

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3610108号

(P3610108)

(45) 発行日 平成17年1月12日(2005.1.12)

(24) 登録日 平成16年10月22日(2004.10.22)

(51) Int.Cl.⁷

F I

G 1 1 B 9/14

G 1 1 B 9/14

F

G O 1 N 13/12

G 1 1 B 9/14

K

G O 1 N 13/12

D

請求項の数 11 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願平7-21215	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成7年1月13日(1995.1.13)		キャノン株式会社
(65) 公開番号	特開平8-194975		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成8年7月30日(1996.7.30)	(74) 代理人	100105289
審査請求日	平成13年11月28日(2001.11.28)		弁理士 長尾 達也
		(72) 発明者	小口 高弘
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キャノン株式会社内
		(72) 発明者	酒井 邦裕
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キャノン株式会社内
		審査官	鈴木 肇
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

支持体に支持され弾性を有するプローブとこれに対向する媒体との物理現象から生じる信号を検出して、該検出信号により算出されたプローブと媒体間の距離情報に基づく位置制御信号によってプローブと媒体間の位置制御を行いながら情報処理を行う情報処理装置において、

前記プローブと媒体間の位置制御が、プローブの位置決めを行う静電アクチュエータの電荷量を一定とする静電力制御によって行われることを特徴とする情報処理装置。

【請求項2】

前記電荷量を一定とする静電力制御を、プローブの位置決めを行う静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサの電荷量を検出し、これを所定値に制御する電圧 - 電荷変換手段によって行うようにしたことを特徴とする請求項1に記載の情報処理装置。

【請求項3】

前記電荷量の検出を、静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサと直列に接続した検出用コンデンサによって行うようにしたことを特徴とする請求項2に記載の情報処理装置。

【請求項4】

前記電荷量の制御を、静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサに流れ込む電流を検出する電流検出手段と、前記電流を所定値に制御する電流制御手段とで行

10

20

うようにしたことを特徴とする請求項 2 に記載の情報処理装置。

【請求項 5】

前記電流制御手段が、静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサと演算増幅器とからなる積分回路であることを特徴とする請求項 4 に記載の情報処理装置。

【請求項 6】

前記電流制御手段は、交流駆動信号の振幅変調乃至は周波数変調回路による制御信号によって電流を調整することを特徴とする請求項 4 に記載の情報処理装置。

【請求項 7】

前記プローブは、先端にティップを有する少なくとも 1 本以上の弾性体プローブであることを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理装置。

10

【請求項 8】

前記プローブは、カンチレバー構造であることを特徴とする請求項 7 に記載の情報処理装置。

【請求項 9】

前記プローブは、カンチレバー上の駆動電極とカンチレバー支持体上の支持電極間で構成されるコンデンサへの信号印加で駆動されるように構成されていることを特徴とする請求項 8 に記載の情報処理装置。

【請求項 10】

前記プローブは、両もち梁のねじれ弾性を利用したトーション構造であることを特徴とする請求項 7 に記載の情報処理装置。

20

【請求項 11】

前記プローブは、トーション構造のプローブ上の駆動電極とプローブ支持体の支持電極間で構成されるコンデンサへの信号印加で駆動されるように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の情報処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明はプローブと記録媒体との物理的相互作用により情報処理を行う情報処理装置、例えば記録再生装置、あるいは走査型トンネル顕微鏡 (STM) 等の情報処理装置に関する。

30

【0002】

【従来の技術】

近年、導体の表面原子の電子構造を直接観察できる走査型トンネル顕微鏡 (以後、STM と略す) が開発され [G. Binnig et al. Phys. Rev. Lett, 49, 57 (1982)]、単結晶、非晶質を問わず実空間像の高い分解能の測定ができるようになった。

STM は金属の探針 (ティップ) を有するプローブと導電性物質間に電圧を加え 1 nm 程度の距離まで近づけるとトンネル電流が流れることを利用している。

この電流は両者の距離変化に非常に敏感である。トンネル電流を一定に保つように探針を走査することにより実空間の全電子雲に関する種々の情報をも読み取ることができる。このとき内面方向の分解能は、0.1 nm 程度である。

