると考えられる。

[0048] 次に、コーティングされていないカンチレバーを用いて同様の測定を行い、その結果を図12に示す（図中の「Non coated」）。比較のために、図11のNi-Feでコーティングされたカンチレバーの結果も示す（図中の「Ni-Fe」）。図12に示すように、磁性コートされていないカンチレバーでは、探針21bの振動振幅値がほぼ一定であることが確認された。磁性コートされていないカンチレバーは、高周波磁界の影響を受けないと考えられるため、図12に示す結果からも、図10に示す装置により、高周波電界の影響を抑制できているといえる。

[0049] 次に、図10に示す装置を用いて、搬送波信号の周波数が1.1GHzの場合に、探針21bをCPWの断面方向に移動させながら、場のうなりによる高周波磁界の測定を行った。その測定結果から、（1）式を用いて磁界（Hz）×磁界勾配（dHz/dz）を求め、求めた値と探針21bの位置との関係を、図13に示す。なお、磁気力センサ21は、Ni-Feでコーティングされたカンチレバーである。図13に示すように、磁界×磁界勾配の値は、CPWのグラウンド線や信号線とギャップとの境界付近で、極大値や極小値を示すことが確認された。このことから、図10に示す装置により、高周波磁界の勾配を検出できたと考えられる。

[0050] このように、CPWに搬送波信号を入力するときの電位と、カンチレバーの電位とが等しくなるよう構成することにより、高周波磁界を検出することができるといえる。このため、同様の構成を有する高周波電磁界測定装置1

0においても、高周波磁界による影響と高周波電界による影響とを分離して、高周波磁界のみを検出可能であると考えられる。

### 実施例 1

[0051] 高周波電磁界測定装置 10 を用いて、場のうなり方式による高周波磁界の測定を行った。測定対象物 1 として、図 5 に示す CPW を使用した。また、磁気力センサ 21 として、探針 21b の表面および、梁 21a の探針 21b とは反対側の面に Ni-Fe コーティングが施された、MFM のカンチレバーを用いた。電流線 12 のコイルに流す参照波信号の周波数を 1000 MHz、振幅を 12 dBm とし、測定対象物 1 の CPW に流す搬送波信号の周波数を 1000.02797 MHz、振幅を 9、12、15、18、21 dBm とし、場のうなりによる高周波磁界を発生させ、探針 21b の振動振幅および位相の測定を行った。

[0052] これらの測定結果を、搬送波信号がない場合の結果と合わせて、図 14 に示す。図 14 (a) が、搬送波信号がない場合、図 14 (b) ~ (f) が、それぞれ搬送波信号の振幅が 9、12、15、18、21 dBm の場合の測定結果である。また、図 14 (a) ~ (f) の上段のグラフが探針の振動振幅、下段のグラフが位相の測定結果である。また、搬送波信号の振幅に対する探針 21b の振動振幅のピーク値の変化を、図 15 に示す。図 14 に示すように、場のうなり方式により、カンチレバーの共振周波数近傍の 27.7 kHz で、探針 21b の振動振幅が最大となっているのが確認された。また、図 15 に示すように、搬送波信号の振幅を上昇させると、カンチレバーの共振周波数近傍における振動振幅がほぼ線型的に増加することも確認された。

[0053] 次に、参照波信号の振幅を 18 dBm、搬送波信号の振幅を 12 dBm とし、参照波信号および搬送波信号の周波数を変化させて、場のうなり方式による高周波磁界の測定を行った。このときの参照波信号の周波数と探針 21b の振動振幅のピーク値との関係を、図 16 に示す。図 16 に示すように、高周波電磁界測定装置 10 を用いて、場のうなり方式による高周波磁界が測

定できることが確認された。なお、図16では、参照波信号の周波数が1～1.3GHzのとき、探針21bの振動振幅が大きくなっているが、これは測定系の高周波特性に依存するものであり、高周波ケーブルやコネクタ等を改良することにより、その高周波特性を改善することができる。

[0054] このように、高周波電磁界測定装置10により、高周波磁界を検出できることが確認された。また、高周波電磁界測定装置10では、CPWに搬送波信号を入力するときの電位と、カンチレバーの電位とが等しくなるよう構成されているため、高周波電界による影響が抑制されて、高周波磁界のみを検出しているものと考えられる。

### 産業上の利用可能性

[0055] 本発明に係る高周波電磁界測定装置は、高周波磁気力顕微鏡や、高周波電磁ノイズ計測器、スピン素子計測装置として利用可能である。高周波磁気力顕微鏡として利用する場合、測定可能な周波数帯域を少なくとも6～7GHz、最大で10GHzの高周波まで広げることができる。また、高周波電磁ノイズ計測器として利用する場合、1μm以下まで空間分解能を高めることができ、LSIチップ上の電磁ノイズも計測可能である。また、スピン素子計測装置として利用する場合、微小磁性体の挙動を直接観測することができる。

### 符号の説明

- [0056]
- 1 測定対象物
  - 10 高周波電磁界測定装置
  - 11 磁気力顕微鏡
    - 21 磁気力センサ
      - 21a 梁
      - 21b 探針
    - 22 載置台
    - 23 変位測定手段
      - 23a レーザー

- 2 3 b 光位置センサ
- 2 3 c 検出回路
- 2 4 走査手段
- 1 2 電流線
- 1 3 搬送波導入手段
  - 2 5 シグナルジェネレータ
  - 2 6 スプリッタ
  - 2 7 位相調整器
  - 2 8 バイパスコンデンサ
- 1 4 参照波導入手段
  - 2 9 シグナルジェネレータ
- 1 5 コンピュータ
  - 3 0 ロックインアンプ
  - 3 1 周波数ミキサ
  - 3 2、3 3 コントローラ

## 請求の範囲

- [請求項1] 高周波信号を入力された測定対象物が発する高周波磁界を測定するための高周波電磁界測定装置であって、  
磁氣的作用による振動を利用して磁界を検出可能な磁気力センサと、  
、  
前記測定対象物に近接して配置された電流線と、  
前記測定対象物に高周波の搬送波信号を入力する搬送波導入手段と、  
、  
前記電流線に高周波の参照波信号を入力可能であり、入力する前記参照波信号の周波数を変更可能に構成された参照波導入手段とを有し、  
、  
前記搬送波導入手段から前記測定対象物に前記搬送波信号を入力するときの電位と、前記磁気力センサの電位とが等しくなるよう構成されていることを  
特徴とする高周波電磁界測定装置。
- [請求項2] 磁気力顕微鏡を有し、  
前記磁気力センサは、前記磁気力顕微鏡のカンチレバーから成り、  
前記磁気力顕微鏡は、前記測定対象物を載せる載置台と、前記磁気力センサの振動による変位を測定する変位測定手段と、前記測定対象物に対して前記磁気力センサを相対的に走査させる走査手段とを有していることを、  
特徴とする請求項1記載の高周波電磁界測定装置。
- [請求項3] 前記電流線はコイルから成っており、  
前記カンチレバーは絶縁体から成り、先端の探針の表面に磁性体膜が形成されていることを  
特徴とする請求項2記載の高周波電磁界測定装置。
- [請求項4] 前記カンチレバーの前記磁性体膜の磁性材料の磁化を交流消磁可能に、前記電流線に交番磁界を印加するための交流電源と、

