

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02015/115622

発行日 平成29年3月23日 (2017. 3. 23)

(43) 国際公開日 平成27年8月6日 (2015. 8. 6)

| | | |
|-------------------------------|--------------|-------------|
| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
| GO 1 Q 60/50 (2010.01) | GO 1 Q 60/50 | |
| GO 1 Q 60/30 (2010.01) | GO 1 Q 60/30 | |

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 27 頁)

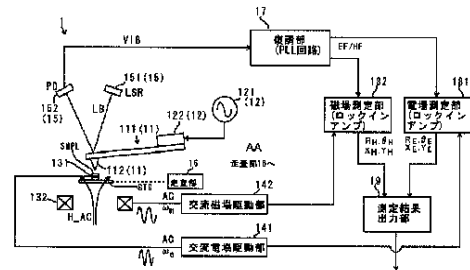
| | |
|---|---|
| 出願番号 特願2015-560054 (P2015-560054) | (71) 出願人 504409543 国立大学法人秋田大学 秋田県秋田市手形学園町 1 番 1 号 |
| (21) 国際出願番号 PCT/JP2015/052766 | (74) 代理人 100129838 弁理士 山本 典輝 |
| (22) 国際出願日 平成27年1月30日 (2015. 1. 30) | (72) 発明者 齊藤 準 秋田県秋田市手形学園町 1 番 1 号 国立大学法人秋田大学内 |
| (31) 優先権主張番号 特願2014-16131 (P2014-16131) | (72) 発明者 吉村 哲 秋田県秋田市手形学園町 1 番 1 号 国立大学法人秋田大学内 |
| (32) 優先日 平成26年1月30日 (2014. 1. 30) | (72) 発明者 木下 幸則 秋田県秋田市手形学園町 1 番 1 号 国立大学法人秋田大学内 |
| (33) 優先権主張国 日本国 (JP) | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気力/磁気力顕微鏡および電場/磁場同時測定方法

(57) 【要約】

ソフト磁性探針 1 1 2 を有する探針部材 1 1 と; 探針部材 1 1 を励振させる探針励振部 1 2 と; 周波数が異なる交流電場と交流磁場とをソフト磁性探針 1 1 2 に印加する交流電場印加部 1 3 1 及び交流磁場印加部 1 3 2 と; 交流電場印加部 1 3 1 及び交流磁場印加部 1 3 2 を駆動する交流電場駆動部 1 4 1 及び交流磁場駆動部 1 4 2 と; 探針部材 1 1 の振動を検出し、振動検出信号 V I B を生成する探針振動検出部 1 5 と; ソフト磁性探針 1 1 2 により試料 S M P L を走査する探針走査部 1 6 と; 振動検出信号 V I B を取得し、試料 S M P L とソフト磁性探針 1 1 2 との間に生じた交流電気力および交流磁気力を復調する復調部 1 7 と; 復調された交流電気力を用いて、試料 S M P L から生じる電場を測定する電場測定部 1 8 1 と; 復調された交流磁気力を用いて、試料 S M P L から生じる磁場を測定する磁場測定部 1 8 2 と、を備える電気力/磁気力顕微鏡 1。



- 16 Scanning unit
- 17 Demodulation unit (PLL circuit)
- 19 Measurement result output unit
- 141 Alternating electric field driving unit
- 142 Alternating magnetic field driving unit
- 181 Electric field measurement unit (lock-in amplifier)
- 182 Magnetic field measurement unit (lock-in amplifier)
- AA To scanning unit (16)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

励振している探針部材の先端に設けた導電性のソフト磁性探針に周波数が異なる交流電場と交流磁場とを印加し、前記ソフト磁性探針により試料を走査し、前記探針部材の振動を検出することで、前記試料から発生する電場と磁場とを同時に測定する電気力/磁気力顕微鏡であって、

前記探針部材と、

前記探針部材を励振させる探針励振部と、

前記交流電場を発生し当該交流電場を前記ソフト磁性探針に印加する交流電場印加部と

10

、
前記交流磁場を発生し当該交流磁場を前記ソフト磁性探針に印加する交流磁場印加部と

、
前記交流電場印加部を駆動する交流電場駆動部と、

前記交流磁場印加部を駆動する交流磁場駆動部と、

前記探針部材の振動を検出し、振動検出信号を生成する探針振動検出部と、

前記ソフト磁性探針により前記試料を走査するために、前記探針部材を空間駆動する探針走査部と、

前記振動検出信号を取得し、前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた交流電気力および交流磁気力を復調する復調部と、

前記復調部により復調された前記交流電気力を用いて、前記試料から発生する前記電場を測定する電場測定部と、

20

前記復調部により復調された前記交流磁気力を用いて、前記試料から発生する前記磁場を測定する磁場測定部と、

を備えたことを特徴とする電気力/磁気力顕微鏡。

【請求項 2】

試料から発生する時間変化しない直流電場と直流磁場とを同時に測定するための請求項 1 に記載の電気力/磁気力顕微鏡であって、

前記電場測定部は、

前記試料と前記導電性のソフト磁性探針との間に生じた前記交流電気力を測定する交流電気力測定部と、

30

前記交流電気力測定部により測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加部が印加する交流電場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流電場を測定する直流電場測定部と、

を備え、

前記磁場測定部は、

前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流磁気力を測定する交流磁気力測定部と、

前記交流磁気力測定部により測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加部が印加する交流磁場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流磁場を測定する直流磁場測定部と、

40

を備えたことを特徴とする電気力/磁気力顕微鏡。

【請求項 3】

試料から発生する周期的に時間変化する交流電場と交流磁場とを同時に測定するための請求項 1 に記載の電気力/磁気力顕微鏡であって、

前記電場測定部は、

前記試料と前記導電性のソフト磁性探針との間に生じた前記交流電気力を測定する交流電気力測定部と、

前記交流電気力測定部により測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加部が印加する交流電場の周波数の 2 倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流電場を測定する交流電場測定部と、

50

を備え、

前記磁場測定部は、

前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた交流磁気力を測定する交流磁気力測定部と、

前記交流磁気力測定部により測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加部が印加する交流磁場の周波数の2倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流磁場を測定する交流磁場測定部と、
を備えたことを特徴とする電気力/磁気力顕微鏡。

【請求項4】

試料から発生する時間変化しない直流電場と直流磁場、および前記試料から発生する周期的に時間変化する交流電場と交流磁場を同時に測定するための請求項1に記載の電気力/磁気力顕微鏡であって、

10

前記電場測定部は、

前記試料と前記導電性のソフト磁性探針との間に生じた前記交流電気力を測定する交流電気力測定部と、

前記交流電気力測定部により測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加部が印加する交流電場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流電場を測定する直流電場測定部と、

前記交流電気力測定部により測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加部が印加する交流電場の周波数の2倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流電場を測定する交流電場測定部と、

20

を備え、

前記磁場測定部は、

前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流磁気力を測定する交流磁気力測定部と、

前記交流磁気力測定部により測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加部が印加する交流磁場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流磁場を測定する直流磁場測定部と、

前記交流磁気力測定部により測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加部が印加する交流磁場の周波数の2倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流磁場を測定する交流磁場測定部と、

30

を備えたことを特徴とする電気力/磁気力顕微鏡。

【請求項5】

前記交流電場印加部が前記試料に印加する前記交流電場の周波数 f_e と、前記交流磁場印加部が前記試料に印加する前記交流磁場の周波数 f_m とが、1以上のいかなる整数 n についても $f_e = n \cdot f_m$ かつ $f_m = n \cdot f_e$ をみたす、請求項1～4のいずれかに記載の電気力/磁気力顕微鏡。

【請求項6】

励振している探針部材の先端に設けた導電性のソフト磁性探針に、周波数が異なる交流電場と交流磁場とを印加し、前記ソフト磁性探針により試料を走査し、前記ソフト磁性探針の振動を検出することで、前記試料から発生する電場と磁場を同時に測定する電場/磁場同時測定方法であって、

40

探針励振部により、前記探針部材を励振させる探針励振ステップと、

交流電場印加部により、前記交流電場を発生し、当該交流電場を前記ソフト磁性探針に印加するとともに、交流磁場印加部により、前記交流磁場を発生し、当該交流磁場を前記ソフト磁性探針に印加する交流電場/交流磁場印加ステップと、

探針振動検出部により、前記探針部材の振動を検出し振動検出信号を生成する探針振動検出ステップと、

探針走査部により、前記探針部材を空間駆動し、前記ソフト磁性探針により前記試料を走査する探針走査ステップと、

50

復調部により、前記振動検出信号を用いて前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた交流電気力および交流磁気力を復調する復調ステップと、

電場測定部により、前記復調ステップにおいて復調された前記交流電気力を用いて、前記試料から発生する前記電場を測定する電場測定ステップと、

磁場測定部により、前記復調ステップにおいて復調された前記交流磁気力を用いて、前記試料から発生する前記磁場を測定する磁場測定ステップと、

を有することを特徴とする電場 / 磁場同時測定方法。

【請求項 7】

試料から発生する時間変化しない直流電場と直流磁場とを同時に測定するための請求項 6 に記載の電場 / 磁場同時測定方法であって、

10

前記電場測定ステップは、

交流電気力測定部により、前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流電気力を測定する交流電気力測定ステップと、

直流電場測定部により、前記交流電気力測定ステップにおいて測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流電場を測定する直流電場測定ステップを有し、かつ、

前記磁場測定ステップは、

交流磁気力測定部により、前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流磁気力を測定する交流磁気力測定ステップと、

20

直流磁場測定部により、前記交流磁気力測定ステップにおいて測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流磁場を測定する直流磁場測定ステップと、