40

したがって、STM の原理を応用すれば十分に原子オーダー (サブ・ナノメートル) での高密度記録再生を行うことが可能である。

例えば、特開昭 61-80536 号公報に開示されている記録再生装置では、電子ビーム等によって媒体表面に吸着した原子粒子を取り除き書き込みを行い、STM によりこのデータを再生している。

【0003】

また記録層として電圧電流のスイッチング特性に対してメモリ効果を持つ材料、例えば π 電子系有機化合物やカルコゲン化合物類の薄膜層を用いて、記録・再生を STM で行う方法が提案されている。(特開昭 63-161552 号公報、特開昭 63-161553 号

50

公報)

この方法によれば、記録ビットサイズを 10 nm として、 10^{12} bit/cm^2 もの大容量記録再生が可能である。

さらに、小型化を目的とし複数のプローブを半導体基板上に形成しこれと対向する記録媒体を変位させ記録する装置が提案されている(特開平1-196751号公報)。

例えば、 1 cm^2 角のシリコンチップ上に2500本のプローブを 50×50 のマトリック配置したマルチプローブヘッドと上述したメモリ効果を持つ材料を組み合わせることにより、1プローブ当たり400 Mbit、総記録容量1 Tbitのデジタルデータの記録再生が行える。

この際、このプローブを長さ数 $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度のカンチレバー(片もち梁)状に構成しプローブを静電力アクチュエータで駆動することにより、媒体に対して間隔制御を行う集積化プローブヘッドを用いた記憶装置が提案されている。(特開昭62-281138号公報)

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、実際にプローブとこれに対向する媒体を組み合わせることで記録再生等の情報処理を行うためにはつぎのような問題があった。

記録再生等の情報処理時にプローブと対向する媒体間の距離を精度よく制御する必要がある。

例えばプローブの位置制御を行うアクチュエータとして静電アクチュエータを用いる場合、静電力を発生する電極への印加電圧を制御して定電圧駆動により変位制御を行う方法があった。

この場合、静電力を発生する電極間の距離が変わると印加電圧に変化がなくても生じる発生力が変化する。

即ちプローブと媒体間の距離制御のため静電力を発生する電極間の制御電圧を決定し定電圧駆動を行うと、静電力を発生するアクチュエータの電極間距離が変化し、静電引力が増大する可能性があった。

【0005】

このように定電圧駆動下で大きな静電力発生状態が発現すると、静電力増加と電極間距離変化という制御ループが正帰還するようになって、アクチュエータは制御不能状態となってしまう。

そこで静電力を用いたアクチュエータでは、正帰還状態が発現しないように例えば電極間距離を制御距離に対して大きくして用い、電極間距離の変化を相対的に小さくしていた。この方法で、アクチュエータのストロークを大きくしようとすると、駆動電圧値を大きくしたり、アクチュエータの弾性定数や回転モーメントを小さくする必要があった。しかしこれでは投入電力が大きくなったり、アクチュエータ設計の自由度がないなどあまり良い方法とは言えなかった。

【0006】

そこで、本発明は、上記問題を解決し、静電力制御によるプローブの位置制御において、正帰還状態の静電力が発生しないようにした記録再生装置、あるいは走査型トンネル顕微鏡(STM)等の情報処理装置を提供することを目的としている。

【0007】

【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、つぎのような特徴を有する情報処理装置を提供するものである。

すなわち、本発明の情報処理装置は、

第1は、支持体に支持され弾性を有するプローブとこれに対向する媒体との物理現象から生じる信号を検出して、該検出信号により算出されたプローブと媒体間の距離情報に基づく位置制御信号によってプローブと媒体間の位置制御を行いながら情報処理を行う情報処理装置において、前記プローブと媒体間の位置制御が、プローブの位置決めを行う静電ア

10

20

30

40

50

クチュエータの電荷量を一定とする静電力制御によって行われることを特徴とする。

第2は、前記電荷量を一定とする静電力制御を、プローブの位置決めを行う静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサの電荷量を検出し、これを所定値に制御する電圧-電荷変換手段によって行うようにしたことを特徴とする。

第3は、前記電荷量の検出を、静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサと直列に接続した検出用コンデンサによって行うようにしたことを特徴とする。