前記カンチレバーの前記磁性体膜の磁性材料の磁化を再着磁可能に、前記電流線に直流磁界を発生させるための直流電源とを、有することを特徴とする請求項3記載の高周波電磁界測定装置。

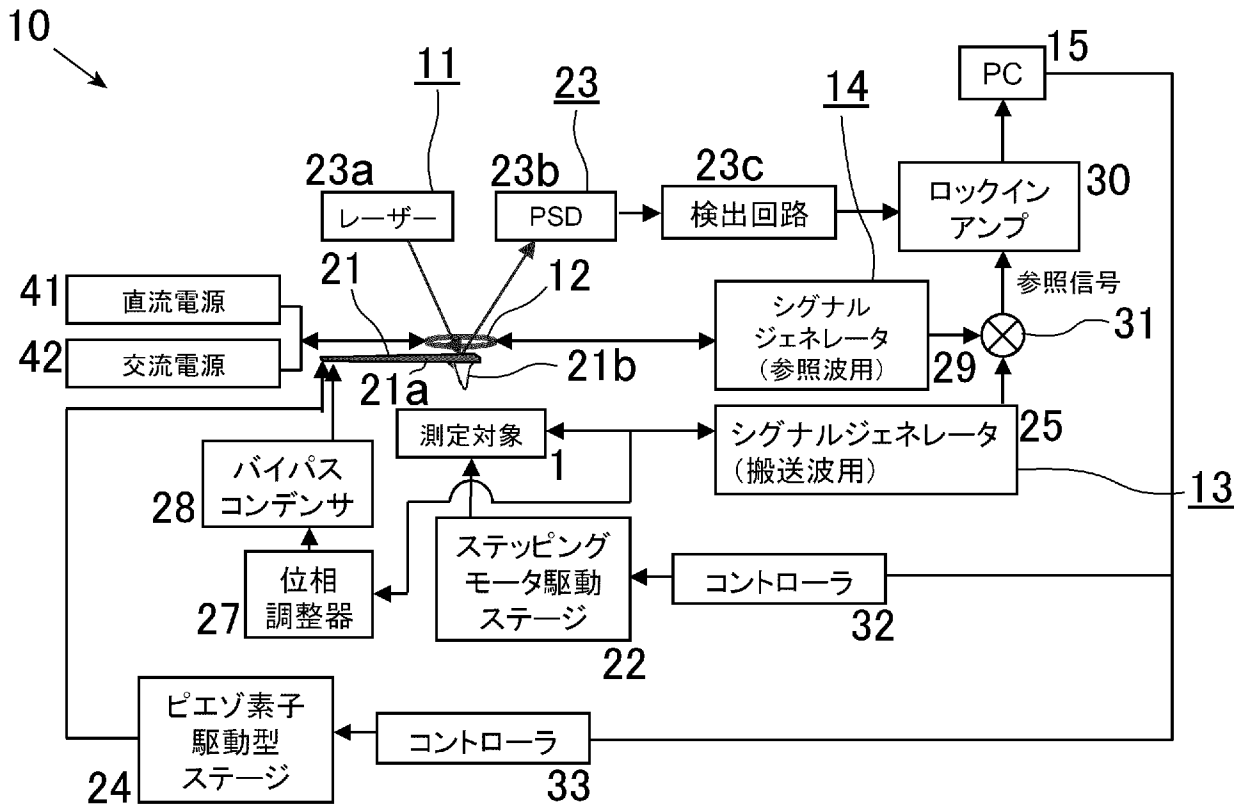
[請求項5] 前記電流線は開放型伝送線路から成っており、前記カンチレバーはシリコン製であることを特徴とする請求項2記載の高周波電磁界測定装置。

[請求項6] 前記参照波導入手段により周波数を変更しながら前記参照波信号を入力したとき、前記変位測定手段により測定された前記磁気力センサの振動による変位から、前記磁気力センサが共振周波数で振動したときの振幅を求めるとともに、そのときの前記参照波導入手段による前記参照波信号の周波数を求め、求められた前記磁気力センサの振幅と前記参照波信号の周波数とに基づいて、前記搬送波信号の入力により前記測定対象物が発する高周波信号の振幅と周波数とを算出する解析手段を有することを特徴とする請求項2乃至5のいずれか1項に記載の高周波電磁界測定装置。

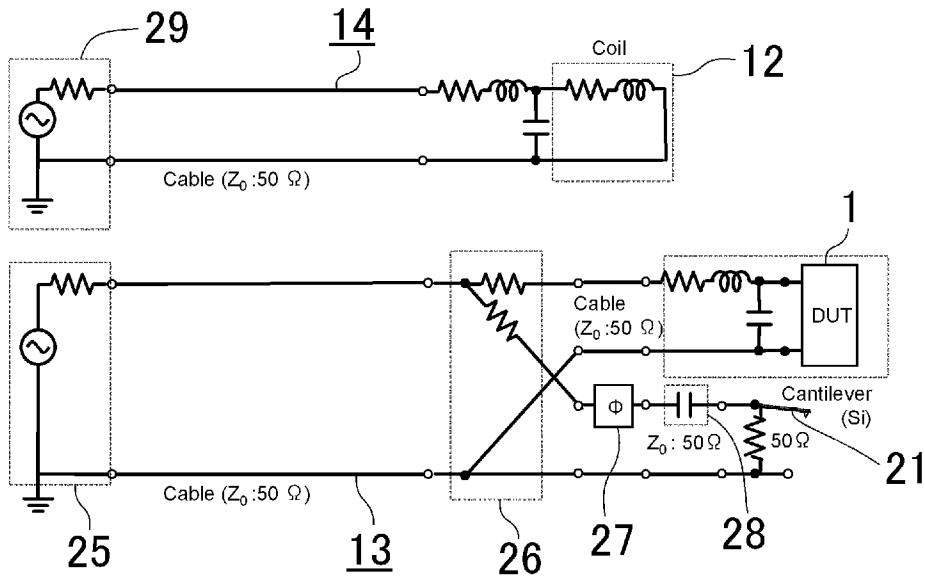
[請求項7] 前記磁気力センサは絶縁体から成ることを特徴とする請求項1記載の高周波電磁界測定装置。



[図1]

