

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4354397号
(P4354397)

(45) 発行日 平成21年10月28日(2009.10.28)

(24) 登録日 平成21年8月7日(2009.8.7)

(51) Int.Cl.

F 1

G O 1 N 13/22 (2006.01)
G O 1 N 13/10 (2006.01)G O 1 N 13/22 1 O 1
G O 1 N 13/10 1 3 1

請求項の数 2 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2004-375425 (P2004-375425)
 (22) 出願日 平成16年12月27日 (2004.12.27)
 (65) 公開番号 特開2006-184043 (P2006-184043A)
 (43) 公開日 平成18年7月13日 (2006.7.13)
 審査請求日 平成18年2月22日 (2006.2.22)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74) 代理人 100074099
 弁理士 大菅 義之
 (74) 代理人 100067987
 弁理士 久木元 彰
 (72) 発明者 遠藤 康浩
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72) 発明者 若菜 伸一
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】磁気力顕微鏡用の磁界発生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

それぞれ異なる位置に分離した磁界を発生し、各々が磁界を局所的に発生させる磁極対からなり、少なくとも2つ以上の磁極幅が異なる複数の磁界発生部を有する磁界発生装置により形成される磁界分布内を走査し磁界強度分布を測定する探針手段と、

前記走査により得られた測定結果を用いて、前記探針手段の測定距離の較正を行う処理手段と

を備えることを特徴とする磁気力顕微鏡。

【請求項 2】

それぞれ異なる位置に分離した磁界を発生し、各々が磁界を局所的に発生させる磁極対からなり、少なくとも2つ以上の磁極幅が異なる複数の磁界発生部を有する磁界発生装置により形成される磁界分布内を走査し磁界強度分布を測定するように、磁気力顕微鏡を制御し、

前記走査により得られた測定結果を用いて、前記磁気力顕微鏡の探針手段の測定距離の較正を行う

処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気力を測定する磁気力顕微鏡用の磁界発生装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、ハードディスクのような高密度に磁化された磁気記録媒体や磁性体試料の磁化パターンの測定を可能とする磁気力顕微鏡が実用化されている（例えば、非特許文献1参照）。磁気力顕微鏡は、非接触で物理量を測定する走査型力顕微鏡の一種であり、強磁性材料を用いて構成される探針部（プローブ）とレバー部からなるカンチレバーを測定対象表面に近づけて、それらの間に働く磁気力を測定することができる。

【0003】

プローブを測定対象表面からわずかに浮上させ、非接触状態で走査したとき、測定対象とプローブとの間に磁気力が働くと、プローブを保持しているレバー部に撓みが生じる。この撓みを光てこ法等で検出し、位置毎の磁気力を測定してマッピングすることで、磁化パターンの測定が可能となる。

10

【0004】

磁気力顕微鏡の前身である原子間力顕微鏡用のカンチレバープローブは、特性に個体差があるため、測定前にプローブの感度較正を行う必要がある。その較正方法としては、プローブを機械的な振動手段により振動させ、加振強度と周波数に対して最適な振動振幅が得られるように、プローブの周波数特性を較正するのが一般的である。

【0005】

一方、磁気力顕微鏡においても、磁気力顕微鏡用のカンチレバープローブそのものの磁気特性に個体差があるが、これを較正する手段は実用化されていない。このため、磁気力顕微鏡においても、原子間力顕微鏡と同様の周波数特性較正方法が用いられているに過ぎず、プローブの磁気特性の個体差を較正できないのが現状である。

20

【0006】

これに対して、プローブを機械的に振動させた状態で直流磁界を加え、振動周波数変化を較正する方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

また、磁気力顕微鏡を利用して、測定対象の記録ヘッドから高周波の磁界を発生させて磁気力を測定する磁気記録ヘッド測定装置も知られている（例えば、特許文献2参照）。

【非特許文献1】 “THE DIGITAL INSTRUMENTS DIMENSION 3100 SCANNING PROBE MICROSCOPE (SPM)”, [online], [平成16年9月17日検索], インターネット<URL: http://www.veeco.com/html/datasheet_d3100.asp>

30

【特許文献1】特開平07-072229号公報

【特許文献2】特開2001-266317号公報

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

上述のように、磁気力顕微鏡用のカンチレバープローブ自身は個体差を持っており、プローブに用いられる磁性体の膜厚やプローブ先端の形状にばらつきがある。このため、検出磁界強度のほか、測定距離にばらつきが発生してしまうが、現在実用化されている方法ではこれらのばらつきを較正することはできない。また、プローブを機械的に振動させる方法でも、測定距離に関する補正を行うことはできない。