第4は、前記電荷量の制御を、静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサに流れ込む電流を検出する電流検出手段と、前記電流を所定値に制御する電流制御手段とで行うようにしたことを特徴とする。

第5は、前記電流制御手段が、静電アクチュエータの駆動電極間に形成される等価コンデンサと演算増幅器とからなる積分回路であることを特徴とする。 10

第6は、前記電流制御手段は、交流駆動信号の振幅変調乃至は周波数変調回路による制御信号によって電流を調整することを特徴とする。

第7は、前記プローブは、先端にチップを有する少なくとも1本以上の弾性体プローブであることを特徴とする。

第8は、前記プローブは、カンチレバー構造であることを特徴とする。

第9は、前記プローブは、カンチレバー上の駆動電極とカンチレバー支持体上の支持電極間で構成されるコンデンサへの信号印加で駆動されるように構成されていることを特徴とする。

第10は、前記プローブは、両もち梁のねじれ弾性を利用したトーション構造であることを特徴とする。 20

第11は、前記プローブは、トーション構造のプローブ上の駆動電極とプローブ支持体の支持電極間で構成されるコンデンサへの信号印加で駆動されるように構成されていることを特徴とする。

【0008】

【作用】

本発明によれば、このように、プローブとこれに対向する媒体との物理現象から生じる信号を検出して、該検出信号に基づく位置制御信号によってプローブの位置制御を行いながら情報処理を行う情報処理装置において、前記プローブの位置制御が電荷量を一定とする静電力制御によって、正帰還状の静電力の発生を防止するようにされており、一定電圧制御という通常の静電力駆動型アクチュエータの制御方法に対して制御性が大きく改善される。特に静電引力の大きな変化を防いで、安定制御が可能になる。 30

【0009】

つぎに、この原理を簡単に説明する。

例えば、簡単のために面積 S を持ち、ギャップ d で隔てられた2つの導体に電圧 V を与えたときに働く力 F を考える。

まず、この平板コンデンサーを印加電圧 V を一定とするように駆動したとき、働く力 F を考えてみる。

一定の変位 (Δz) で、平板コンデンサーのエネルギーが ΔW 変化し、この時のコンデンサ容量変化 ΔC 、コンデンサに入る電荷量変化 ΔQ とすると 40

$$\Delta W = -F \cdot \Delta z + V \cdot \Delta Q$$

ここで、 $\Delta W = 1/2 \cdot \Delta C \cdot V^2$ 、 $\Delta Q = V \cdot \Delta C$ より

$$F = 1/2 \cdot V^2 \cdot dC/dz \quad \dots (1)$$

$$(1) \text{より、} F = -1/2 \cdot \epsilon_0 \cdot S \cdot (V/d)^2 \quad \dots (2)$$

(但し ϵ_0 は、真空の誘電率)

(2)式より明らかなように、発生する力は印加電圧の2乗に変化し、同時にギャップ d の変化に対しても大きく静電力が変化する。従って z 方向に働く静電力で駆動を行うアクチュエータは、駆動により電極間の距離が変化し近づいた場合、一層の引力が働き、正帰還状に増大する引力が発生する場合がある。

一方、平板コンデンサーにたまる電荷が一定となるように駆動したときに働く力を考えて 50

みる。電極が Δz だけ変化し、 C が ΔC 変化すると

$$\Delta W = - F \cdot \Delta z$$

$$F = 1 / 2 \cdot (Q / C)^2 \cdot dC / dz \quad \dots (3)$$

$$(3) \text{ より、 } F = - 1 / (2 \cdot \epsilon_0 \cdot S) \cdot Q^2 \quad \dots (4)$$