を有する、

ことを特徴とする電場 / 磁場同時測定方法。

【請求項 8】

試料から発生する周期的に時間変化する交流電場と交流磁場とを同時に測定するための請求項 6 に記載の電場 / 磁場同時測定方法であって、

30

前記電場測定ステップは、

交流電気力測定部により、前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流電気力を測定する交流電気力測定ステップと、

交流電場測定部により、前記交流電気力測定ステップにおいて測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数の 2 倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流電場を測定する交流電場測定ステップと、

を含み、かつ、

前記磁場測定ステップは、

交流磁気力測定部により、前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流磁気力を測定する交流磁気力測定ステップと、

40

交流磁場測定部により、前記交流磁気力測定ステップにおいて測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数の 2 倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流磁場を測定する交流磁場測定ステップと、

を含むことを特徴とする電場 / 磁場同時測定方法。

【請求項 9】

試料から発生する、時間変化しない直流電場と直流磁場および周期的に時間変化する交流電場と交流磁場を同時に測定するための請求項 6 に記載の電場 / 磁場同時測定方法であって、

前記電場測定ステップは、

50

交流電気力測定部により、前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流電気力を測定する交流電気力測定ステップと、

直流電場測定部により、前記交流電気力測定ステップにおいて測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流電場を測定する直流電場測定ステップと、

交流電場測定部により、前記交流電気力測定ステップにおいて測定した前記交流電気力から、前記交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数の2倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流電場を測定する交流電場測定ステップと、を含み、かつ、

10

前記磁場測定ステップは、

交流磁気力測定部により、前記試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた前記交流磁気力を測定する交流磁気力測定ステップと、

直流磁場測定部により、前記交流磁気力測定ステップにおいて測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する時間変化しない前記直流磁場を測定する直流磁場測定ステップと、

交流磁場測定部により、前記交流磁気力測定ステップにおいて測定した前記交流磁気力から、前記交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数の2倍以上の周波数成分を抽出することにより、前記試料から発生する周期的に時間変化する前記交流磁場を測定する交流磁場測定ステップと、

20

を含むことを特徴とする電場/磁場同時測定方法。

【請求項10】

前記交流電場印加部が前記試料に印加する前記交流電場の周波数 f_e と、前記交流磁場印加部が前記試料に印加する前記交流磁場の周波数 f_m とが、1以上のいかなる整数 n についても $f_m = n \cdot f_e$ かつ $f_e = n \cdot f_m$ をみたす、請求項6～9のいずれかに記載の電場/磁場同時測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、試料から発生する電場と磁場とを同時に測定することができる、電気力/磁気力顕微鏡および電場/磁場同時測定方法に関する。

本発明では、周波数が異なる交流電場と交流磁場とを、励振している導電性のソフト磁性探針に印加し、前記ソフト磁性探針の振動を検出することで、前記試料から発生する電場と磁場とが同時に測定される。

【背景技術】

【0002】

試料の直流磁場を測定する技術として、図1(A)に示す磁気力顕微鏡(MFM8)が知られている(特許文献1:W02013/047537参照)。

このMFM8では、先端に探針チップ811が設けられた探針部材81(カンチレバー)が励振される。そして、バネ振動している探針チップ811により、試料82の表面を走査し、前記探針チップ811の振動を検出することで、試料82の表面の磁場を測定することができる。

40

【0003】

試料82の下方には交流磁場発生用のコイル84が設けられており、探針チップ811には、試料82が生成する直流磁場 H_{DC_SAMPL} と、コイル84が生成する交流磁場 H_{AC} との重畳磁場が印加される。

レーザ(LASER)831とフォトダイオード(PD)832とからなる振動検出器により、探針部材81の振動(みかけ上のバネ定数が変化することによって生じた振動変調)が検出され、図示しない直流磁場測定部により試料82の表面の直流磁場が測定され

50

る。

なお、探針チップ 8 1 1 は、錐形の Si にソフト磁性体（例えば Fe - Co、Fe - Co - B、パーマロイ（Ni - Fe）、Co - Zr - Nb 等。）の薄膜を形成することで作製される。

【 0 0 0 4 】

図 1 (A) に示した従来の磁気力顕微鏡 (M F M 8) の動作原理を説明する。

直流磁場勾配 (H_{DC_SAMPL} / z) の計測は、試料 8 2 上の、探針チップ 8 1 1 に空間的に一様な交流磁場を印加して、探針チップ 8 1 1 の磁気モーメントを周期的に変化させることで可能となる。

図 1 (B) に、探針チップ 8 1 1 に使用されるソフト磁性体の M - H 特性の一例を示す。

図 1 (B) では交流磁場の印加による磁化 M の時間変化を併せて示してある。

探針チップ 8 1 1 に、交流磁場により探針の共振周波数と異なる、非共振の交番磁気力が与えられたときのカンチレバー (探針部材 8 1) の運動方程式は、式 (1) で表される。

【 0 0 0 5 】

【 数 1 】

$$m \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + m\gamma \frac{dz(t)}{dt} + (k_0 + \Delta k \cos(\omega_m t)) z(t) = F_0 \cos(\omega_0 t) \quad (1) \quad 20$$

$z(t)$: ソフト磁性探針 (探針チップ 8 1 1) の変位の時間変化 (ここで、 z 方向は、試料面に垂直な方向にとり、探針の振動方向とする)

ω_0 : 加振角周波数

ω_m : 交流磁気力の角周波数

m : ソフト磁性探針 (探針チップ 8 1 1) の等価質量
: 減衰係数

k_0 : カンチレバー (探針部材 8 1) 固有のバネ定数

k : カンチレバー (探針部材 8 1) のバネ定数のみかけ上の周期的変化の振幅

$k < k_0$ であるので、式 (1) の解は式 (2) で与えられる。

30

【 0 0 0 6 】

【 数 2 】

$$z(t) \cong \frac{F_0}{m\gamma\omega_0} \sin\left(\omega_0 t + \frac{\Delta k}{m\gamma\omega_0} \cos(\omega_m t)\right) \\ \cong \frac{F_0}{m\gamma\omega_0} \left(\sin(\omega_0 t) + \frac{\Delta k}{2m\gamma\omega_0} (\cos((\omega_0 + \omega_m)t) + \cos((\omega_0 - \omega_m)t)) \right) \quad (2) \quad 40$$

【 0 0 0 7 】

非共振の交流磁場をソフト磁性探針 (探針チップ 8 1 1) に印加することにより、探針部材 8 1 のバネ定数は、式 (3) のように周期的に時間変化する項を含む。

$$k(t) = \{ q_{tip}^{dc} + q_{tip}^{ac} \cos(\omega_m t) \} \\ \cdot [(H_{DC_SAMPL} / z) \\ + (H_{AC} / z) \cos(\omega_m t)] \quad (3)$$

H_{DC_SAMPL} : 試料から発生する直流磁場

H_{AC} : ソフト磁性探針 (探針チップ 8 1 1) に印加する交流磁場の振幅

q_{tip}^{ac} : 振幅が H_{AC} の交流磁場により探針チップ 8 1 1 に生じた交流磁荷 (以下

50

、「交流磁極」と言う)の振幅

q_{tip}^{dc} : 直流電場 E_{DC_SMPL} により探針チップ 811 に生じた直流の磁荷(以下、「磁極」と言う)

【0008】

外部から印加する交流磁場 H_{AC} が空間的に一様な場合、

$$|H_{AC}/z| = 1$$

となり、 $k(t)$ は、式(4)で表される。

$$k(t) = q_{tip}^{ac} (H_{DC_SMPL}/z) \cos(\omega_m t) \quad (4)$$

q_{tip}^{ac} の値は、 H_{AC} の値を一定にすることで一定となるので、 $k(t)$ の $\cos(\omega_m t)$ で時間変化する成分を検出することで、試料 82 の表面の直流磁場の勾配を知ることができる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】W02013/047537A1

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

ところで、磁場の発生源である電流や磁気モーメントと、電場の発生源である電荷や電気分極とが共存する、磁場と同時に電場を発生する試料においては、試料の物性や特性測定といった観点から、試料から発生する直流磁場の測定だけでなく、直流電場と直流磁場の同時測定が必要な場合が生じる。

20

従来、このような要請(電場と磁場の同時測定)に応える技術は提供されていない。

【0011】

本発明の目的は、試料から発生する電場と磁場とを同時に測定することができる電気力/磁気力顕微鏡および電場/磁場同時測定方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明では、周波数が異なる交流電場と交流磁場とを、励振しているソフト磁性探針に印加し、ソフト磁性探針の振動を検出する。これにより、試料から発生する電場と磁場とが同時に測定される。

30

【0013】

本発明の構成を、図面を参照しつつ説明する。

〔1〕

図2は、本発明の電気力/磁気力顕微鏡の基本的な実施形態を示す全体図である。

図2において、電気力/磁気力顕微鏡1は、探針部材11と、探針励振部12、交流電場印加部131と、交流磁場印加部132と、交流電場駆動部141と、交流磁場駆動部142と、探針振動検出部15と、探針走査部16と、復調部(信号抽出部)17と、電場測定部181と、磁場測定部182とを備えている。

探針部材11は、その先端に設けられたソフト磁性探針112を有する。ソフト磁性探針112は、たとえば、表面に導電性のソフト磁性体薄膜が形成された錐形の探針チップからなる。

40

探針励振部12は、探針部材11を励振させることができる。

交流電場印加部131は、交流電場(角周波数 ω_e 、振幅 E_{AC})を発生し当該交流電場をソフト磁性探針112に印加し、交流磁場印加部132は、交流磁場(角周波数 ω_m 、振幅 H_{AC})を発生し当該交流磁場をソフト磁性探針112に印加する。