40

【0008】

本発明の課題は、磁気力顕微鏡のカンチレバープローブの測定距離に関する較正を行うことである。

【課題を解決するための手段】**【0009】**

図1は、本発明の磁界発生装置の原理図である。図1の磁界発生装置は、磁気力顕微鏡の較正に用いる装置であって、それぞれ異なる位置に分離した磁界を発生する複数の磁界発生部101-i (i = 1, 2, . . . , n)を備える。これらの磁界発生部の各々は、磁界を局所的に発生させる磁極対または線状の導体からなり、少なくとも2つ以上は、外形、形状、寸法のいずれかが異なる。

50

【0010】

このような磁界発生装置を磁気力顕微鏡によりスキャンして磁界強度を測定すれば、スキャン方向におけるそれぞれの磁界発生部の外形、形状、寸法のいずれかに対応する距離の測定値が得られる。これらの測定値を用いることで、プローブの測定距離に関する個体差を正確に較正することができる。

【発明の効果】**【0011】**

本発明によれば、磁気力顕微鏡のプローブの絶対強度と測定距離を較正することが可能になる。このため、装置としての磁界強度検出出力および測定距離の絶対値が保証され、再現性が良く、信頼できるものとなる。これにより、磁気ヘッド等のサンプルの検査精度が向上し、製品の歩留まり向上とコストダウンにつながる。10

【発明を実施するための最良の形態】**【0012】**

以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための最良の形態を詳細に説明する。

本実施形態の磁界発生装置では、磁界発生部を複数個配置し、これらを用いて磁気力顕微鏡用のカンチレバープローブの強度感度較正および測定距離較正を行う。複数の磁界発生部のうち、少なくとも2つ以上はそれぞれ外形、形状、寸法のいずれかが異なり、任意の交流磁界の発生が可能である。これらの磁界発生部をカンチレバープローブにてスキャンすることで、磁界発生部の違いに応じた強度と距離の測定値が得られ、この測定値の差を用いてプローブの個体差を正確に較正する。これにより、カンチレバープローブを交換した場合にも、磁界に対するプローブの絶対強度と測定距離を正確に較正することができる。20

【0013】

図2は、このような磁界発生装置の構成例を示している。図2の磁界発生装置は、コア201、高周波駆動用コイル202、および高周波電源203からなる。

コア201上には、6つの磁極領域204-1、204-2、205-1、205-2、206-1、および206-2が形成されており、磁極領域204-1と磁極領域204-2は磁界発生部（磁極対）Aを構成する。同様に、磁極領域205-1と磁極領域205-2は磁界発生部Bを構成し、磁極領域206-1と磁極領域206-2は磁界発生部Cを構成する。このような磁界発生構造により、異なる位置にそれぞれ分離した局所的な磁界が発生する。30

【0014】

また、高周波電源203を用いてコイル202に電流を流すことにより、磁界発生部A～Cは、任意の強度の高周波磁界を発生することができる。カンチレバー211にはプローブ212が設けられており、プローブ212を用いて各磁界発生部により発生される磁界の強度が測定される。

【0015】

図3は、図2の磁界発生装置を用いてプローブ212の較正を行う較正装置の構成図である。図3の較正装置は、磁界発生装置に加えて、カンチレバー211、光検出器301、レーザ光源302、XYZスキャナ303、およびパーソナルコンピュータ（PC）304からなる磁気力顕微鏡を備える。40

【0016】

磁界発生装置のコア201を上面から見ると、図4に示すように、磁界発生部A～Cが一列に並んだ磁界発生パターンが形成されている。この例では、磁界発生部A、B、およびCの磁極領域の幅（磁極幅）は、それぞれ、750nm、1000nm、および500nmとなるように設計されている。

【0017】

PC304は、磁気力顕微鏡の全体と高周波電源203とを制御する。高周波電源203は、PC304からの指示に従って、実際に磁気ヘッド等のサンプルを測定する場合と同様の周波数でコイル202を駆動する。ここでは、例えば、100MHz程度の高周波50

磁界を発生させ、高周波磁気力顕微鏡で測定できるように、60 kHz程度の正弦波にて振幅変調が行われる。

【0018】

このような駆動状態において、XYZスキャナ303は、PC304からの指示に従つて、プローブ212が異なる幅の1列に並んだ磁界発生部A～Cの上をスキャンするよう に、カンチレバー211を移動させる。このとき、カンチレバー211は、磁界発生部A～Cが発生する磁界の影響を受け、磁界強度に応じた振幅で振動を開始する。

【0019】

レーザ光源302から射出されたレーザ光は、振動するカンチレバー211により反射され、反射光が光検出器301に入射する。光検出器301は、入射光の位置の変位を検出し、それをカンチレバー211の振幅を示す信号としてPC304に出力する。光検出器301としては、例えば、PSD(Position Sensitive Detector)が用いられる。

【0020】

こうして、スキャン動作中に光検出器301から出力される振幅信号から、図4に示すようなラインプロファイル401が得られる。ラインプロファイル401は、スキャン方向の距離に対する磁界強度の変化を表しており、磁界発生パターンの各磁極幅に応じた磁界強度の分布に対応している。