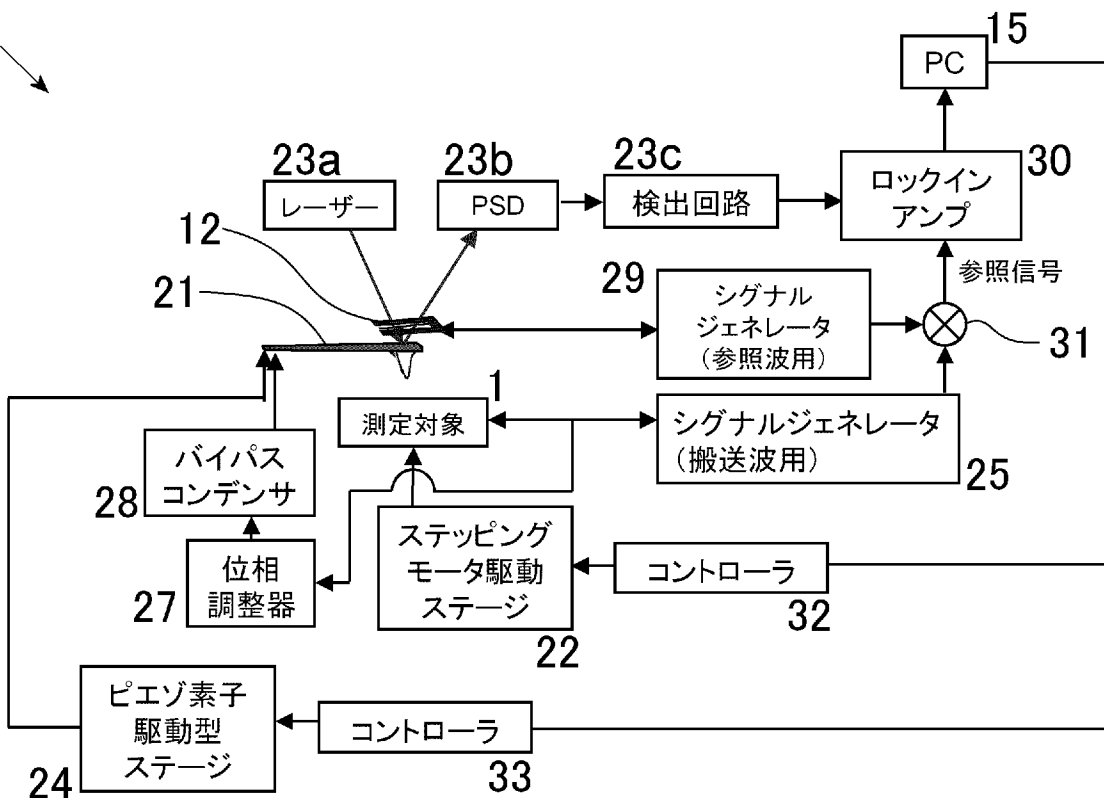


[図2]

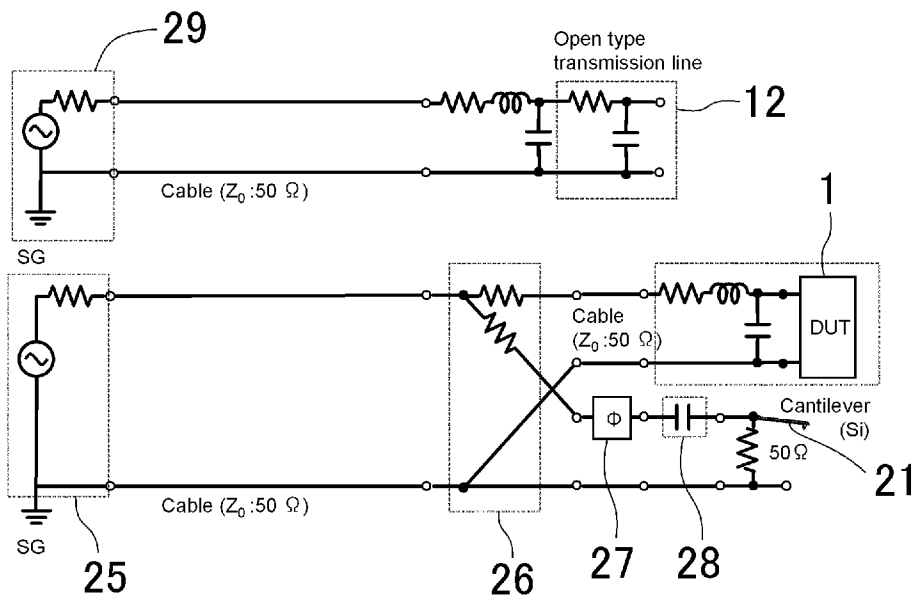


[図3]