交流電場駆動部141は、交流電場印加部131を駆動し、交流磁場駆動部142は、交流磁場印加部を駆動する。

探針振動検出部15は、探針部材11の振動を検出し、振動検出信号VIBを生成する。

50

探針走査部 16 は、ソフト磁性探針 112 により試料 S M P L を走査するために、探針部材 11 を空間駆動する。

復調部 17 は、振動検出信号 V I B を取得し、試料と前記ソフト磁性探針との間に生じた交流電気力に係る信号および交流磁気力に係る信号を復調する（図 2 では、これらの信号を E F / H F で示す）。

電場測定部 181 は、復調部 17 により復調された交流電気力を用いて、試料 S M P L から発生する電場 E_{SMPL} ($E_{DC_{SMPL}}$ および / または $E_{AC_{SMPL}}$) を測定し、磁場測定部 182 は、復調部 17 により復調された交流磁気力を用いて、試料 S M P L から発生する磁場 H_{SMPL} ($H_{DC_{SMPL}}$ および / または $H_{AC_{SMPL}}$) を測定する。

測定結果は、たとえば測定結果出力部 19 により画像出力することができる。

10

【 0014】

{ 2 }

図 3 は、本発明の電気力 / 磁気力顕微鏡の一の実施形態を示す全体図である。

本実施形態の電気力 / 磁気力顕微鏡 1 は、試料 S M P L から発生する時間変化しない直流電場と直流磁場とを同時に測定するために好適である。

本実施形態では、電場測定部 181' は、交流電気力測定部 1811 と、直流電場測定部 1812 とを備えている。

交流電気力測定部 1811 は、試料 S M P L とソフト磁性探針 112 との間に生じた交流電気力を測定する。直流電場測定部 1812 は、交流電気力測定部 1811 により測定した交流電気力から、交流電場印加部 131 が印加する交流電場の周波数に等しい周波数成分（図 3 では角周波数 ω ）を抽出することにより、時間変化しない直流電場 $E_{DC_{SMPL}}$ （具体的には、試料 S M P L から発生する直流電場：電場振幅 $R_{E_{DC}}$ と位相 $\theta_{E_{DC}}$ との組、または同相信号 $X_{E_{DC}}$ と直交信号 $Y_{E_{DC}}$ との組）を測定することができる。

20

ここで、 $(R_{E_{DC}}, \theta_{E_{DC}})$ と $(X_{E_{DC}}, Y_{E_{DC}})$ との間には、式 (5) の関係が成り立つ。

$$R_{E_{DC}} \exp(i \theta_{E_{DC}}) = X_{E_{DC}} + i Y_{E_{DC}} \quad (5)$$

ここで i は虚数単位である。

【 0015】

本実施形態では、磁場測定部 182' は、交流磁気力測定部 1821 と、直流磁場測定部 1822 とを備えている。

30

交流磁気力測定部 1821 は、試料 S M P L とソフト磁性探針 112 との間に生じた交流磁気力を測定する。直流磁場測定部 1822 は、交流磁気力測定部 1821 により測定した交流磁気力から、交流磁場印加部 132 が印加する交流磁場の周波数に等しい周波数成分（図 3 では角周波数 ω_m ）を抽出することにより、時間変化しない直流磁場 $H_{DC_{SMPL}}$ （具体的には、試料 S M P L から発生する直流磁場：磁場振幅 $R_{H_{DC}}$ と位相 $\theta_{H_{DC}}$ との組、または同相信号 $X_{H_{DC}}$ と直交信号 $Y_{H_{DC}}$ との組）を測定することができる。

ここで、 $(R_{H_{DC}}, \theta_{H_{DC}})$ と $(X_{H_{DC}}, Y_{H_{DC}})$ との間には、式 (6) の関係が成り立つ。

$$R_{H_{DC}} \exp(i \theta_{H_{DC}}) = X_{H_{DC}} + i Y_{H_{DC}} \quad (6)$$

【 0016】

40

{ 3 }

図 4 は、本発明の電気力 / 磁気力顕微鏡の他の一の実施形態を示す全体図である。

上述した { 2 } の態様では、直流電場測定部 1812 および直流磁場測定部 1822 は、試料 S M P L から発生する時間変化しない直流電場および直流磁場を測定している。

【 0017】

本実施形態の電気力 / 磁気力顕微鏡 1 では、試料 S M P L から発生する周期的に時間変化する交流電場と交流磁場とを同時に測定することができる。

図 4 の構成要素は、電場測定部 181'' および磁場測定部 182'' 以外は図 3 に記載の構成要素と概略同じである。

図 3 では、電場測定部 181' は交流電気力測定部 1811 と直流電場測定部 1812

50

とを有しているのに対し、本実施形態では図4に示すように、電場測定部181''は交流電気力測定部1811と交流電場測定部1813とを有している。

また、図3では、磁場測定部182'は交流磁気力測定部1821と直流磁場測定部1822とを有しているのに対し、本実施形態では図4に示すように、磁場測定部182''は交流磁気力測定部1821と交流磁場測定部1823とを有している。

【0018】

図4において、交流電場測定部1813および交流磁場測定部1823は、試料SMP Lから発生する周期的に時間変化する交流電場 E_{AC} (具体的には、電場振幅 $R_{E_{AC}}$ と位相 $\theta_{E_{AC}}$ との組、または同相信号 $X_{E_{AC}}$ と直交信号 $Y_{E_{AC}}$ との組)および交流磁場 H_{AC} (具体的には、磁場振幅 $R_{H_{AC}}$ と位相 $\theta_{H_{AC}}$ との組、または同相信号 $X_{H_{AC}}$ と直交信号 $Y_{H_{AC}}$ との組)を測定することができる。

ここで、 $(R_{E_{AC}}, \theta_{E_{AC}})$ と $(X_{E_{AC}}, Y_{E_{AC}})$ との間には

$$R_{E_{AC}} e^{j\theta_{E_{AC}}} = X_{E_{AC}} + j Y_{E_{AC}}$$

の関係が成り立ち、 $(R_{H_{AC}}, \theta_{H_{AC}})$ と $(X_{H_{AC}}, Y_{H_{AC}})$ との間には

$$R_{H_{AC}} e^{j\theta_{H_{AC}}} = X_{H_{AC}} + j Y_{H_{AC}}$$

の関係が成り立つ。

これらの測定量には、通常、高周波成分が含まれる。

【0019】

交流電場測定部1813は、交流電気力測定部1811により測定した交流電気力から、交流電場印加部131が印加する交流電場の周波数のN倍(Nは2以上の整数であり、好ましくは2、3等である。)の周波数成分(角周波数 ω)を抽出することにより、周期的に時間変化する交流電場を測定することができる。

また、交流磁場測定部1823は、交流磁気力測定部1821により測定した交流磁気力から、交流磁場印加部132が印加する交流磁場の周波数のN倍(Nは2以上の整数であり、好ましくは2、3等である。)の周波数成分(角周波数 ω)を抽出することにより、周期的に時間変化する交流電場を測定することができる。

【0020】

(4)

図5は、本発明の電気力/磁気力顕微鏡のさらに他の一の実施形態を示す全体図である。

本実施形態の電気力/磁気力顕微鏡1では、試料から発生する時間変化しない直流電場と直流磁場、および試料から発生する周期的に時間変化する交流電場と交流磁場を同時に測定することができる。

図5の構成要素は、電場測定部181'''および電場測定部182'''以外は図3または図4に記載の構成要素と概略同じである。

図3における電場測定部181'は交流電気力測定部1811と直流電場測定部1812とを有しており、図4における電場測定部181''は交流電気力測定部1811と交流電場測定部1813とを有しているのに対し、本実施形態では図5に示すように、電場測定部181'''は交流電気力測定部1811と直流電場測定部1812と交流電場測定部1813とを有している。

また、図3における磁場測定部182'は交流磁気力測定部1821と直流磁場測定部1822とを有しており、図4における磁場測定部182''は交流磁気力測定部1821と交流磁場測定部1823とを有しているのに対し、本実施形態では図5に示すように、磁場測定部182'''は、交流磁気力測定部1821と直流磁場測定部1822と交流磁場測定部1823とを有している。

【0021】

図5において、直流電場測定部1812及び直流磁場測定部1822は、試料SMP Lから発生する時間変化しない直流電場 E_{DC} (電場振幅 $R_{E_{DC}}$ と位相 $\theta_{E_{DC}}$ との組、または同相信号 $X_{E_{DC}}$ と直交信号 $Y_{E_{DC}}$ との組)および直流磁場 H_{DC} (磁場振幅 $R_{H_{DC}}$ と位相 $\theta_{H_{DC}}$ との組、または同相信号 $X_{H_{DC}}$ と直交信号 $Y_{H_{DC}}$ との組)を測定す

ることができる。

ここで、 (R_{E_DC}, E_DC) と (X_{E_DC}, Y_{E_DC}) との間には、次式が成り立つ。

$$R_{E_DC} \exp(i E_DC) = X_{E_DC} + i Y_{E_DC}$$

また、 (R_{H_DC}, H_DC) と (X_{H_DC}, Y_{H_DC}) との間には次式が成り立つ。

$$R_{H_DC} \exp(i H_DC) = X_{H_DC} + i Y_{H_DC}$$

【0022】

また、図5において、交流電場測定部1813及び交流磁場測定部1823は、試料SMPLから発生する周期的に時間変化する交流電場 E_AC_{SMPL} (電場振幅 R_{E_AC} と位相 E_AC との組、または同相信号 X_{E_AC} と直交信号 Y_{E_AC} との組)および交流磁場 H_AC_{SMPL} (磁場振幅 R_{H_AC} と位相 H_AC との組、または同相信号 X_{H_AC} と直交信号 Y_{H_AC} との組)を測定することができる。