【0021】

PC304は、得られたラインプロファイル401から、それぞれの磁界発生部の磁極幅に相当する距離を求め、図5に示すように、磁極幅の設計値を横軸、その測定値を縦軸とする平面上にプロットする。そして、プロットされた点を結ぶ直線501の切片502と傾きを最小二乗法等により算出し、プローブの固有値として保存する。この固有値は、プローブのばらつきに相当する特徴を示しており、プローブ毎に固有値を算出して比較することで、プローブ毎の測定距離に関するばらつきを較正することができる。なお、切片502のみを固有値として採用してもよい。

【0022】

また、磁界強度に関しては、図2の磁界発生構造の場合、各磁極対からは異なる強度の磁界が発生する。PC304は、例えば、図6に示すように、測定強度と磁界発生強度の設計値との比を磁界発生部毎に算出し、その平均値601を求めてことで、磁界強度に関するプローブの固有値を算出する。

【0023】

本実施形態では、同一のコイル構造を用いて3つの磁界発生部を駆動しているが、これに限らず、磁界発生部毎に別の駆動用コイルを組み込み、任意の磁界を発生させた場合でも、同様の効果が得られる。

【0024】

また、カンチレバー211を移動させる代わりに、磁界発生装置を搭載したステージを移動させてスキャン動作を行ってもよい。

MHzオーダの高周波磁界測定時には、kHzオーダの低周波磁界や直流磁界測定時と比べて、測定感度が桁のオーダで低下することが知られている。そのため、本実施形態のように、実際に磁気力顕微鏡を使用する駆動周波数にて磁界発生部を駆動することが重要である。これにより、正確なプローブの絶対強度較正が可能となる。

【0025】

図7は、図3の較正装置による較正処理のフローチャートである。較正処理は、磁界発生装置の測定701と実サンプルの測定702に大別される。

磁界発生装置の測定701では、まず、較正装置は、プローブ212を用いてコア201上の複数の磁界発生部をスキャンすることで、ラインプロファイルを取得する(ステップ711)。

【0026】

次に、PC304は、得られたラインプロファイルから各磁界発生部の磁極幅を算出し(ステップ712)、図5のような平面上にプロットして、最小二乗法により近似直線を

10

20

30

40

50

算出する（ステップ713）。そして、その直線の切片と傾きをプローブの固有値としてメモリに登録する（ステップ714）。

【0027】

また、ラインプロファイルから各磁界発生部が発生する磁界のピーク強度を算出し（ステップ715）、ピーク強度と設計強度との比を算出する（ステップ716）。そして、複数の磁界発生部について算出された比の平均値を求め、プローブの固有値としてメモリに登録する（ステップ717）。

【0028】

実サンプルの測定702では、まず、較正装置は、プローブ212を用いてサンプル上をスキャンすることで、ラインプロファイルを取得する（ステップ721）。 10

次に、メモリに登録されている各固有値を用いて測定結果を較正する（ステップ722）。サンプル上の測定距離については、測定値から固有値を減算することで正しい距離が得られ、測定強度については、測定値に固有値の逆数を乗算することで正しい強度が得られる。

【0029】

このように、磁界発生装置を高周波駆動して磁界分布を測定することで、プローブの固有値を算出することができ、測定距離と強度に関するばらつきを較正することが可能になる。さらに、磁界発生装置を磁気力顕微鏡装置のステージ上に配置し、プローブ交換時等に必要に応じて較正を行うことで、絶対測定値の保証された磁気力顕微鏡装置の提供が可能になる。なお、較正に関する計算アルゴリズムは、図5および6に示したものに限定されるわけではない。 20

【0030】

磁界発生装置としては、図2に示したものの他にも、様々な構造のものを用いることができる。図8～11は、磁界発生装置を上面から見た場合のいくつかの異なる磁界発生パターンの例を示している。

【0031】

図8の磁界発生パターンは、図4に示したパターンとほぼ同様であるが、複数の磁界発生部の一方の磁極が一体型に形成されている。図9の磁界発生パターンも、図4に示したパターンとほぼ同様であるが、複数の磁界発生部の一方の磁極と他方の磁極がそれぞれ一体型に形成されている。これらの磁界発生パターンを用いた場合でも、異なる位置にそれぞれ分離した磁界が発生し、図2の磁界発生装置と同様の効果が得られる。 30

【0032】

図10の磁界発生パターンは、磁極構造を持たない単純なメタル配線（環状の導体）による1ターンコイルパターン構造を用いた複数の磁界発生部からなる。磁界発生部毎に異なる寸法、形状、巻き数のコイルパターンを形成することで、図2の磁界発生装置と同様の効果が得られる。