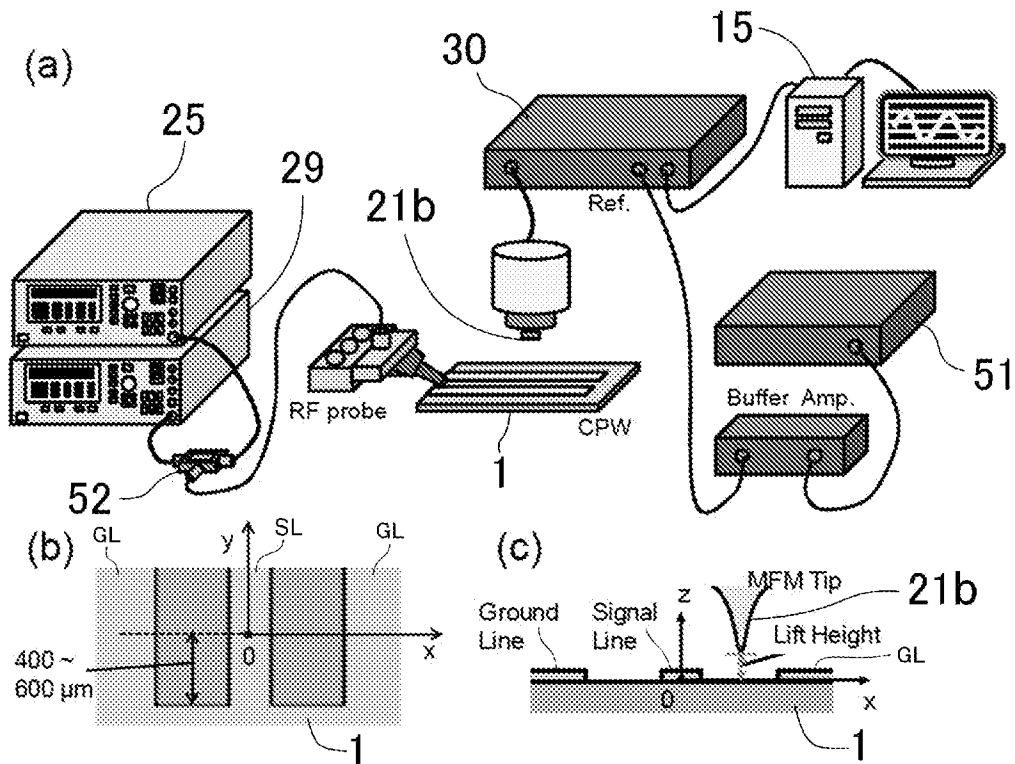
10



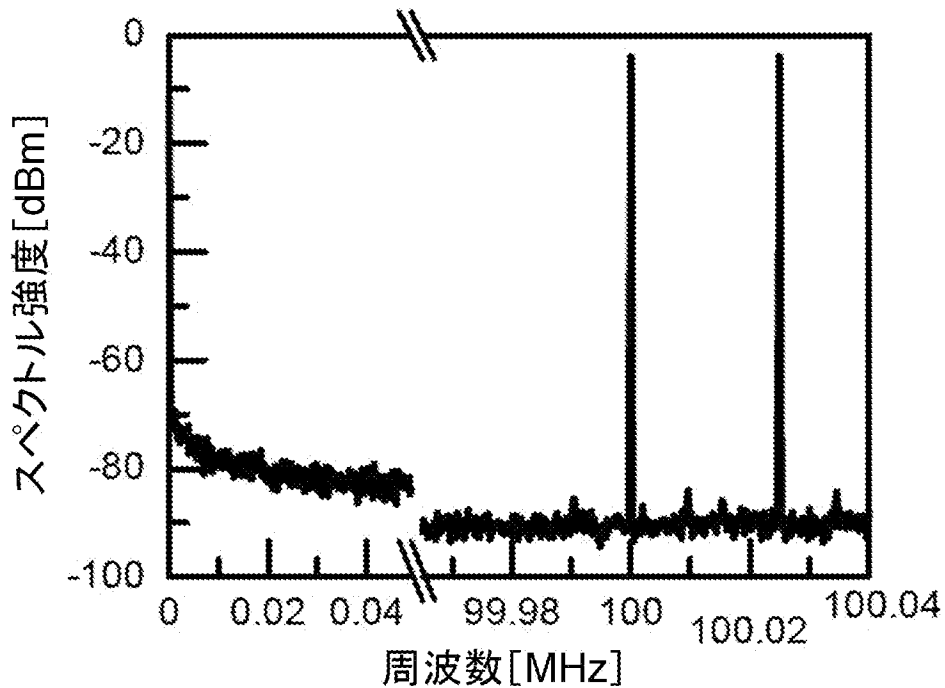
[図4]



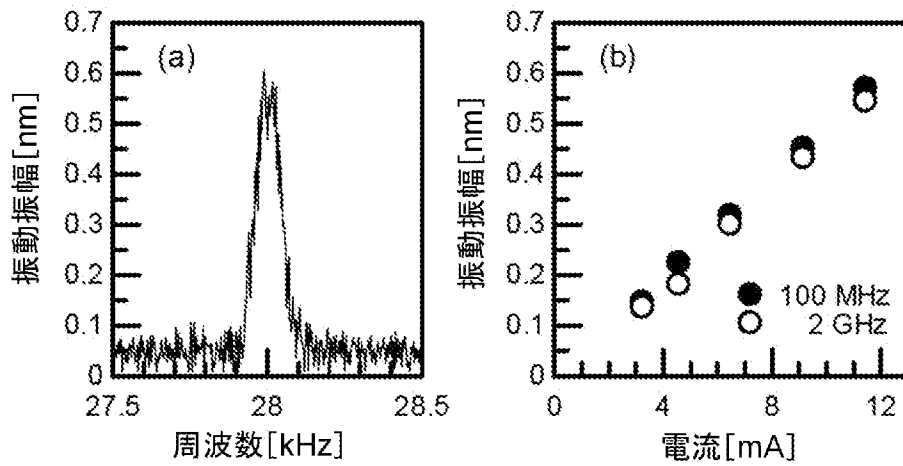
[図5]



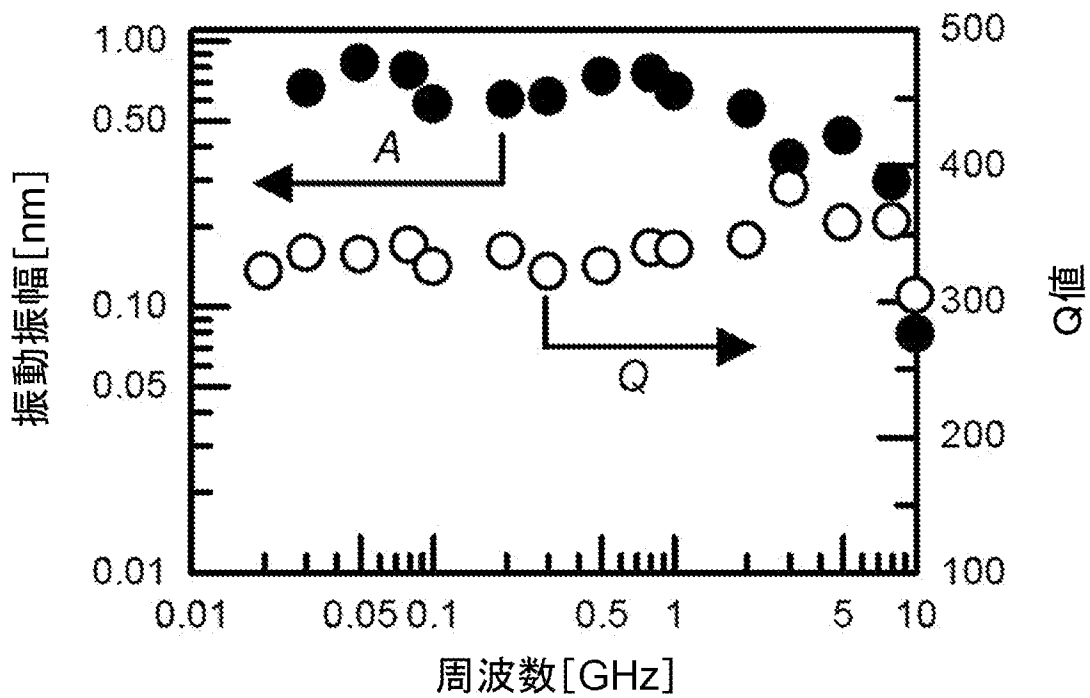
[図6]