(4) によれば、発生する静電力は、ギャップ z の変化によらず一定となる。従って電荷量を一定となる制御を行っていれば、正帰還状の静電力が発生することはない。

【0010】

以下に、本発明の実施例を図面に基づき説明する。

【0011】

【実施例1】

10

図1に本発明の実施例1として、プローブ制御方法を用いたSTMの構成図を示す。

本実施例に示すSTMは観察試料とこれに対向するプローブの間にバイアス電圧を印加した際、流れるトンネル電流を検出するものである。

1は観察試料であり、これに接近してプローブ2が対向している。

プローブ2は図示せぬ積層型圧電素子等のZ微動機構に取り付けられている。

プローブ2は静電力によりZ方向に駆動可能なカンチレバー型アクチュエータであり、電圧印加でZ方向に変位する。

またカンチレバーの一端には先鋭な導電性のTip(ティップ)3が形成され、対向する観察試料間を流れるトンネル電流を検出する。

【0012】

20

この時用いたプローブの構成について説明する。

プローブ2は静電力駆動型のカンチレバーである。カンチレバー型プローブは支持体9上に絶縁層10を介して作製されている。そしてプローブ2は支持体9及びプローブ2側に構成した駆動電極11間にアクチュエータ駆動信号を印加することによりZ方向に変位する。

表面観察時、プローブ2と試料1の間にバイアス回路4によりバイアス電圧を印加した状態でZ微動機構を動かし、トンネル電流が流れる程度までプローブを試料に近づけ両者間の距離を一定とするようにプローブ2を制御しサーボをかけておく。

この状態でXY微動駆動回路5を介してXY微動駆動機構6を2次元走査し、表面観察を行う。

30

この時試料表面の微小な凹凸により変化したトンネル電流(J_t)が検出される。これを制御回路7に取り込みXY走査信号に同期して処理することでSTM像を得る。

STM像はトンネル電流像とトポ像(距離制御信号像)に対し二次元FFTなどの画像処理を行った後、トンネル電流像とトポ像をディスプレイ8に出力する。また観察場所を変えるときには、図示せぬXY粗動機構により試料をXY方向に移動させ、所望の領域にプローブ2を移動して観察を行う。

【0013】

制御回路は試料観察時にプローブと試料間の距離が一定となるようにサーボをかけている。

図1においてプローブ2から検出したトンネル電流 J_t は、電流電圧変換回路12で電圧に変換される。

40

この電流電圧変換回路12出力(V_t)を対数変換回路13に入力し、対数変換回路出力 $\log(V_t)$ はZサーボ回路14に入る。

Zサーボ回路14では、対数回路出力 $\log(V_t)$ からプローブと試料間の距離が一定になるように距離制御信号15を出力する。

V-Q変換回路16は距離制御信号15をアクチュエータ駆動信号17と変換し、プローブをZ方向に駆動する静電駆動用電極に印加する。

この制御信号でアクチュエータを静電力駆動することによりプローブと試料間の距離は一定に保たれる。

【0014】

50

続いて本発明の特徴であるZサーボ回路14、V-Q変換回路16について図2を用いて説明する。図2において対数変換回路13出力 $\log(Vt)$ はZサーボ回路14に入る。プローブ-媒体間を流れる電流がトンネル電流の場合、 $\log(Vt)$ 出力はプローブ媒体間の距離信号に比例している。これを一定とするようにZサーボ回路14は距離制御信号15を出力する。まず $\log(Vt)$ 出力は減算器201に入り、距離設定値Z0との減算を行ってエラー信号(err)となる。続いてエラー信号 err はPI制御回路202に入り、比例積分制御されて距離制御信号15(:V)となる。PI制御回路202は入力 err に対して以下の制御信号を発生する。

【0015】

$$V = K_p \cdot err + K_i \cdot \int err \quad \dots (5)$$

10

ただし K_p 、 K_i は制御パラメータ。

この距離制御信号15は、V-Q変換回路(図1の16)により電荷制御信号であるアクチュエータ制御信号17となって、静電力を発生する駆動電極間に印加される。

【0016】

前述したように静電力制御のため、本発明では静電駆動電極間の電荷量を一定とするように駆動している。この定電荷量駆動のための電圧-電荷変換回路(V-Q変換回路)16について以下説明する。V-Q変換回路は、入力電圧信号を静電駆動電極間に形成されるコンデンサにたまる電荷量を制御する電荷信号に変換し、これにより静電アクチュエータを駆動している。

図2において、V-Q変換回路には、静電駆動電極間のコンデンサと直列に漏れ電流の小さな検出用コンデンサ204が入っている。この検出用コンデンサの容量を C_x とすると