【0033】

図11の磁界発生パターンは、磁極構造を持たない単純なメタル配線（線状の導体）によるライン&スペースパターン構造を用いた複数の磁界発生部からなる。磁界発生部毎に異なる寸法、形状のラインパターンやライン&スペースパターンを形成することで、図2の磁界発生装置と同様の効果が得られる。 40

【0034】

以上説明した磁界発生装置では3つの磁界発生部が形成されているが、一般には、2つ以上の任意の数の磁界発生部が形成される。そのうち、少なくとも2つ以上の磁界発生部の外形、形状、寸法のいずれかが異なっていればよい。

【0035】

図12は、図3のPC304に相当する情報処理装置の構成図である。図12の情報処理装置は、CPU（中央処理装置）1201、メモリ1202、入力装置1203、出力装置1204、外部記憶装置1205、媒体駆動装置1206、およびネットワーク接続装置1207を備え、それらはバス1208により互いに接続されている。 50

【0036】

メモリ1202は、例えば、ROM (read only memory)、RAM (random access memory) 等を含み、処理に用いられるプログラムおよびデータを格納する。CPU1201は、メモリ1202を利用してプログラムを実行することにより、磁気力顕微鏡の制御および較正のために必要な処理を行う。

【0037】

入力装置1203は、例えば、キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル等であり、オペレータからの指示や情報の入力に用いられる。出力装置1204は、例えば、ディスプレイ、プリンタ、スピーカ等であり、オペレータへの問い合わせや処理結果等の出力に用いられる。

10

【0038】

外部記憶装置1205は、例えば、磁気ディスク装置、光ディスク装置、光磁気ディスク装置、テープ装置等である。情報処理装置は、この外部記憶装置1205に、プログラムおよびデータを格納しておき、必要に応じて、それらをメモリ1202にロードして使用する。

【0039】

媒体駆動装置1206は、可搬記録媒体1209を駆動し、その記録内容にアクセスする。可搬記録媒体1209は、メモリカード、フレキシブルディスク、光ディスク、光磁気ディスク等の任意のコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。オペレータは、この可搬記録媒体1209にプログラムおよびデータを格納しておき、必要に応じて、それらをメモリ1202にロードして使用する。

20

【0040】

ネットワーク接続装置1207は、LAN (Local Area Network) 等の任意の通信ネットワークに接続され、通信に伴うデータ変換を行う。情報処理装置は、必要に応じて、プログラムおよびデータを外部の装置からネットワーク接続装置1207を介して受け取り、それらをメモリ1202にロードして使用する。

【0041】

図13は、図12の情報処理装置にプログラムおよびデータを提供する方法を示している。可搬記録媒体1209やサーバ1301のデータベース1311に格納されたプログラムおよびデータは、情報処理装置1302のメモリ1202にロードされる。サーバ1301は、そのプログラムおよびデータを搬送する搬送信号を生成し、ネットワーク上の任意の伝送媒体を介して情報処理装置1302に送信する。CPU1201は、そのデータを用いてそのプログラムを実行し、必要な処理を行う。

30

【0042】

(付記1) 磁気力顕微鏡の較正に用いる磁界発生装置であって、それぞれ異なる位置に分離した磁界を発生する複数の磁界発生部を備え、該複数の磁界発生部のうち少なくとも2つ以上は外形、形状、寸法のいずれかが異なることを特徴とする磁界発生装置。

【0043】

(付記2) 前記複数の磁界発生部のうち少なくとも2つ以上は異なる強度の磁界を発生しうることを特徴とする付記1記載の磁界発生装置。

40

(付記3) 前記複数の磁界発生部のうち少なくとも2つ以上は任意の交流磁界を発生しうることを特徴とする付記1記載の磁界発生装置。

【0044】

(付記4) 前記複数の磁界発生部の各々は、磁界を局所的に発生させる磁極対からなることを特徴とする付記1、2、または3記載の磁界発生装置。

(付記5) 前記複数の磁界発生部の各々は、環状の導体からなることを特徴とする付記1、2、または3記載の磁界発生装置。

【0045】

(付記6) 前記複数の磁界発生部の各々は、線状の導体からなることを特徴とする付

50

記 1、2、または 3 記載の磁界発生装置。

(付記 7) それぞれ異なる位置に分離した磁界を発生する少なくとも 2 つ以上の外形、形状、寸法のいずれかが異なる磁界発生部を有する磁界発生装置により形成される磁界分布内を走査し磁界強度分布を測定する探針手段と、

前記走査により得られた測定結果を用いて、前記探針手段の較正を行う処理手段とを備えることを特徴とする磁気力顕微鏡。

【0046】

(付記 8) それぞれ異なる位置に分離した磁界を発生する少なくとも 2 つ以上の外形、形状、寸法のいずれかが異なる磁界発生部を有する磁界発生装置により形成される磁界分布内を走査し磁界強度分布を測定するように、磁気力顕微鏡を制御し、