10

ここで、 (R_{E_AC}, E_AC) と (X_{E_AC}, Y_{E_AC}) との間には、次式が成り立つ。

$$R_{E_AC} \exp(i E_AC) = X_{E_AC} + i Y_{E_AC}$$

また、 (R_{H_AC}, H_AC) と (X_{H_AC}, Y_{H_AC}) との間には、次式が成り立つ。

$$R_{H_AC} \exp(i H_AC) = X_{H_AC} + i Y_{H_AC}$$

これらの測定量には、通常、高周波成分が含まれる。

【0023】

{5}

上記〔1〕～〔4〕の実施形態において、交流電場印加部が試料に印加する交流電場の周波数 f_e と、交流磁場印加部が試料に印加する交流磁場の周波数 f_m とが、1以上のいかなる整数 n についても $f_m = n f_e$ かつ $f_e = n f_m$ をみたすことが好ましい。

20

【0024】

{6}

本発明の電場/磁場同時測定方法では、励振している探針部材の先端に設けたソフト磁性探針(表面に導電性のソフト磁性体薄膜が形成された探針チップからなる)に、周波数が異なる交流電場と交流磁場とを印加し、ソフト磁性探針により試料を走査し、ソフト磁性探針の振動を検出することで、試料から発生する電場と磁場とを同時に測定することができる。

本発明の電場/磁場同時測定方法は、以下のステップを含む。

探針励振ステップ: 探針励振部により、探針部材を励振させる。

30

交流電場/交流磁場印加ステップ: 交流電場印加部により交流電場を発生し、当該交流電場をソフト磁性探針に印加するとともに、交流磁場印加部により交流磁場を発生し、当該交流磁場をソフト磁性探針に印加する。

探針振動検出ステップ: 探針振動検出部により、探針部材の振動を検出し振動検出信号を生成する。

探針走査ステップ: 探針走査部により、探針部材を空間駆動し、ソフト磁性探針により試料を走査する。

復調ステップ: 復調部により、振動検出信号を用いて試料とソフト磁性探針との間に生じた交流電気力および交流磁気力を復調(抽出)する。

電場測定ステップ: 電場測定部により、復調ステップにおいて復調された交流電気力を用いて、試料から発生する電場を測定する。

40

磁場測定ステップ: 磁場測定部により、復調ステップにおいて復調された交流磁気力を用いて、試料から発生する磁場を測定する。

【0025】

{7}

本発明の電場/磁場同時測定方法の一の実施形態では、電場測定ステップは、交流電気力測定ステップと直流電場測定ステップとを含み、磁場測定ステップは、交流磁気力測定ステップと直流磁場測定ステップとを含む。

交流電気力測定ステップ: 交流電気力測定部により、試料とソフト磁性探針との間に生じた交流電気力を測定する。

50

直流電場測定ステップ：直流電場測定部により、交流電気力測定ステップにおいて測定した交流電気力から、交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、時間変化しない直流電場を測定する。

交流磁気力測定ステップ：交流磁気力測定部により、試料とソフト磁性探針との間に生じた交流磁気力を測定する。

直流磁場測定ステップ：直流磁場測定部により、交流磁気力測定ステップにおいて測定した交流磁気力から、交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、時間変化しない直流磁場を測定する。

【 0 0 2 6 】

{ 8 }

10

本発明の電場 / 磁場同時測定方法の他の一の実施形態では、電場測定ステップは、交流電気力測定ステップと交流電場測定ステップとを含み、磁場測定ステップは、交流磁気力測定ステップと交流磁場測定ステップとを含む。

交流電気力測定ステップ：交流電気力測定部により、試料とソフト磁性探針との間に生じた交流電気力を測定する。

交流電場測定ステップ：交流電場測定部により、交流電気力測定ステップにおいて測定した交流電気力から、交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数の N 倍 (N は 2 以上の整数であり、好ましくは 2、3 等である。) の周波数成分 (角周波数 N) を抽出することにより、周期的に時間変化する交流電場を測定する。

交流磁気力測定ステップ：交流磁気力測定部により、試料とソフト磁性探針との間に生じた交流磁気力を測定する。

20

交流磁場測定ステップ：交流磁場測定部により、交流電気力測定ステップにおいて測定した交流磁気力から、交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数の N 倍 (N は 2 以上の整数であり、好ましくは 2、3 等である。) の周波数成分 (角周波数 N) を抽出することにより、周期的に時間変化する交流磁場を測定する。

【 0 0 2 7 】

{ 9 }

本発明の電場 / 磁場同時測定方法のさらに他の一の実施形態では、電場測定ステップは、交流電気力測定ステップと直流電場測定ステップと交流電場測定ステップとを含み、磁場測定ステップは、交流磁気力測定ステップと直流磁場測定ステップと交流磁場測定ステップを含む。

30

交流電気力測定ステップ：交流電気力測定部により、試料とソフト磁性探針との間に生じた交流電気力を測定する。

直流電場測定ステップ：直流電場測定部により、交流電気力測定ステップにおいて測定した交流電気力から、交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、時間変化しない直流電場を測定する。

交流電場測定ステップ：交流電場測定部により、交流電気力測定ステップにおいて測定した交流電気力から、交流電場印加ステップにおいて印加された交流電場の周波数の N 倍 (N は 2 以上の整数であり、好ましくは 2、3 等である。) の周波数成分 (角周波数 N) を抽出することにより、周期的に時間変化する交流電場を測定する。

40

交流磁気力測定ステップ：交流磁気力測定部により、試料とソフト磁性探針との間に生じた交流磁気力を測定する。

直流磁場測定ステップ：直流磁場測定部により、交流磁気力測定ステップにおいて測定した交流磁気力から、交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数に等しい周波数成分を抽出することにより、時間変化しない直流磁場を測定する。

交流磁場測定ステップ：交流磁場測定部により、交流電気力測定ステップにおいて測定した交流磁気力から、交流磁場印加ステップにおいて印加された交流磁場の周波数の N 倍 (N は 2 以上の整数であり、好ましくは 2、3 等である。) の周波数成分 (角周波数 N) を抽出することにより、周期的に時間変化する交流磁場を測定する。

【 0 0 2 8 】

50

〔 1 0 〕

上記〔 6 〕～〔 9 〕の実施形態において、交流電場印加部が試料に印加する交流電場の周波数 ω_e と、交流磁場印加部が試料に印加する交流磁場の周波数 ω_m とが、1以上のいかなる整数 n についても $\omega_m = n \omega_e$ かつ $\omega_e = n \omega_m$ をみたすことが好ましい。

【発明の効果】

【 0 0 2 9 】

本発明によれば、試料の表面の電場と磁場とを同時に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 0 】

【図 1】図 1 (A) は、直流磁場を測定するための磁気力顕微鏡 (M F M) を示す図である。図 1 (B) は、ソフト磁性体の M - H 特性の例を示す図である。

10

【図 2】図 2 は、本発明の電気力 / 磁気力顕微鏡の基本的な実施形態を示す全体図である。

【図 3】図 3 は、本発明の電気力 / 磁気力顕微鏡の一の実施形態を示す全体図である。

【図 4】図 4 は、本発明の電気力 / 磁気力顕微鏡の他の一の実施形態を示す全体図である。

【図 5】図 5 は、本発明の電気力 / 磁気力顕微鏡のさらに他の一の実施形態を示す全体図である。

【図 6】図 6 は本発明の電気力 / 磁気力顕微鏡の一実施形態を示す説明図である。

【図 7】図 7 は、外部から印加する交流電場および交流磁場と、試料から発生する電場および磁場との関係を示す図である。

20

【図 8】図 8 は、図 6 に示した電気力 / 磁気力顕微鏡を用いた電場 / 磁場同時測定方法の処理を示すフローチャートである。

【図 9】図 9 は、測定結果出力部により出力された画像を示す図である。図 9 (A) は直流電場測定部の振幅出力から作成した画像である。図 9 (B) は直流電場測定部の位相角出力から作成した画像である。図 9 (C) は直流磁場測定部の振幅出力から作成した画像である。図 9 (D) は直流磁場測定部の位相角出力から作成した画像である。

図 9 (E) は図 9 (A) の切断ライン L 1 における直流電場測定部の振幅出力信号を示す図である。図 9 (F) は図 9 (B) の切断ライン L 2 における直流電場測定部の位相角出力信号を示す図である。図 9 (G) は図 9 (C) の切断ライン L 3 における直流磁場測定部の振幅出力信号を示す図である。図 9 (H) は図 9 (D) の切断ライン L 4 における直流磁場測定部の位相角出力信号を示す図である。

30

【発明を実施するための形態】

【 0 0 3 1 】

《発明の原理》

本発明の原理を以下に示す。

交流電場 (振幅 : E_{AC}) と交流磁場 (振幅 : H_{AC}) とを、導電性を有するソフト磁性探針 (探針チップ) に、同時に外部から印加する。

これにより、探針チップの先端に、交流変化する電荷 (振幅 : q_e^{ac}) と交流変化する磁極 (振幅 : q_m^{ac}) が発生する。

40

【 0 0 3 2 】

これらの外部から印加する交流電場と交流磁場により、試料の直流電場の発生源である電荷あるいは電気分極、および試料の直流磁場の発生源である電流あるいは磁気モーメントが変化しない場合には、試料からは直流電場および直流磁場が発生し、交流電場および交流磁場は発生しない。この場合、探針装置 (カンチレバー) のバネ定数は、みかけ上変化し、式 (7) で与えられる。以下、 $k(t)$ を「みかけ上のバネ定数」と称する。