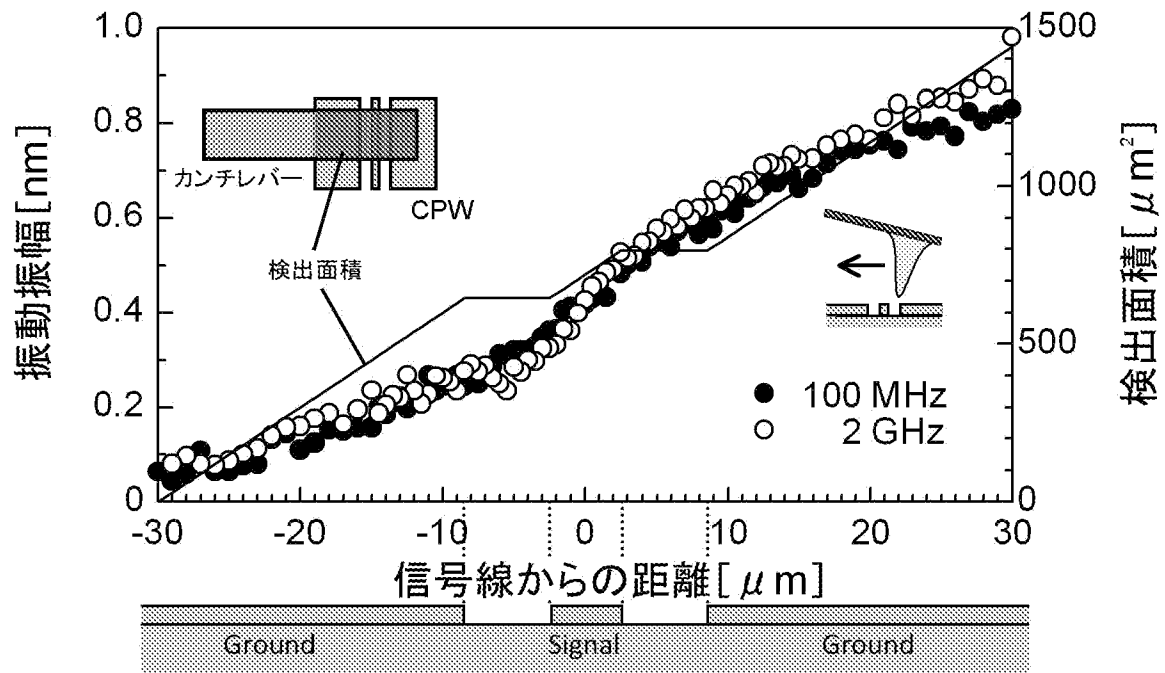
[図7]



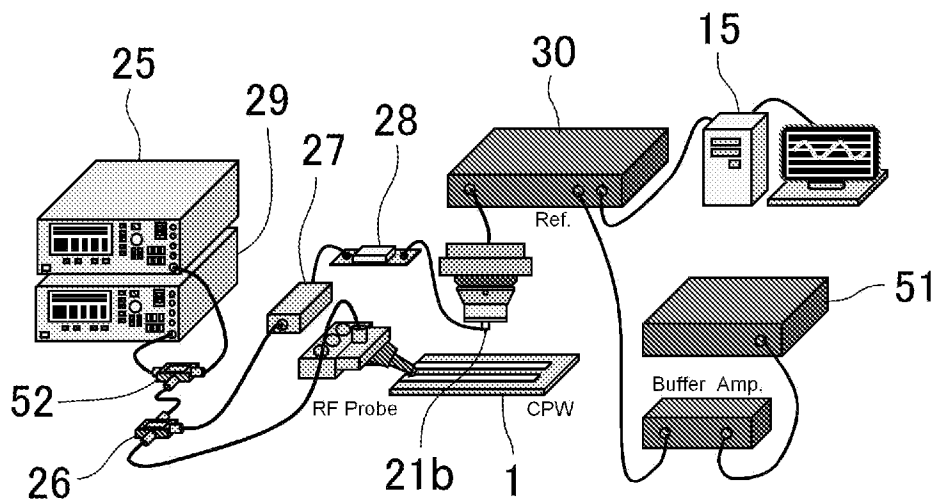
[図8]



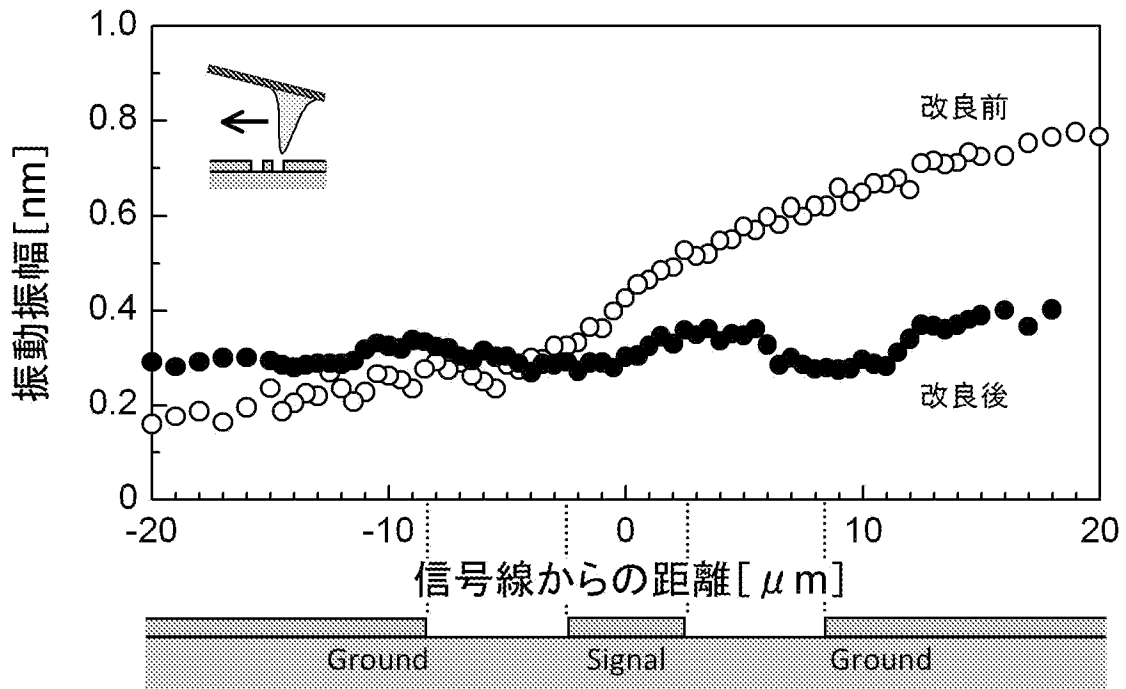
[図9]