20

$$Q = V \cdot C_x \quad (V \text{ は演算増幅器の入力電圧})$$

の電荷量がプローブ駆動電極間のコンデンサにたまる様に、演算増幅器203は機能する。従って演算増幅器203の入力電圧 V を与えることで電圧-電荷変換が行われ、プローブ駆動電極間に形成されるコンデンサの電荷量制御が可能になる。

【0017】

実施例ではプローブをZ方向に駆動するアクチュエータとして静電力でZ方向に駆動可能なカンチレバー型アクチュエータを用いた。静電力駆動のカンチレバーのZ変位は、カンチレバーのサイズが幅 W 、長さ L 、厚さ t で、駆動電極間の電荷量 Q とする時、以下の式で表される。

30

プローブ先端のZ方向の変位量(δ :ギャップ変化量)は、

$$\delta = 3/4 \times 1/(\epsilon_0 \cdot E) \times L^2 \times 1/(W^2 \cdot t^3) \times Q^2 \quad \dots (6)$$

(ただし E はヤング率。 ϵ_0 は真空の誘電率)

(6)式により、変位量を見積もり、V-Q変換回路16で電荷量を制御しながらプローブのZ方向の位置制御を行った。

【0018】

なお、本実施例においては、平行電極間のギャップは一定であるとした。しかし駆動電極の一方が傾いている場合においても同じように検討できる。

40

即ち、ギャップの一方が $d+a$ 、他方が $d-a$ と傾いていた場合を考える。

この場合の静電容量 C は、

$$\begin{aligned} C &= \epsilon_0 \cdot W \cdot L / (2a) \cdot \ln \{ (1+a/d) / (1-a/d) \} \\ &= \epsilon_0 \cdot W \cdot L / d \{ 1 + 1/3 (a/d)^2 + 1/5 (a/d)^4 + \dots \} \\ &\sim \epsilon_0 \cdot W \cdot L / d \quad (a < 1/5 d \text{ の時}) \quad \dots (7) \end{aligned}$$

と、平行電極間隔が一定の場合($a=0$ の場合)の静電容量とほとんど変わらない。

即ち駆動電極の一方が傾いている場合にも、電極間にかかる静電力は印加電極間の電荷量

50

を一定とする制御により、正帰還状に増大する現象を発生しないで制御できる。

【0019】

このように静電駆動電極間の電荷量を一定とする制御方法により、アクチュエータを制御不能とする変位応答させることなく、常にプローブ-媒体間のフィードバック制御を実現し、安定したSTM像を取得が可能になった。

なお、本実施例ではアクチュエータの駆動電極間の電荷量を駆動電極間に形成される等価コンデンサと直列に並べたコンデンサ電位でモニタ、制御したが、この方法以外にも例えば積分回路により、駆動電極間に形成される等価コンデンサの電荷量を算出しこの電荷量を一定とする制御を行っても良い。

また、アクチュエータの駆動電極間の等価コンデンサ容量を測定し、印加電圧を決定することで電荷量を制御しても良い。 10

【0020】

【実施例2】

図3に本発明による第二の実施例としてマルチプローブを有する記録再生装置の構成図を示す。

本実施例に示す記録再生装置は記録媒体と、これに対向したプローブの間にバイアス電圧を印加した際に流れるトンネル電流を検出する複数本のプローブを用いて情報のやりとりを行うものである。

図3に従い、記録再生装置の構成について説明する。

302は記録媒体であり、これに接近してマルチプローブヘッド301が対向している。 20
マルチプローブヘッド301には16本のプローブ300が形成されている。マルチプローブヘッド301はXY方向の駆動機構であるXYアクチュエータ303、さらに構造体304に取り付けられている。一方、記録媒体302には、トラッキングパターン305（凹状の溝もしくは表面電子状態の異なるパターン）が刻まれ、基台306に載っている。基台306は、これを上下方向と α 、 β 回転方向に移動させるZアクチュエータ307を介して構造体304に取り付けられている。301のマルチプローブヘッドは4×4のマトリックス状に16本のプローブを並べたSi製マルチプローブヘッドである。