【 0 0 3 3 】

$$k(t) = \{ q_e^{dc} + q_e^{ac} \cos(\omega_e t) \} \cdot [(E_{DC} / z) + (E_{AC} / z) \cos(\omega_e t)]$$

50

$$+ \{ q_m^{dc} + q_m^{ac} \cos(\omega_e t) \} \\ \cdot [(H_{DC_SMPL} / z) \\ + (H_{AC} / z) \cos(\omega_m t)] \quad (7)$$

E_{DC_SMPL} : 試料から発生する直流電場

E_{AC} : 探針チップに印加する交流電場の振幅

ω_e : 交流電場 E_{AC} の角周波数

q_e^{dc} : 試料から発生する直流電場 E_{DC_SMPL} により探針チップに生じた直流電荷

q_e^{ac} : 交流電場 E_{AC} により探針チップに生じた交流電荷の振幅

H_{DC_SMPL} : 試料から発生する直流磁場

H_{AC} : 探針チップに印加する交流磁場の振幅

ω_e : 交流磁場 H_{AC} の角周波数

q_m^{dc} : 試料から発生する直流磁場 H_{DC_SMPL} により探針チップに生じた直流磁極

q_m^{ac} : 交流磁場 H_{AC} により探針チップに生じた交流磁極の振幅

10

【0034】

外部から印加する交流電場 E_{AC} および交流磁場 H_{AC} が空間的に一様な場合、次の関係が成立する。

$$| E_{AC} / z | = 1$$

および、

$$| H_{AC} / z | = 1$$

このとき、探針チップの見かけ上のバネ定数 $k(t)$ は、式(8)で与えられる。

$$k(t) = q_e^{ac} (E_{DC_SMPL} / z) \cos(\omega_e t) \\ + q_m^{ac} (H_{DC_SMPL} / z) \cos(\omega_m t) \quad (8)$$

20

【0035】

したがって、 $k(t)$ の ω_e 成分(すなわち式(6)の第1項)を検出すれば、 (E_{DC_SMPL} / z) (すなわち、試料の直流電場の勾配)を求めることができる。

また、 $k(t)$ の ω_m 成分(すなわち式(6)の第2項)を検出すれば、 (H_{DC_SMPL} / z) (すなわち、試料の直流磁場の勾配)を求めることができる。

【0036】

外部から印加する交流電場と交流磁場により、試料の直流電場の発生源である電荷あるいは電気分極、および試料の直流磁場の発生源である電流あるいは磁気モーメントが変化する場合には、試料からも交流電場と交流磁場が発生する。

30

以下の説明には、試料から発生する交流電場および交流磁場が、試料に印加する交流電場および交流磁場に対して飽和等で非線形に変化する場合も含まれる。

この場合、試料から発生する交流電場および交流磁場はフーリエ級数で式(9)のように展開できる。

$$E_{AC_SMPL}(t) \\ = E_{AC_SMPL}^1 \cos(\omega_e t) \\ + E_{AC_SMPL}^2 \cos(2\omega_e t) \\ + E_{AC_SMPL}^3 \cos(3\omega_e t) \\ + \dots$$

40

$$H_{AC_SMPL}(t) \\ = H_{AC_SMPL}^1 \cos(\omega_e t) \\ + H_{AC_SMPL}^2 \cos(2\omega_e t) \\ + H_{AC_SMPL}^3 \cos(3\omega_e t) \\ + \dots \\ (9)$$

【0037】

このとき、探針チップの見かけ上のバネ定数 $k(t)$ は、式(10)で与えられる。

$$k(t) = \{ q_e^{dc} + q_e^{ac} \cos(\omega_e t) \} \\ \cdot [(E_{DC_SMPL} / z)$$

50

$$\begin{aligned}
& + (E_AC / z) \cos (\omega_e t) \\
& + (E_AC_{SMPL}^1 / z) \cos (\omega_e t) \\
& + (E_AC_{SMPL}^2 / z) \cos (2 \omega_e t) \\
& + (E_AC_{SMPL}^3 / z) \cos (3 \omega_e t) \\
& + \dots] \\
& + \{ q_m^{ac} + q_m^{ac} \cos (\omega_m t) \} \\
& \cdot [(H_DC_{SMPL} / z) \\
& + (H_AC / z) \cos (\omega_m t) \\
& + (H_AC_{SMPL}^1 / z) \cos (\omega_m t) \\
& + (H_AC_{SMPL}^2 / z) \cos (2 \omega_m t) \\
& + (H_AC_{SMPL}^3 / z) \cos (3 \omega_m t) \\
& + \dots]
\end{aligned}$$

10

(1 0)

【 0 0 3 8 】

外部から印加する交流電場 E_AC および交流磁場 H_AC が空間的に一様な場合、式 (1 1 a) 及び (1 1 b) の関係が成立する。

$$| E_AC / z | = 1 \quad (1 1 a)$$

$$| H_AC / z | = 1 \quad (1 1 b)$$

このとき、探針チップの見かけ上のパネ定数 $k (t)$ は、式 (1 2) で与えられる。

 $k (t)$

$$\begin{aligned}
& \{ q_e^{ac} (E_DC_{SMPL} / z) \\
& + q_e^{dc} (E_AC_{SMPL}^1 / z) \\
& + (q_e^{ac} / 2) (E_AC_{SMPL}^1 / z) \} \cos (\omega_e t) \\
& + \{ (q_e^{ac} / 2) (E_AC_{SMPL}^1 / z) \\
& + q_e^{dc} (E_AC_{SMPL}^2 / z) \\
& + (q_e^{ac} / 2) (E_AC_{SMPL}^3 / z) \} \cos (2 \omega_e t) \\
& + \{ (q_e^{ac} / 2) (E_AC_{SMPL}^2 / z) \\
& + (q_e^{dc} / 2) (E_AC_{SMPL}^3 / z) \} \cos (3 \omega_e t) \\
& + \{ q_m^{ac} (H_DC_{SMPL} / z) \\
& + q_m^{dc} (H_AC_{SMPL}^1 / z) \\
& + (q_m^{ac} / 2) (H_AC_{SMPL}^1 / z) \} \cos (\omega_m t) \\
& + \{ (q_m^{ac} / 2) (H_AC_{SMPL}^1 / z) \\
& + q_m^{dc} (H_AC_{SMPL}^2 / z) \\
& + (q_m^{ac} / 2) (H_AC_{SMPL}^3 / z) \} \cos (2 \omega_m t) \\
& + \{ (q_m^{ac} / 2) (H_AC_{SMPL}^2 / z) \\
& + (q_m^{dc} / 2) (H_AC_{SMPL}^3 / z) \} \cos (3 \omega_m t) \\
& + \dots
\end{aligned}$$

20

30

(1 2)

ここで、電場と磁場とを分離して検出するために、印加する交流磁場の周波数 ω_m および印加する交流電場の周波数 ω_e には、異なる周波数を選択する。好ましくは、印加する交流磁場の周波数 ω_m は印加する交流電場の周波数 ω_e の整数倍ではなく、且つ、印加する交流電場の周波数 ω_e は印加する交流磁場の周波数 ω_m の整数倍ではないように、印加する交流磁場の周波数 ω_m および印加する交流電場の周波数 ω_e を選ぶ。すなわち、 ω_m および ω_e を、1 以上のいかなる整数 n についても $\omega_m = n \omega_e$ かつ $\omega_e = n \omega_m$ を満たすように選ぶ。

40

【 0 0 3 9 】

以上より、外部から印加する交流電場と交流磁場により、試料から交流電場と交流磁場が発生する場合には、 $k (t)$ に、 $2 \omega_e$ 成分以上の高次項、および $2 \omega_m$ 成分以上の高次項が発生することがわかる。

したがって、 $k (t)$ の $2 \omega_e$ 成分以上の高次項、および $2 \omega_m$ 成分以上の高次項の存在により、試料から発生する交流電場の勾配および交流磁場の勾配の大きさや線形性を評

50

価することができる。なお実際上は、 $k(t)$ の N_e 成分および N_m 成分（いずれも N は2以上の整数）の強度は、次数 N が増大するにつれて急激に減少する。

ただし、試料が強誘電性・強磁性共存物質等の、電気分極と磁気モーメントが相互作用により強く結合している物質の場合には、交流電場（角周波数 ω_e ）による電気分極の変化と交流磁場（角周波数 ω_m ）による磁気モーメントの変化が競合し、これらの内、相互作用が強い方の角周波数で、電気分極と磁気モーメントが変化することになる。

【0040】

図6は本発明の電気力/磁気力顕微鏡の一実施形態を示す説明図である。

図6において、電気力/磁気力顕微鏡1は、探針部材11、探針励振部12、交流電場印加部131、交流磁場印加部132、交流電場駆動部141、交流磁場駆動部142、探針振動検出部15、探針走査部16、復調部17、電場測定部181、磁場測定部182および測定結果出力部19とを有している。

なお、本実施形態では、探針部材11、試料SMP L、交流電場印加部131、交流磁場印加部132等は、説明の便宜上、実際のサイズとは異なるように記載してある。

【0041】

探針部材11は、先端にソフト磁性探針112を有している。ソフト磁性探針112は、導電性を有するソフト磁性体薄膜が表面に形成された探針チップである。

探針部材11は、シリコンにより構成されたカンチレバーを母材として作製され、アーム111の先端に、表面にソフト磁性体薄膜（後述する、図7の符号113参照）が形成された円錐形の探針チップ（ソフト磁性探針112）が備えられている。ソフト磁性体薄膜113を構成するソフト磁性体としては、たとえば、Fe-Co、Fe-Co-B、パーマロイ（Ni-Fe）、Co-Zr-Nb等を好ましく採用できる。