10

前記走査により得られた測定結果を用いて、前記磁気力顕微鏡の探針手段の較正を行う処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【0047】

(付記 9) 前記測定結果として得られたラインプロファイルから、複数の磁界発生部のそれぞれの寸法の測定値を算出し、該測定値と該複数の磁界発生部のそれぞれの寸法の設計値とから、前記探針手段の固有値を算出し、サンプルの測定結果から得られた測定距離を該固有値を用いて較正する処理を、前記コンピュータに実行させることを特徴とする付記 8 記載のプログラム。

【図面の簡単な説明】

【0048】

20

【図 1】本発明の磁界発生装置の原理図である。

【図 2】第 1 の磁界発生装置の構成図である。

【図 3】較正装置の構成図である。

【図 4】磁界発生部の配置とラインプロファイルを示す図である。

【図 5】磁極幅の測定結果を示す図である。

【図 6】磁界強度の測定結果を示す図である。

【図 7】較正処理のフローチャートである。

【図 8】第 2 の磁界発生装置のパターンを示す図である。

【図 9】第 3 の磁界発生装置のパターンを示す図である。

【図 10】第 4 の磁界発生装置のパターンを示す図である。

30

【図 11】第 5 の磁界発生装置のパターンを示す図である。

【図 12】情報処理装置の構成図である。

【図 13】プログラムおよびデータの提供方法を示す図である。

【符号の説明】

【0049】

101 - 1、101 - 2、101 - n 磁界発生部

201 コア

202 高周波駆動用コイル

203 高周波電源

204 - 1、204 - 2、205 - 1、205 - 2、206 - 1、206 - 2 磁極領域

40

211 カンチレバー

212 プローブ

301 光検出器

302 レーザ光源

303 X Y Z スキヤナ

304 パーソナルコンピュータ

401 ラインプロファイル

501 直線

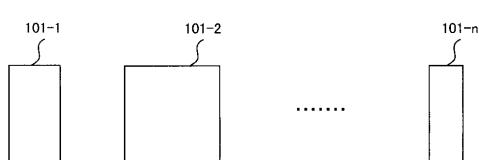
502 切片

50

6 0 1	平均値	
1 2 0 1	C P U	
1 2 0 2	メモリ	
1 2 0 3	入力装置	
1 2 0 4	出力装置	
1 2 0 5	外部記憶装置	
1 2 0 6	媒体駆動装置	
1 2 0 7	ネットワーク接続装置	
1 2 0 8	バス	10
1 2 0 9	可搬記録媒体	
1 3 0 1	サーバ	
1 3 0 2	情報処理装置	
1 3 1 1	データベース	

【図 1】

本発明の磁界発生装置の原理図

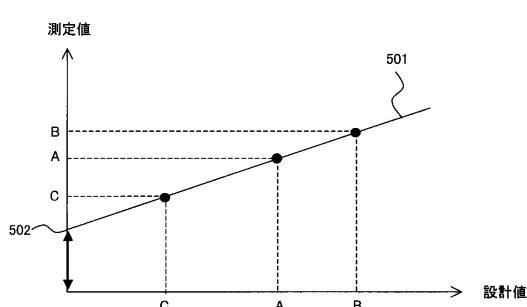
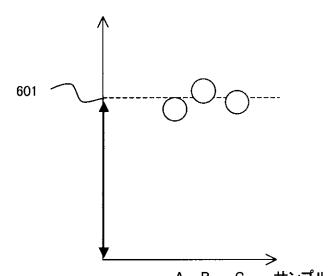