各プローブは両もち梁上に形成した平板部を、両もち梁のねじれ弾性を利用して静電力により駆動するトーション型アクチュエータである。このアクチュエータは実施例1のカンチレバー型と異なり、レバーのたわみ弾性と梁のねじれ弾性を独立に設定でき、剛性と共 30
振周波数に自由度のあるアクチュエータの設計ができる。また駆動電極320間に電圧印加することでZ方向に変位する。（トーション型アクチュエータの詳細と作成法は後述する。）またカンチレバーの一端には先鋭な導電性のティップが形成され、対向する記録媒体間のトンネル電流を検出する。

【0021】

次に記録再生の概略について説明する。

記録再生の際マルチプローブヘッド301の各プローブ300は対向する記録媒体302とトンネル電流が流れる程度まで近づいている。

この時各プローブからのトンネル電流信号はプローブヘッド制御回路311を介してZサーボ回路308に入り、Zサーボ回路308は各プローブと対向する記録媒体間の距離を 40
一定とする距離制御信号309を出力する。

各プローブをZ方向に独立に駆動する距離制御信号309はV-Q変換回路310を経て、各アクチュエータの電極に印加される。

さらにこの距離制御信号309を元に、傾き補正回路312はマルチプローブヘッド301と記録媒体302間の傾きを補正する。

また記録再生時には走査回路315はXY走査信号316によりプローブヘッド301を記録媒体302に対しXY方向に走査する。

この時トラッキング制御回路317は各プローブ300のトンネル電流変化からトラッキングパターン305のエッジ位置を検出し、トラッキングパターン305とマルチプローブヘッド301の位置ずれをXYアクチュエータ303で補正する。この状態で電圧印加 50

回路 3 1 4 は各プローブと記録媒体間のトンネル電流を変調し記録媒体上に記録ビットを形成する。

【 0 0 2 2 】

図 4 は、本実施例で用いたトーション型アクチュエータの構造を説明する斜視図である。絶縁層 4 0 2 上に固定電極 4 0 3 を形成した基板 4 0 1 に空隙 4 0 4 をもって機械可動部が形成してある。

機械可動部は回転支持を行う両持ちの梁 4 0 9 とプローブ 4 0 8 よりなり、支持部 4 1 0 により支持してある。レバー 4 0 8 上には駆動用の上電極 4 0 7、情報入出力用ティップ 4 1 2、情報入出力用配線 4 1 3 が形成してある。

本実施例によるプローブの駆動方法は以下の通りである。

10

固定電極 4 0 3 への電圧印加によってレバー後端部が固定電極 4 0 3 に引き寄せられ、梁 4 0 9 がねじれることにより、プローブ 4 0 8 全体が両持ち梁 4 0 9 の軸回りに回転し、プローブ 4 0 8 先端に設けられたティップ 4 1 2 が対向する記録媒体側に接近する。

【 0 0 2 3 】

図 5 の作製工程図により、本実施例による静電アクチュエータの作製工程を説明する。

まず、S i からなる基板 4 0 1 上にシリコン窒化膜を減圧 C V D (L P C V D) により 3 0 0 0 オングストローム成膜し絶縁層 4 0 2 を形成した。

次に、レジストを塗布・パターンニングした後スパッタリング法により T i を 5 0 オングストローム、P t を 2 0 0 0 オングストローム堆積し、レジストを除去することにより固定電極 4 0 3 を形成した。

20

次に酸化亜鉛をスパッタリング法により 2 0 0 0 0 オングストローム堆積させた後、フォトレジストを塗布・パターンニングし、過酸化水素とアンモニアの混合水溶液により酸化亜鉛をエッチングし、犠牲層 4 0 5 を形成した (図 5 (a))。次に酸化シリコンをスパッタリング法により 1 0 0 0 0 オングストローム堆積させた。

次に、レジストを塗布・パターンニングした後、スパッタリング法により T i を 5 0 オングストローム、A u を 2 0 0 0 オングストローム堆積し、レジストを除去することにより上電極 4 0 7 及びトンネル電流配線 4 1 3 を形成した (図 5 (b))。

次に、酸化シリコンをレジストを用いてパターンニングした後、反応性イオンエッチング法にて C F₄ ガスを用いてエッチングし、機械可動部形状を持つプローブ 4 0 8 とした (図 5 (c))。