探針励振部12は、探針部材11を励振させることができる。探針励振部12は、交流電源121と、探針部材11に振動を与える圧電素子122とからなる。

【0042】

交流電場印加部131は、交流電場 E_{AC} を発生し、交流電場 E_{AC} がソフト磁性探針112に印加される。ソフト磁性探針112は導電性を有するので、静電誘導によりソフト磁性探針112の表面（ソフト磁性体薄膜113）に交流電荷が発生する。

交流磁場印加部132は、交流磁場 H_{AC} を発生し、交流磁場 H_{AC} がソフト磁性探針112に印加される。ソフト磁性探針112はソフト磁性を有するので、ソフト磁性探針112の表面に交流磁極が発生する。

交流電場印加部131は、板状または薄膜状の電極であり、試料台を兼ねることもできる。電極は、導電性の材料（Al, Au, Pt, Ta等の非磁性体金属、Ni, Co, Fe, パーマロイ等の高透磁率を有する合金、等の強磁性体金属、あるいはこれらの積層体）から構成することができる。なお、試料SMP Lが、導電性を有する場合には、試料SMP L自体を電極とすることができる。また、試料SMP Lが、導電性の下地層を有する場合には、下地層を電極とすることができる。通常、導電性を有するソフト磁性探針112は接地されており（後述する図6の「GND」参照）、交流電場印加部131とソフト磁性探針112間に交流電場が発生する。

交流磁場印加部132は、交流電流ACにより駆動される交流コイルからなり、交流電場印加部131は、交流磁場印加部132の中央に配置することができる。

【0043】

交流電場駆動部141は、角周波数 ω_e の駆動電圧を出力する交流電源であり交流電場印加部131を駆動する。

交流磁場駆動部142は、角周波数 ω_m の駆動電流を出力する交流電源であり交流磁場印加部132を駆動する。

ω_m および ω_e は互いに異なる周波数である。 ω_m および ω_e は、いかなる自然数 n （ $n \geq 1$ ）についても $\omega_m = n \omega_e$ かつ $\omega_e = n \omega_m$ をみたしていることが好ましく、これにより試料から発生する直流磁場の測定に際して電場由来の成分を分離して測定することができ、且つ、試料から発生する直流電場の測定に際して磁場由来の成分を分離して測定すること

10

20

30

40

50

ができる。

【0044】

図7に、交流電場駆動部141が発生する交流電場 E_{AC} と、交流磁場駆動部142が発生する交流磁場 H_{AC} と、試料SMP Lから発生する電場(図7の $E_{SMP L}$ 参照)と、試料SMP Lから発生する磁場(図7の $H_{SMP L}$ 参照)との関係を示す。

【0045】

探針振動検出部15は、探針部材11の振動(すなわち、ソフト磁性探針112の振動)を検出し振動検出信号VIBを生成する。

探針振動検出部15は、レーザ(LSR)151とフォトディテクタ(PD)152とを有している。ソフト磁性探針112の先端上面には反射ミラーが形成されている。LSR151から出射されたレーザビームLBは探針部材11の先端上面で反射されてPD152に入射される。

探針走査部16は、ソフト磁性探針112が試料SMP Lの表面を走査できるように、探針部材11を空間駆動(XY駆動)する。図6では、試料SMP LがセットされたステージSTGを移動させることで、ソフト磁性探針112により試料SMP Lの表面を走査する例を示しているが、ソフト磁性探針112を試料SMP Lに対して相対的に移動させることで、ソフト磁性探針112により試料SMP Lの上面を走査することもできる。

【0046】

復調部17は、探針振動検出部15により検出された振動検出信号VIBを取得し復調信号を出力する。

本実施形態では、振動検出信号VIBの変調成分の分離にはPLL(Phase Locked Loop)回路が使用されている。図6では、復調部17の出力信号をEF/HFで示す。

【0047】

電場測定部181は、復調部17からの復調信号に基づき、試料SMP Lの表面の電場勾配(電気特性)を測定する。本実施形態では電場測定部181はロックインアンプであり、復調信号の強度 R_E および位相 θ_E の組、または復調信号の同相信号 X_E および直交信号 Y_E の組を検出することで、試料SMP Lの表面の電場勾配(電気特性)を測定することができる。

磁場測定部182は、復調部17からの復調信号に基づき、試料SMP Lの表面の磁場勾配(磁気特性)を測定する。本実施形態では磁場測定部182はロックインアンプであり、復調信号の強度 R_H および位相 θ_H の組、または復調信号の同相信号 X_H および直交信号 Y_H の組を検出することで、試料SMP Lの表面の磁場勾配(磁気特性)を測定することができる。

【0048】

測定結果出力部19は、電場測定部181により測定された電場勾配(電気特性)を画像化することができ、磁場測定部182により測定された磁場勾配(磁気特性)を画像化することができる。

【0049】

以上のように、本実施形態では、電気力/磁気力顕微鏡1は、励振しているソフト磁性探針112に、周波数が異なる交流電場 E_{AC} と交流磁場 H_{AC} とを印加し、ソフト磁性探針112により試料SMP Lの表面を走査し、ソフト磁性探針112の振動を検出する。

試料SMP Lが、交流電場 E_{AC} と交流磁場 H_{AC} の印加により、交流電場および交流磁場を発生しない場合には、試料SMP Lの表面の直流電場 $E_{DC_{SMP L}}$ および直流磁場 $H_{DC_{SMP L}}$ を同時に測定することができる。

また、試料SMP Lが、交流電場 E_{AC} と交流磁場 H_{AC} の印加により、交流電場および交流磁場を発生する場合には、試料SMP Lから発生する交流電場 $E_{AC_{SMP L}}$ の勾配および交流磁場 $H_{AC_{SMP L}}$ の勾配の、大きさや線形性も評価することができる。

【0050】

10

20

30

40

50

図 8 は、図 6 に示した電気力 / 磁気力顕微鏡 1 を用いた本発明の電場・磁場同時測定方法の処理を示すフローチャートである。

【 0 0 5 1 】

探針励振ステップ S 1 1 0 : 探針励振部 1 2 により、アーム 1 1 1 の先端に設けられた導電性を有するソフト磁性探針 1 1 2 (導電性を有するソフト磁性体薄膜が表面に形成された探針チップ) を励振させる。

【 0 0 5 2 】

交流電場 / 交流磁場印加ステップ S 1 2 0 : 交流電場印加部 1 3 1 および交流磁場印加部 1 3 2 により、周波数が異なる交流電場 E _ A C と交流磁場 H _ A C とをソフト磁性探針 1 1 2 に印加し、探針部材 1 1 の振動 (ソフト磁性探針 1 1 2 の振動) に、変調を生じさせる。

10

【 0 0 5 3 】

探針振動検出ステップ S 1 3 0 : 探針部材 1 1 の振動 (ソフト磁性探針 1 1 2 の振動) を検出し振動検出信号 V I B を生成する。

【 0 0 5 4 】

復調ステップ S 1 4 0 : 探針振動検出ステップ S 1 3 0 において検出された振動検出信号 V I B を用いて、試料 S M P L とソフト磁性探針 1 1 2 との間に生じた交流電気力および交流磁気力を復調 (抽出) する。

【 0 0 5 5 】

電場測定ステップ 1 5 1 : 復調ステップ S 1 4 0 において復調した信号 (復調信号) に基づき、試料 S M P L の表面の電場勾配 (電気特性) を測定する。

20

磁場測定ステップ 1 5 2 : 復調ステップ S 1 4 0 において復調した信号 (復調信号) に基づき、試料 S M P L の表面の磁場勾配 (磁気特性) を測定する。

なお、電場測定ステップ 1 5 1 は、交流電気力測定ステップと直流電場測定ステップとを含むことができ、磁場測定ステップ 1 5 2 は、交流磁気力測定ステップと直流磁場測定ステップとを含むことができる。

また、電場測定ステップ 1 5 1 は、交流電気力測定ステップと交流電場測定ステップとを含むことができ、磁場測定ステップ 1 5 2 は、交流磁気力測定ステップと交流磁場測定ステップとを含むことができる。

さらに、電場測定ステップ 1 5 1 は、交流電気力測定ステップと直流電場測定ステップと交流電場測定ステップとを含むことができ、磁場測定ステップ 1 5 2 は、交流磁気力測定ステップと直流磁場測定ステップと交流磁場測定ステップとを含むことができる。

30

【 0 0 5 6 】

データ蓄積ステップ 1 6 0 : 電場測定ステップ 1 5 1 および磁場測定ステップ 1 5 2 において測定されたデータを、測定結果出力部 1 9 に含まれる記憶装置 1 9 1 に記憶する。

【 0 0 5 7 】

走査続行判断ステップ 1 7 0 : S 1 3 0 ~ S 1 6 0 の処理の後、試料 S M P L の表面の他の場所について、電場勾配 (電気特性) および磁場勾配 (磁気特性) の測定を行うかを判断する (すなわち、走査を続行するか終了するかを判断する。) 。他の場所について測定を行う場合には、処理を S 1 3 0 に戻し、測定を終了する場合には、処理を S 1 8 0 に進める。

40

このようにして、ソフト磁性探針 1 1 2 を走査 (X Y 駆動) して、多数の観察点 (観察場所) について電場勾配 (電気特性) および磁場勾配 (磁気特性) の測定が行われる。

【 0 0 5 8 】

測定結果出力ステップ 1 8 0 : 測定結果出力部 1 9 により、測定された電場勾配 (電気特性) および磁場勾配 (磁気特性) を画像化して出力する。

【 0 0 5 9 】

以上のようにして、励振しているソフト磁性探針 1 1 2 により試料 S M P L の表面を走査し、ソフト磁性探針 1 1 2 の振動を検出することで、試料 S M P L の表面の直流電場 E