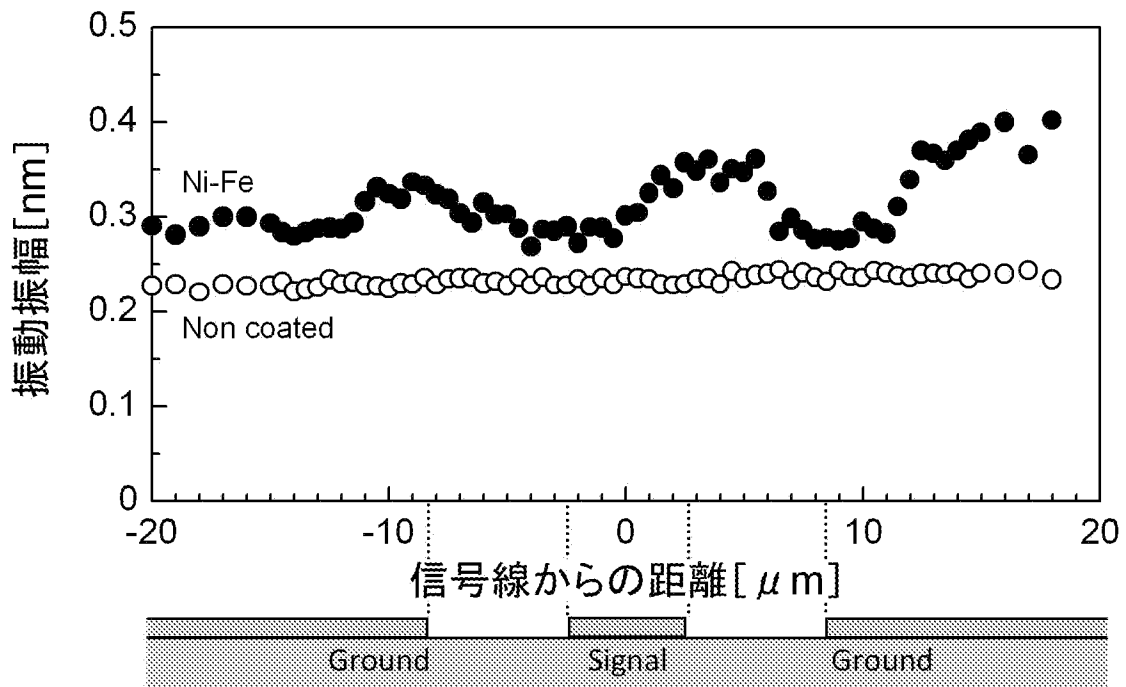
[図10]



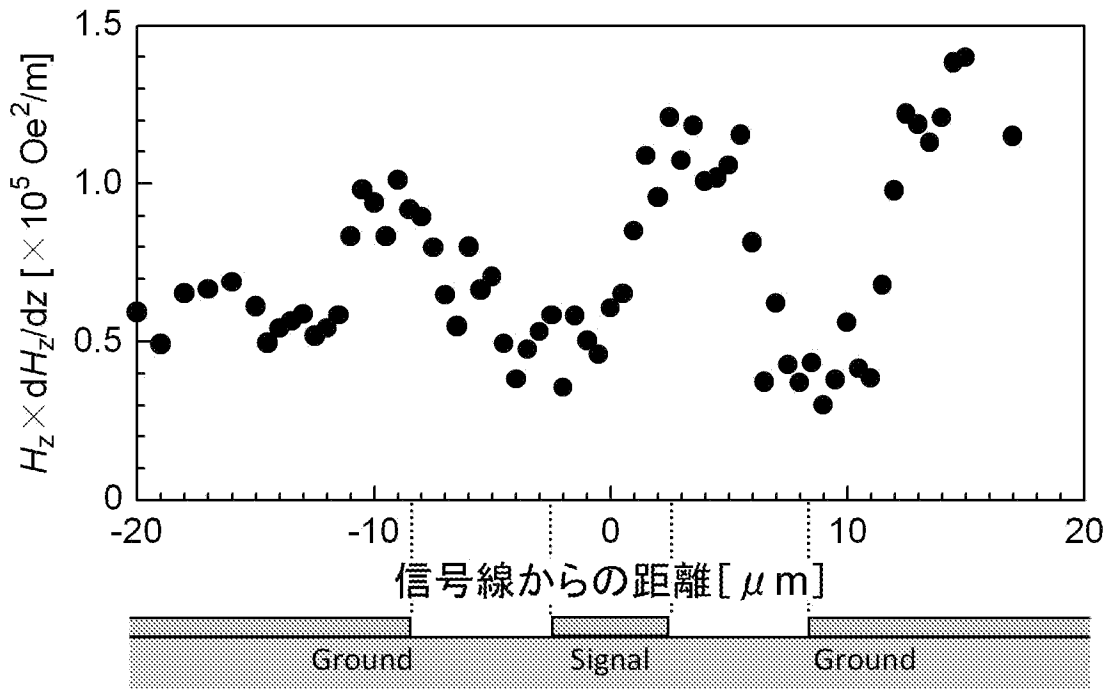
[図11]



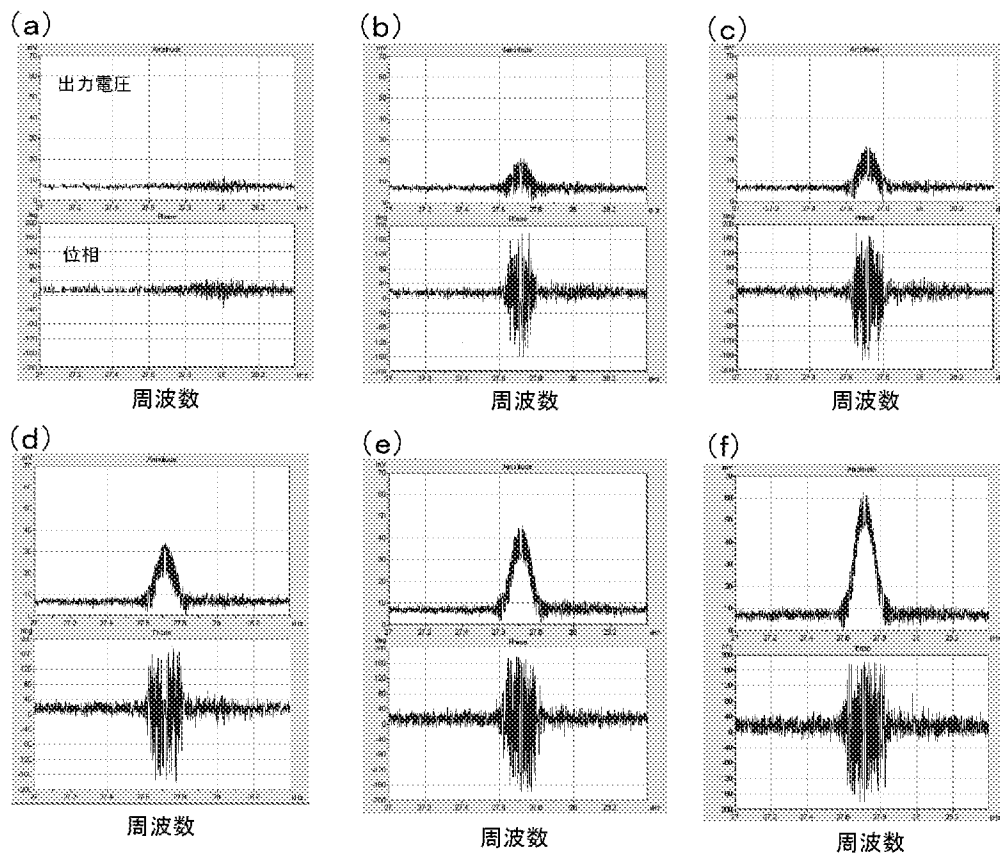
[図12]