【図 5】

磁極幅の測定結果を示す図

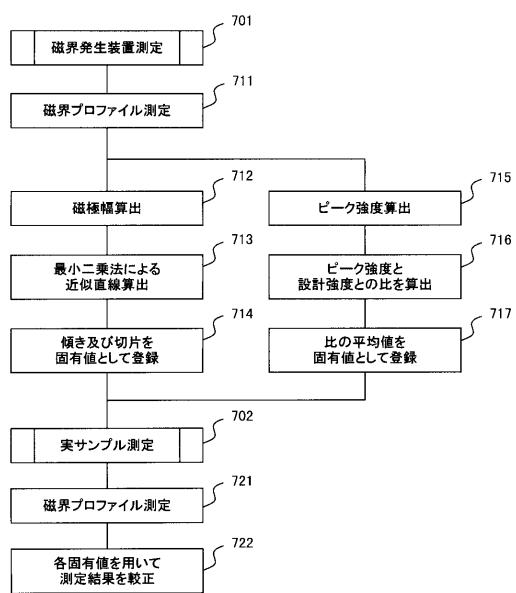
【図 6】

磁界強度の測定結果を示す図



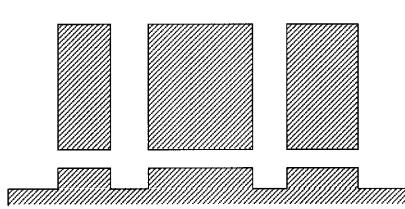
【図7】

較正処理のフローチャート



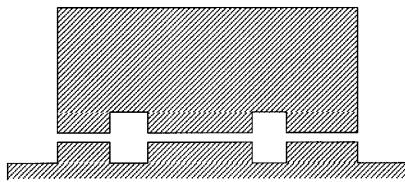
【図8】

第2の磁界発生装置のパターンを示す図



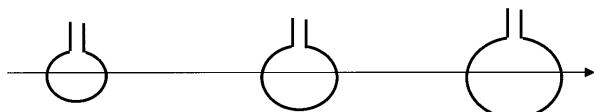
【図9】

第3の磁界発生装置のパターンを示す図



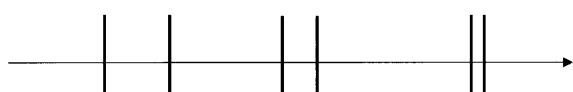
【図10】

第4の磁界発生装置のパターンを示す図



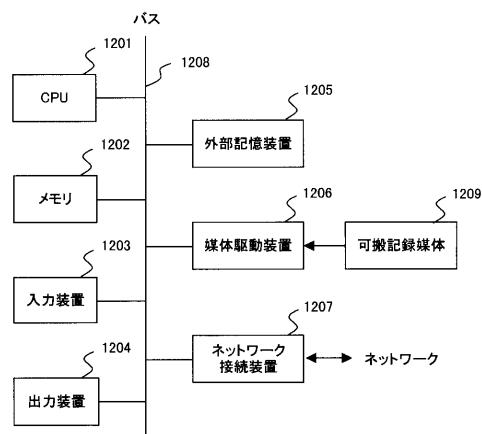
【図11】

第5の磁界発生装置のパターンを示す図



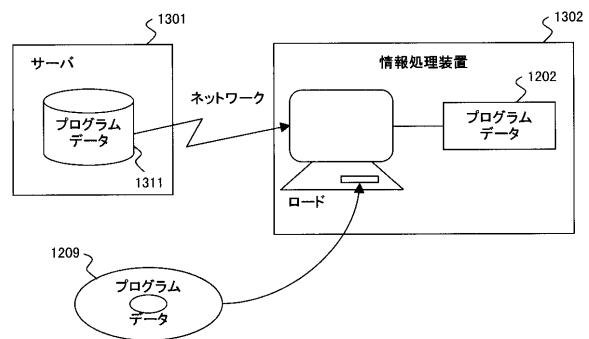
【図12】

情報処理装置の構成図



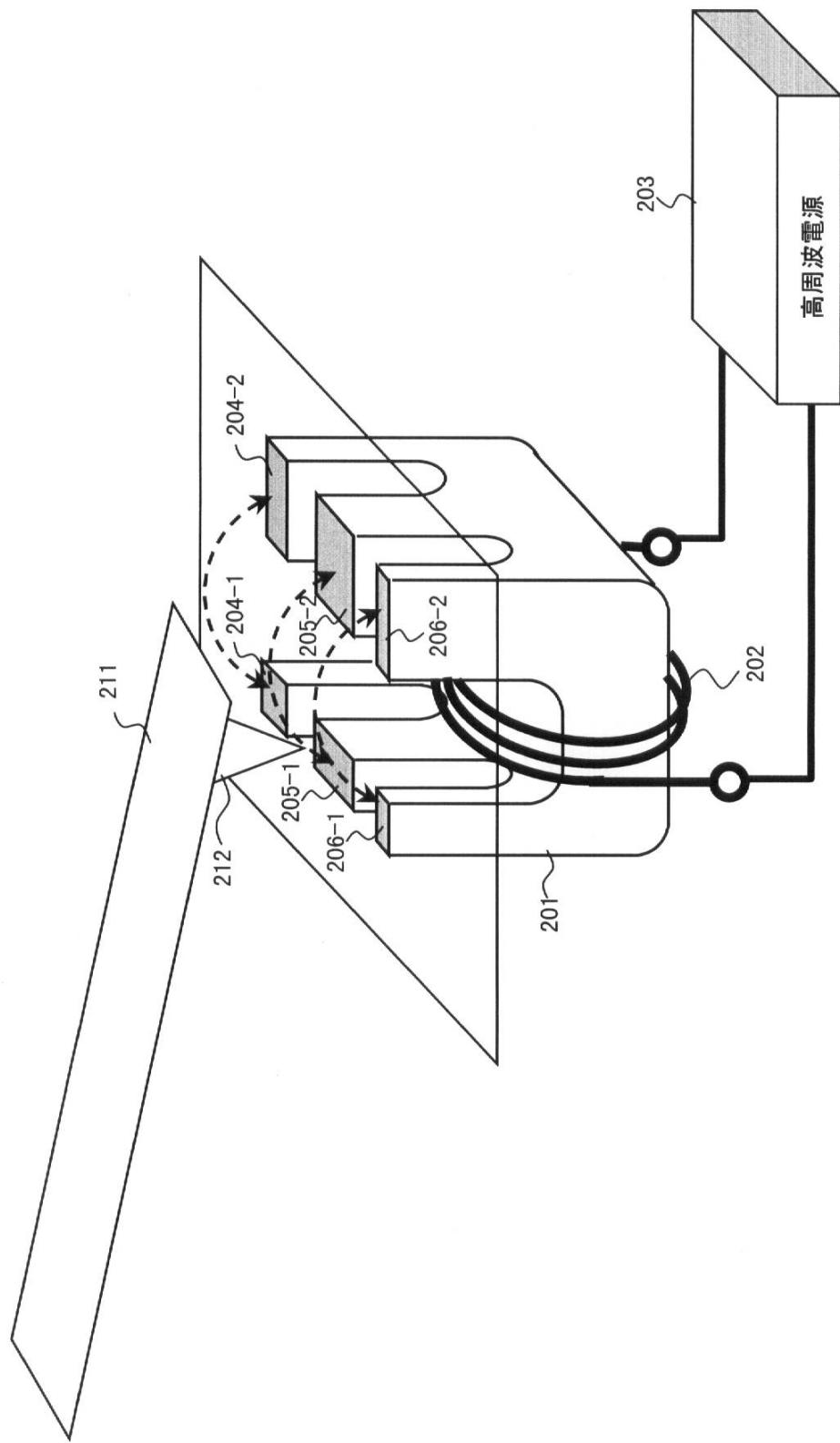