50

— DC_{SMPL} 及び直流磁場 $H_{DC_{SMPL}}$ を同時に測定すること、交流電場 $E_{AC_{SMPL}}$ 及び交流磁場 $H_{AC_{SMPL}}$ を同時に測定すること、または、直流電場 $E_{DC_{SMPL}}$ 、直流磁場 $H_{DC_{SMPL}}$ 、交流電場 $E_{AC_{SMPL}}$ 、及び交流磁場 $H_{AC_{SMPL}}$ を同時に測定することができる。

【0060】

本発明に関する上記説明では、試料 $SMPL$ に印加する外部磁場が交流磁場 H_{AC} である形態の電気力/磁気力顕微鏡 1、及びこれを用いた電場/磁場同時測定方法を例示したが、本発明は当該形態に限定されない。例えば、試料から発生する直流磁場によってソフト磁性探針の磁化が飽和するために磁場検出感度が低下し、磁場測定が困難になるような場合には、交流磁場だけでなく、試料から発生する直流磁場とは逆の方向を有する空間的に一様な直流磁場をソフト磁性探針に印加することで、ソフト磁性探針の磁化の飽和を防止する形態の電気力/磁気力顕微鏡および電場/磁場同時測定方法とすることも可能である。

10

【実施例】

【0061】

以下の条件・構成で電気力/磁気力顕微鏡 1 により、本発明の効果の検証を行った。

試料 $SMPL$: SiO_2 基板上に、 $Ta/Pt/(Bi_{0.6}Ba_{0.4})FeO_3$ の薄膜を形成した。 Ta/Pt が交流電場印加部 131 として機能する。

本試料 $SMPL$ は、外部からの交流電場および交流磁場の印加により、交流電場および交流磁場を発生させない。したがって本試料 $SMPL$ においては、電場測定部は直流電場測定部として動作し、磁場測定部は直流磁場測定部として動作する。

20

ソフト磁性探針 (探針チップ) 112 : $Co-Zr-Nb$ のソフト磁性体を、探針部材 11 の先端の円錐形の SiO_2 の表面に、膜厚 30 nm で形成することにより構成した。

バイアス電圧 V_{BIAS} : 試料 $SMPL$ の $3 \times 3 \mu m$ の領域に $DC 12 V$ を与え、走査領域の中央の $1 \times 1 \mu m$ の領域に $-12 V$ を与えた。これにより、電場書き込みによって長方形領域に電的分域と磁的分域 (磁区) を形成した。

交流電場 E_{AC} : 周波数 $300 Hz (f_e)$ 、ピーク間の電圧 $0.2 V$ (振幅 $0.2 V_p - p$) の交流電場をソフト磁性探針 112 と交流電場印加部 131 との間に発生させた。

30

交流磁場 H_{AC} : 周波数 $78 Hz (f_m)$ 、強度 $2000 e$ の交流磁場を交流磁場印加部 132 から発生させた。

なお、試料の電気分極モーメントおよび磁気モーメントは試料面に垂直方向 (上向き、下向き) の成分を有する。

【0062】

以上の条件・構成の下、探針走査部 16 により、 $3 \times 3 \mu m$ の領域を走査し、測定結果出力部 19 により画像を作成した。

図 9 に測定結果出力部 19 により出力された画像を示す。

測定結果出力部 19 による直流電場 $E_{DC_{SMPL}}$ の出力結果を図 9 (A), (B) に示す。図 9 (A) は電場測定部 181 の振幅出力から作成した画像であり、図 9 (B) は電場測定部 181 の位相角出力から作成した画像である。

40

測定結果出力部 19 による直流磁場 $H_{DC_{SMPL}}$ の出力結果を図 9 (C), (D) に示す。図 9 (C) は磁場測定部 182 の振幅出力から作成した画像であり、図 9 (D) は磁場測定部 182 の位相角出力から作成した画像である。

図 9 (E) は図 9 (A) の切断ライン L1 における電場測定部 182 の振幅出力信号を示す図であり、図 9 (F) は図 9 (B) の切断ライン L2 における電場測定部 181 の位相角出力信号を示す図である。

図 9 (G) は図 9 (C) の切断ライン L3 における磁場測定部 182 の振幅出力信号を示す図であり、図 9 (H) は図 9 (D) の切断ライン L4 における磁場測定部 182 の位相角出力信号を示す図である。

50

【 0 0 6 3 】

図 9 (A) , 図 9 (C) の強度像、および図 9 (E) , 図 9 (G) の振幅出力信号のラインプロファイルでは、書き込み領域の境界で信号強度が極小となっており、書き込み領域の境界における場の方向は概ね試料面に対して平行な方向になっていることがわかる。

図 9 (B) , 図 9 (D) の位相像、および図 9 (F) , 図 9 (H) の位相角出力信号のラインプロファイルでは、書き込み領域の境界で位相が反転（位相角が 1 8 0 度変化）しており、場の垂直成分が書き込み領域の境界で上向きから下向きに変化していることがわかる。

以上の結果より、本発明によれば、電場と磁場の同時イメージングが実現できていることがわかる。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 4 】

- 1 電気力 / 磁気力顕微鏡
- 1 1 探針部材
- 1 1 1 アーム
- 1 1 2 ソフト磁性探針
- 1 1 3 ソフト磁性体薄膜
- 1 2 探針励振部
- 1 2 1 交流電源
- 1 2 2 圧電素子
- 1 3 1 交流電場印加部
- 1 3 2 交流磁場印加部
- 1 4 1 交流電場駆動部
- 1 4 2 交流磁場駆動部
- 1 5 探針振動検出部
- 1 5 1 L S R (レーザ)
- 1 5 2 P D (フォトディテクタ)
- 1 6 探針走査部
- 1 7 復調部
- 1 8 1 電場測定部
- 1 8 1 1 交流電気力測定部
- 1 8 1 2 直流電場測定部
- 1 8 1 3 交流電場測定部
- 1 8 2 磁場測定部
- 1 8 2 1 交流磁気力測定部
- 1 8 2 2 直流磁場測定部
- 1 8 2 3 交流磁場測定部
- 1 9 測定結果出力部
- 1 9 1 記憶装置
- 8 1 1 探針チップ
- 8 2 試料
- 8 4 コイル