30

並行して行われる情報入出力用ティップ 4 1 2 の作製工程を説明する。まず、方位面 (1 0 0) の S i 第二基板 5 0 1 を用意する。

次に、第二基板 5 0 1 表面にシリコン窒化膜 5 0 2 を減圧 C V D (L P C V D) により 1 0 0 0 オングストローム堆積する (図 5 (d))。

次に、シリコン窒化膜を図 5 に示すパターン形状にフォトエッチングにより除去し第二基板表面を露出させる。

次に、第二基板 5 0 1 を 1 0 0 ° に加熱した水酸化カリウム水溶液を用いて結晶異方性エッチングにより加工し、プローブ部分の型となる逆ピラミッド状の凹部 5 0 3 を形成する (図 5 (e))。

次に、残りの窒化シリコンを、反応性イオンエッチング法により除去する。次に、レジストをパターンニングし、真空蒸着法にて A u を 1 0 0 0 0 オングストローム成膜し、その後レジストをアセトンで溶解することにより、探針 4 1 2 となる A u のパターンを形成した (図 5 (f))。

40

次にステップとして探針 4 1 2 を基板 4 0 1 上に圧力をかけ、第二基板 5 0 1 の界面から引きはがすことにより情報入出力用ティップ 4 1 2 を作製した (図 5 (g))。

なお、第二基板 5 0 1 のエッチング方法としては、単結晶シリコン、G a A s 半導体等の結晶異方性エッチングはもちろん、転写可能な形状にエッチングできるものであれば等方性エッチングを用いることもできる。また、保護層 5 0 2 は第二基板 5 0 1 をエッチングするときの保護膜であるから、この時のエッチング液に耐えられるものならば良い。

また、ティップ 4 1 2 と第二基板 5 0 1 との界面の密着性を低下させるために、第二基板

50

501上に剥離層を成膜しても良い。また、第一基板401上に形成したプローブ408と第二基板501上に形成したティップ412との接合方法は、金属-金属間接合、陽極接合等を用いることができる。

最後に、酸化亜鉛の犠牲層405を、酢酸水溶液にてエッチング除去し、プローブ408と固定電極403間の空隙404を形成した。

以上の作製工程により図5に示すトーションレバー型プローブを得ることができた(図5(h))。

【0024】

このトーション型プローブを4×4ケ、計16個マトリックス状に作製し、さらにSiウエハ上の各トーション型プローブ近傍にICプロセスを用いてトンネル電流検出アンプを構成しマルチプローブヘッド301とした。

次にマルチプローブヘッド301に対向した記録媒体302の構成について説明する。記録媒体302に半導体プロセス等の微細加工により短冊状のトラッキングパターンが刻まれている。記録媒体302の基板電極上にはX方向に2μmピッチで幅200nm、深さ30nmの凹溝がY方向に長さ50μmに渡り刻まれている。記録媒体302としては、電圧電流のスイッチング特性に対し、メモリ効果をもつ材料を用いた。基板電極としてガラスや雲母などの平坦な基板上の金のエピタキシャル成長面を使用した。この上にトラッキング用凹溝を形成し、この上に記録媒体としてスクアリウム・ビス-6-オクチルアズレン(以下SOAZと略す)を用い、ラングミュア・プロジェクト法により、単分子膜2層の累積膜をこの基板電極上に形成し記録媒体302とした。

本実施例に示す制御回路はトンネル電流を検出する複数本のプローブと対向する媒体間の距離制御回路に関するものである。本実施例では各プローブからのトンネル電流信号をデジタル信号に変換し、この信号からプローブヘッド制御回路311のタイミングにより各プローブを順次Z制御する制御信号を発生するデジタルサーボ系を構成した。

【0025】

図6を用いてマルチプローブのZ制御についての詳細を説明する。

プローブ番号1~nで示されるマルチプローブ601からのトンネル電流信号は、選択回路602につながっている。

選択回路602は制御タイミングに従いマルチプローブ601から一本、例えばn番目のプローブを選択する(図中: I_n)。選択されたn番目のプローブから検出されるトンネル電流信号は電圧変換された後、A/D変換器603でA/D変換される。 $(I_n(t))$ 、 t は、あるサンプリング時刻)さらにデジタル化されたトンネル電流信号は対数変換回路604により、プローブ-媒体間の距離に対して線形化される(図中: $\log I_n(t)$)。