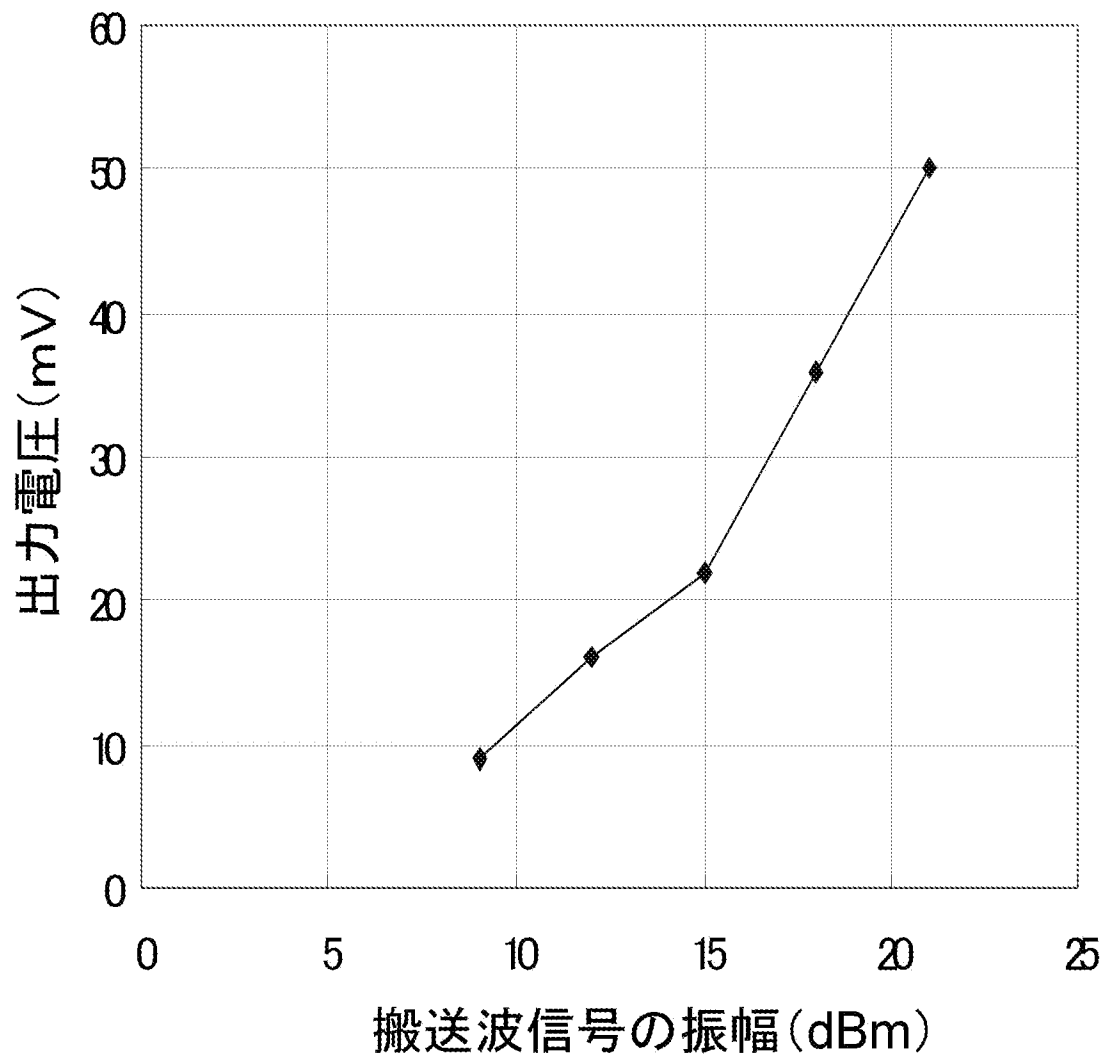
[図13]



[図14]

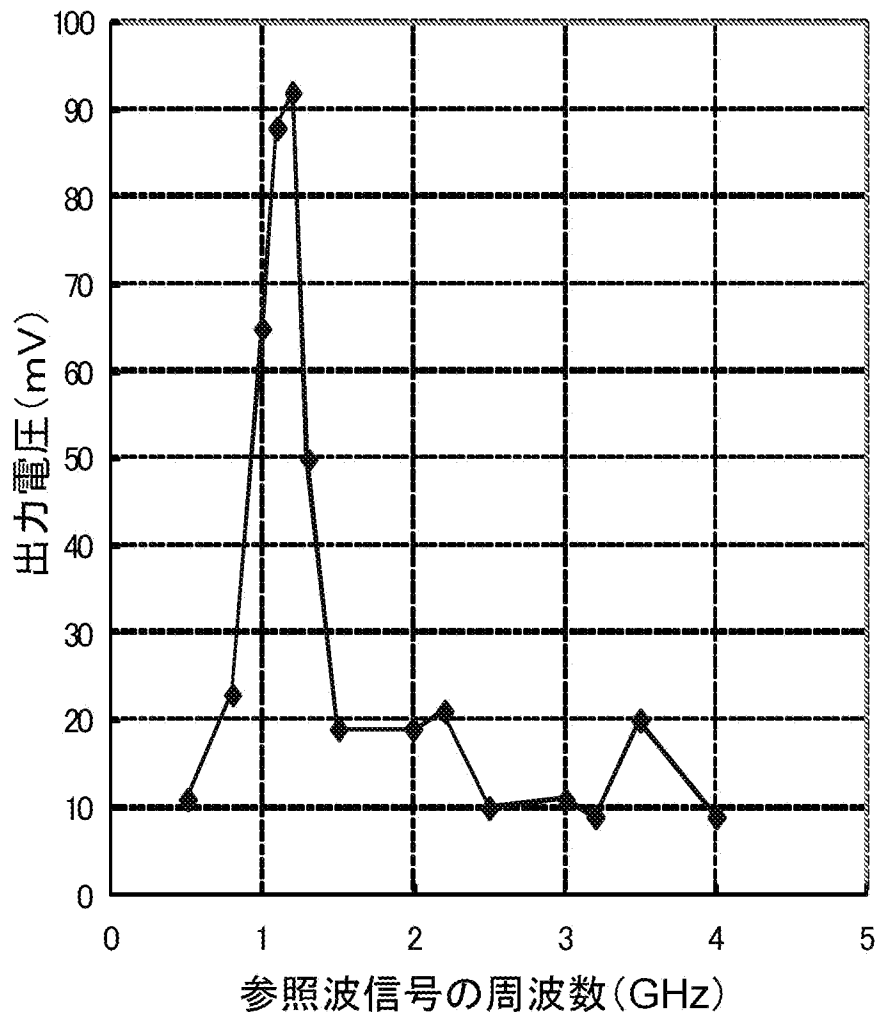


[図15]