【図 1 3】

プログラムおよびデータの提供方法を示す図



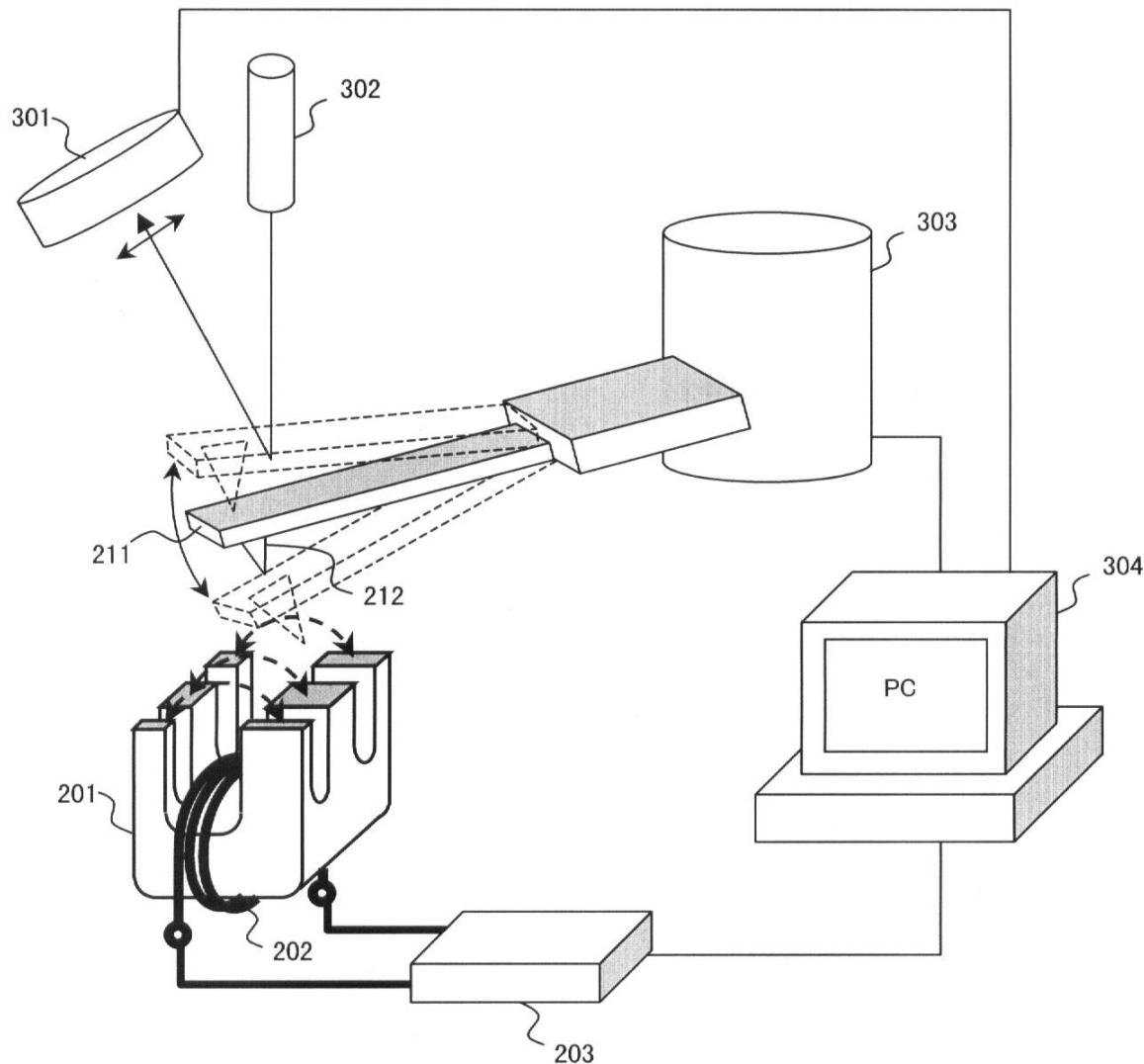
【図2】

第1の磁界発生装置の構成図



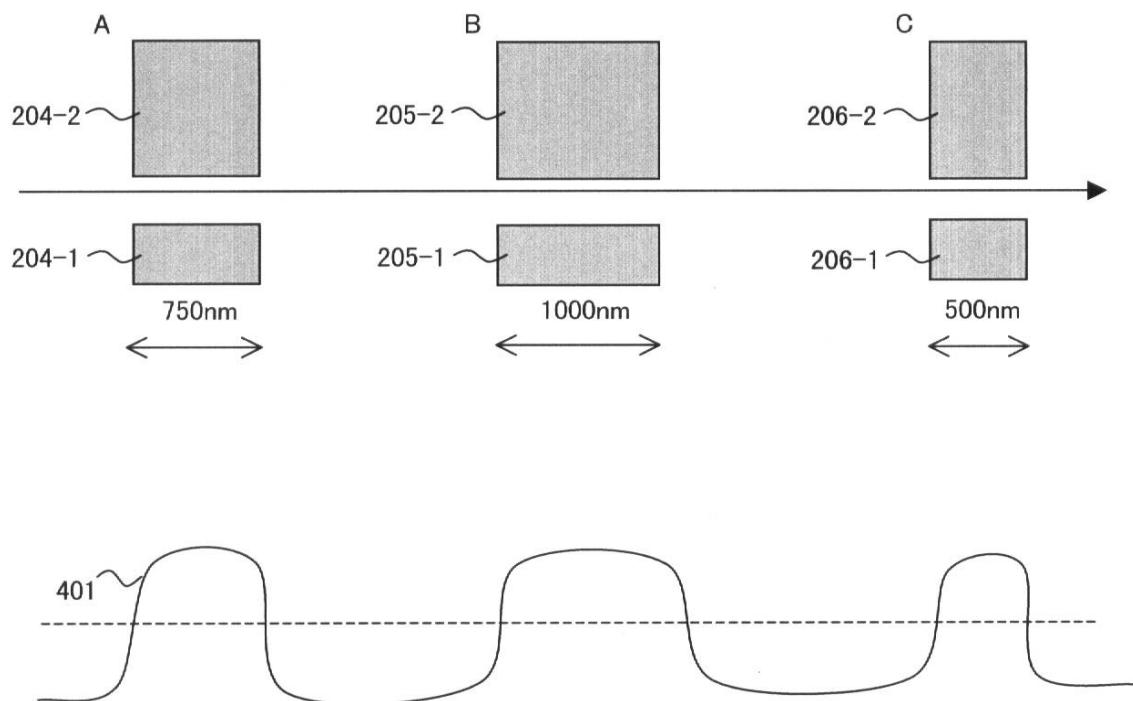
【図3】

較正装置の構成図



【図4】

磁界発生部の配置とラインプロファイルを示す図



フロントページの続き

審査官 渡辺 純也

- (56)参考文献 J. Lohau, et al , Quantitative determination of effective dipole and monopole moments of magnetic force microscopy tips , JOURNAL OF APPLIED PHYSICS , 米国 , American Institute of Physics , 1999年 9月15日 , Vol. 86, No. 6 , p3410 - p3417
Th. Kebe et al. , Calibration of magnetic force microscopy tips by using nanoscale current-carrying parallel wires , JOURNAL OF APPLIED PHYSICS , 米国 , American Institute of Physics , 2004年 2月 1日 , Vol. 95, No. 3 , p775 - p792
Linshu Kong, et al , Study of magnetic properties of magnetic force microscopy probes using micronscale current rings , J. Appl. Phys , 米国 , American Institute of Physics , 1997年 4月15日 , Vol. 81, No. 8 , p5026 - p5028

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 01 N 13 / 10 ~ 13 / 24
J S T P l u s (J D r e a m I I)