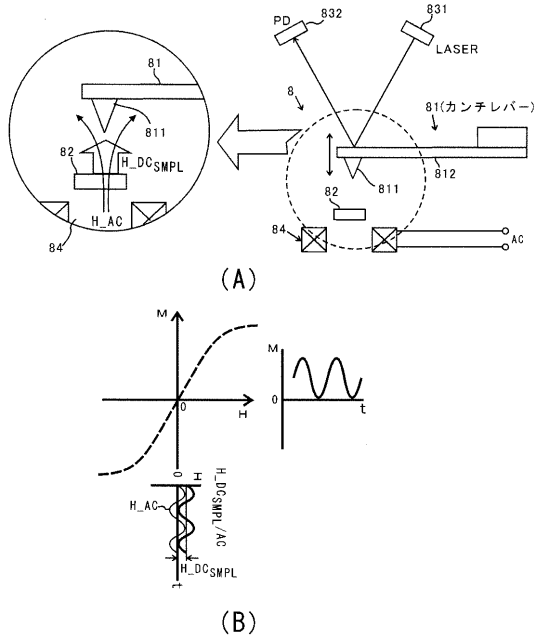
10

20

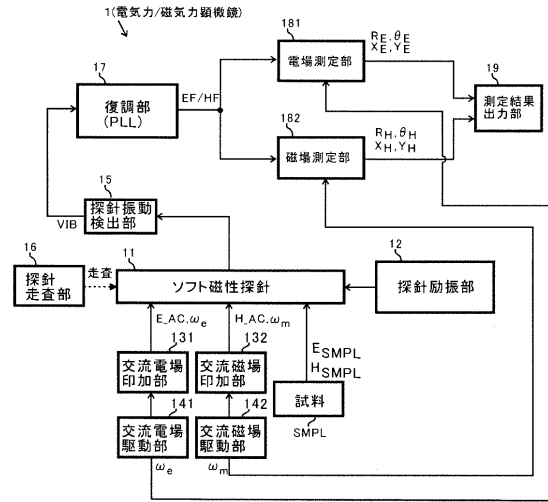
30

40

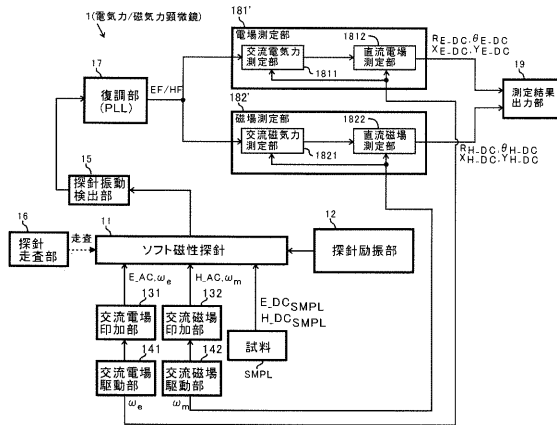
【図 1】



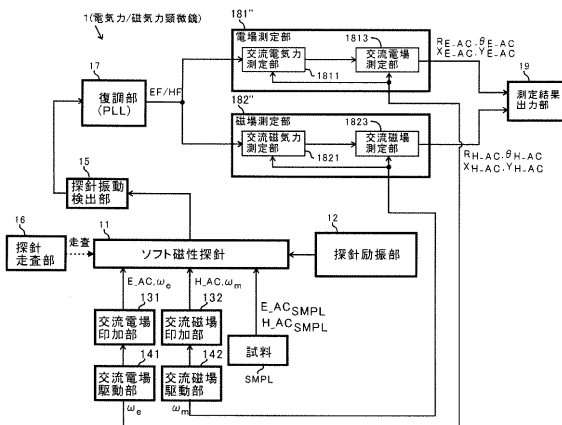
【図 2】



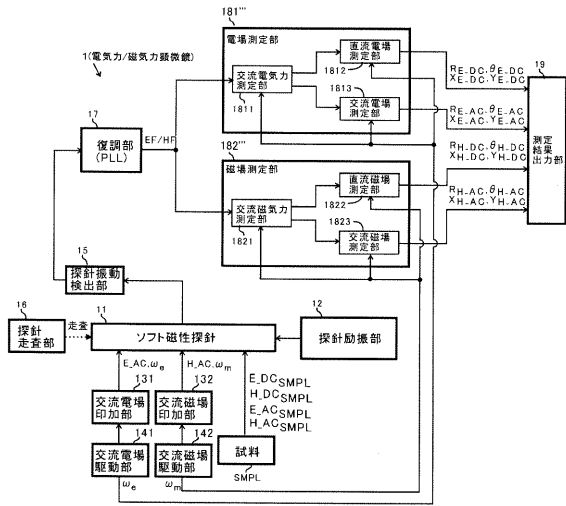
【図 3】



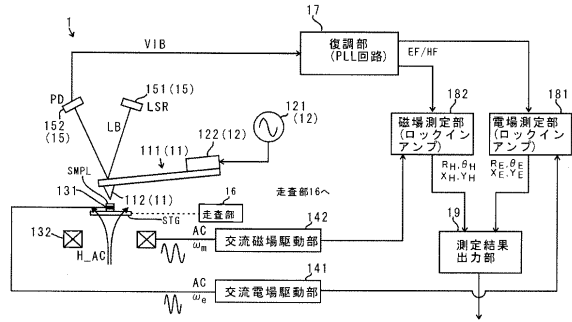
【図 4】



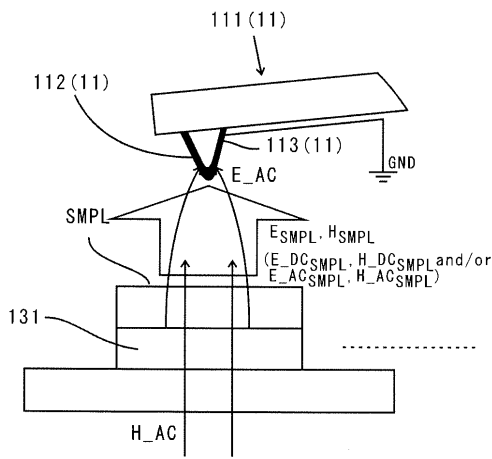
【図5】



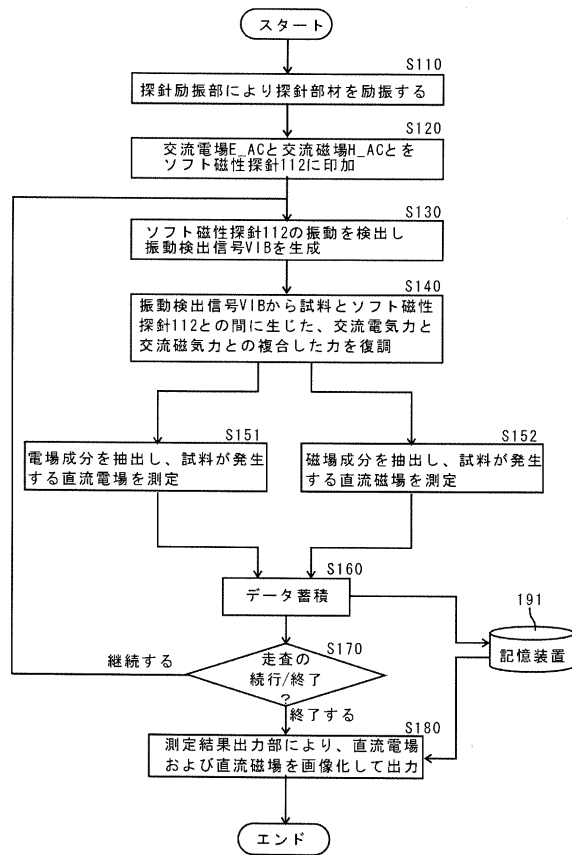
【図6】



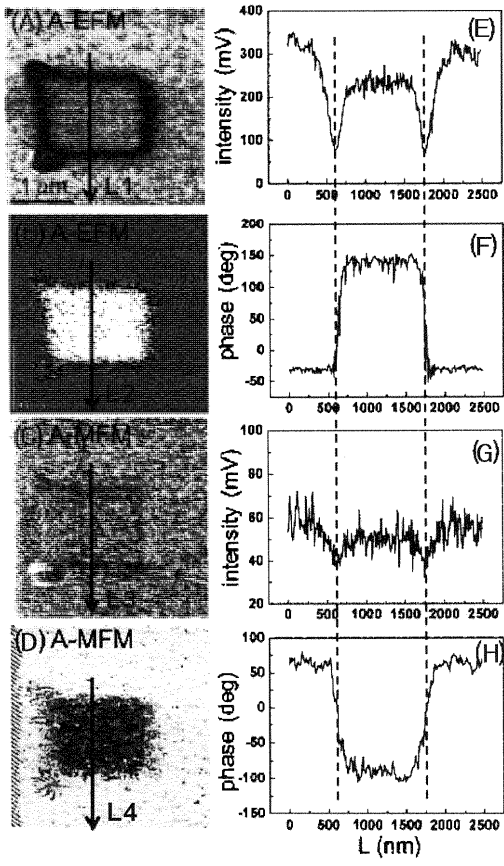
【図7】



【図8】



【 図 9 】



【 国際調査報告 】

| INTERNATIONAL SEARCH REPORT | | International application No. PCT/JP2015/052766 |
|--|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01Q60/50(2010.01)i, G01Q60/30(2010.01)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) G01Q60/00-60/60 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 1996-2015 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | WO 2009/101991 A1 (Akita University), 20 August 2009 (20.08.2009), entire text; all drawings & JP 5424404 B & US 2011/0030109 A1 | 1-10 |
| A | JP 2012-53020 A (Akita University), 15 March 2012 (15.03.2012), entire text; all drawings & US 2013/0174302 A1 & EP 2613160 A1 & WO 2012/029973 A1 | 1-10 |
| A | JP 2013-213708 A (Tohoku University), 17 October 2013 (17.10.2013), entire text; all drawings (Family: none) | 1-10 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex. | | |
| * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family | | |
| Date of the actual completion of the international search 20 February 2015 (20.02.15) | | Date of mailing of the international search report 03 March 2015 (03.03.15) |
| Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan | | Authorized officer Telephone No. |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/052766

| C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|---|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | JP 2013-213707 A (Tohoku University), 17 October 2013 (17.10.2013), entire text; all drawings (Family: none) | 1-10 |
| A | WO 2013/047538 A1 (Akita University), 04 April 2013 (04.04.2013), entire text; all drawings & US 2014/0218016 A1 | 1-10 |
| A | WO 2013/047537 A1 (Akita University), 04 April 2013 (04.04.2013), entire text; all drawings & EP 2762896 A1 | 1-10 |

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/J P 2015/052766 | | | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01Q60/50(2010.01)i, G01Q60/30(2010.01)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. G01Q60/00-60/60 | | | | | | | | | | | |
| 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>1971-2015年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2015年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2015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 | 1971-2015年 | 日本国実用新案登録公報 | 1996-2015年 | 日本国登録実用新案公報 | 1994-2015年 |
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | | | | | | | | | | |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2015年 | | | | | | | | | | |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2015年 | | | | | | | | | | |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2015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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII) | | | | | | | | | | | |
| 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 | | | | | | | | | |
| A | WO 2009/101991 A1 (国立大学法人秋田大学) 2009.08.20, 全文、全図 & JP 5424404 B & US 2011/0030109 A1 | 1-10 | | | | | | | | | |
| A | JP 2012-53020 A (国立大学法人秋田大学) 2012.03.15, 全文、全図 & US 2013/0174302 A1 & EP 2613160 A1 & WO 2012/029973 A1 | 1-10 | | | | | | | | | |
| A | JP 2013-213708 A (国立大学法人東北大学) 2013.10.17, 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-10 | | | | | | | | | |
| <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 | | の日の後に公表された文献 | | | | | | | | | |
| 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの | | 「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 | | | | | | | | | |
| 「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 | | 「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 | | | | | | | | | |
| 「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) | | 「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 | | | | | | | | | |
| 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | | 「&」同一パテントファミリー文献 | | | | | | | | | |
| 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | | | | | | | | | | | |
| 国際調査を完了した日 20.02.2015 | | 国際調査報告の発送日 03.03.2015 | | | | | | | | | |
| 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) 清水 督史 | 2 J 3610 | | | | | | | | |
| | | 電話番号 03-3581-1101 内線 3252 | | | | | | | | | |

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 5 / 0 5 2 7 6 6 |
|-----------------------|---|--------------------------------------|
| 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 | JP 2013-213707 A (国立大学法人東北大学) 2013.10.17, 全文、全 図 (ファミリーなし) | 1-10 |
| A | WO 2013/047538 A1 (国立大学法人秋田大学) 2013.04.04, 全文、全 図 & US 2014/0218016 A1 | 1-10 |
| A | WO 2013/047537 A1 (国立大学法人秋田大学) 2013.04.04, 全文、全 図 & EP 2762896 A1 | 1-10 |

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。