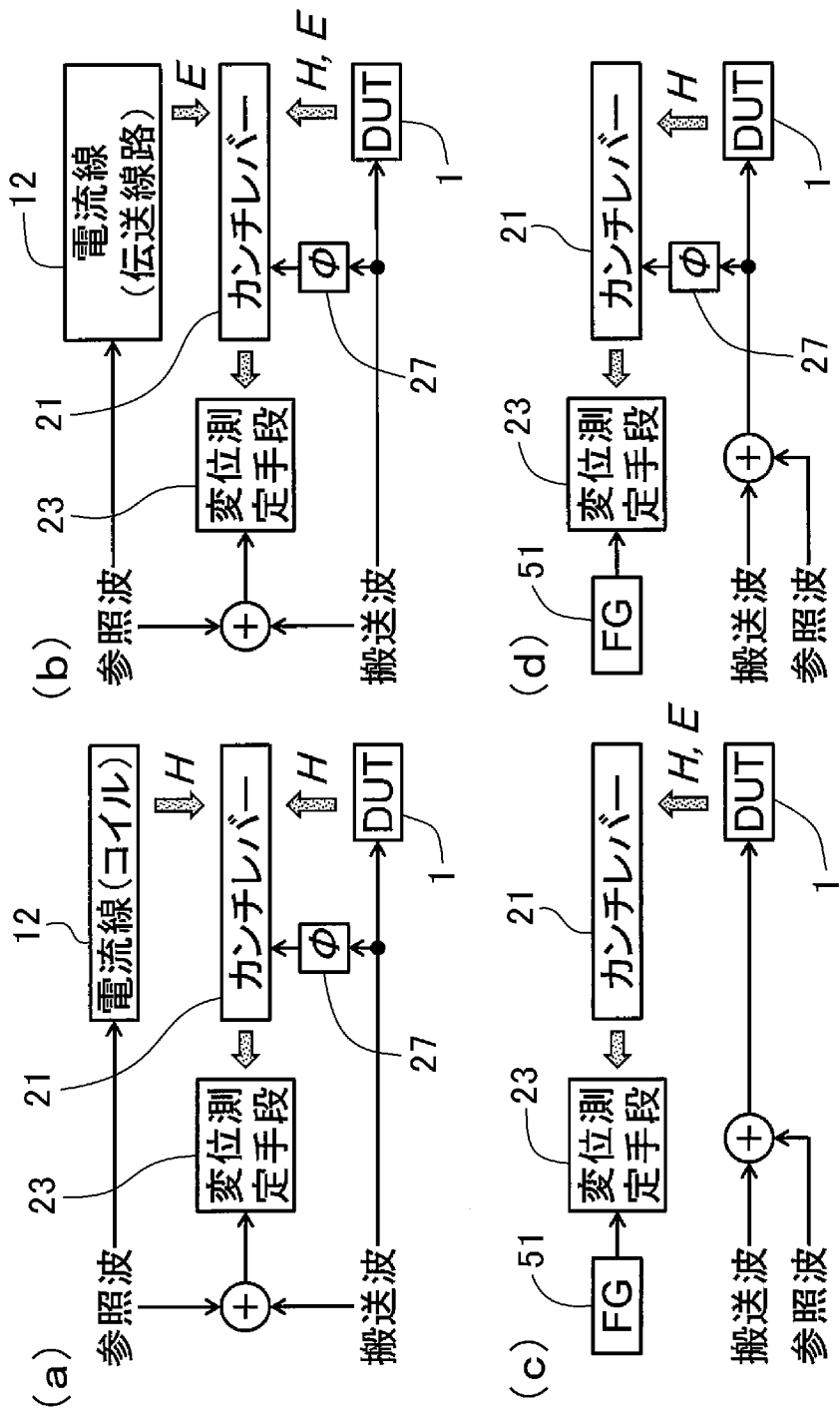




[図16]



[図17]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2013/074059

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G01R29/08(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01R29/08, G01R33/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	Yasushi ENDO et al., "High Frequency Magnetic Near Field Measurement Using MFM", The Institute of Electrical Engineers of Japan Kenkyukai Shiryo, 20 December 2012 (20.12.2012), MAG-12, no.169 to 180, pages 19 to 24	1, 2, 6, 7 3-5
Y A	Y. ENDO et al., Radio Frequency Magnetic Near Field Measurements of Coplanar Waveguide Simulated Power and Ground Lines in Radio Frequency Integrated Circuits Using a MFM Tip, IEEE Transactions on Magnetics, 2012.11, Vol. 48, No. 11, p. 3666-3669	1, 2, 6, 7 3-5

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 27 September, 2013 (27.09.13)	Date of mailing of the international search report 08 October, 2013 (08.10.13)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/074059

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2012/029973 A1 (Akita University), 08 March 2012 (08.03.2012), paragraph [0029]; fig. 1 & US 2013/0174302 A1 & EP 2613160 A & WO 2012/029973 A	3

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01R29/08(2006.01)i										
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01R29/08, G01R33/00										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2013年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2013年	日本国実用新案登録公報	1996-2013年	日本国登録実用新案公報	1994-2013年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2013年									
日本国実用新案登録公報	1996-2013年									
日本国登録実用新案公報	1994-2013年									
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
Y A	遠藤恭、他4名、MFMによる高周波近傍磁界測定、電気学会研究会資料、2012.12.20、MAG-12 No. 169-180、p. 19-24	1, 2, 6, 7 3-5								
Y A	Y. ENDO et al., Radio Frequency Magnetic Near Field Measurements of Coplanar Waveguide Simulated Power and Ground Lines in Radio Frequency Integrated Circuits Using a MFM Tip, IEEE Transactions on Magnetics, 2012.11, Vol. 48, No. 11, p. 3666-3669	1, 2, 6, 7 3-5								
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 27.09.2013	国際調査報告の発送日 08.10.2013									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 荒井 誠 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	2 S   3 2 0 3								

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2012/029973 A1 (国立大学法人秋田大学) 2012. 03. 08, 段落 0029, 図 1 & US 2013/0174302 A1 & EP 2613160 A & WO 2012/029973 A	3