そして対数変換回路604の出力は、サーボ回路の設定値 Z_0 との比較減算器605に入り、誤差信号($: E_n(t)$)となる。

さらに誤差信号をゼロにするようにPI制御回路606は距離制御信号 $U_n(t)$ を生成する。

この時PI制御回路606は、メモリ607、608にストアされたサンプリング時刻($t-1$)における距離制御信号及び補正誤差信号データ及び、サンプリング時刻(t)における補正誤差信号 $E_n(t)$ から時刻(t)における新たな距離制御信号 $U_n(t)$ を生成する。同時にメモリ607、608の値を更新する。

距離制御信号 $U_n(t)$ は、D/A変換器609で再びアナログの距離制御信号309(U_n)に変換された後、V-Q変換回路310により電荷制御信号となって、静電アクチュエータの駆動電極間(320)に印加される。制御回路311は順次選択するプローブを選択回路602、613で切り替えて、全てのプローブのZ制御をする。

本実施例でも、実施例1と同様に静電駆動アクチュエータの駆動制御を行う際、駆動電極間の電荷制御を行っている。

本実施例では駆動信号に交流信号を用いて、この交流駆動信号によって流れる電流量を検出し、その時間積分量である電荷量を一定とるようにしてプローブ位置制御を行った。

10

20

30

40

50

即ち、交流電圧信号発生器 6 1 1 と周波数一定で振幅制御可能な振幅変調回路 6 1 2 と及び積分回路 6 1 4 で V - Q 変換回路を形成する。

振幅制御回路 6 1 2 は、交流信号発生器出力の交流信号（角振動数 ω ）を搬送波として、アナログ制御入力 U_n （ n はプローブ番号 n に対応）によって振幅変調し、交流駆動信号：出力 V_n を発生する。

即ち、 $V_n = U_n \cdot \sin \omega t$ である。

6 1 4 は、演算増幅器、抵抗 R 、駆動電極間に形成される等価コンデンサ c で形成される積分回路であり、等価コンデンサに流れ込む電流量を制御している。

なお、コンデンサ 6 1 0 は、発振回路の振幅値を決定するための制御信号 U_n 信号をストアし、Z サーボ回路からの距離制御信号 U_n を信号切り替え時には信号値をホールドしている S / H（サンプル & ホールド）用コンデンサである。 10

【 0 0 2 6 】

次に、V - Q 変換回路を用いた電荷制御法について説明する。

交流駆動信号 V_n を印加時に、等価コンデンサにたまる電荷量は

$$Q = \int i \cdot dt$$

$$= \int (V / R) \cdot dt$$

（但し V は、積分回路 6 1 4 の入力電圧で、 R は積分回路の抵抗値）

振幅変調回路 6 1 2 が信号 $V_n = U_n \cdot \sin \omega t$ を出力したとすると

$$Q = - (U_n / \omega \cdot R) \cdot \cos \omega t$$

この時、時間平均で考えると電荷量はゼロで、駆動電極間のコンデンサに電圧は発生しないため、積分回路のコンデンサを周期的にクリアする必要がない。 20

一方、(4) 式より、静電力を決定する Q^2 は

$$Q^2 = (U_n / \omega \cdot R)^2 \cdot (1 + \cos 2 \omega t) / 2 \quad \dots (8)$$

$$Q^2 |_{Ave} = (U_n / \omega \cdot R)^2 \cdot / 2 \quad \dots (9)$$

従って、駆動周波数をプローブの機械共振周波数より速くすれば、制御入力 U_n により電荷量を設定し、プローブに働く静電力を制御できる。即ち、交流駆動信号を用いることで時間平均として駆動電極間に電位発生することなく、静電アクチュエータの制御が可能となる。

実際に作製したプローブのサイズは図 4 で

$$L = 100 \mu m, W = 100 \mu m, t = 1 \mu m,$$

$$a = 10 \mu m, b = 50 \mu m,$$

であった。 30

【 0 0 2 7 】

この時、トーション型レバーの機械パラメータを見積もると以下のようになった。両もち梁のねじれ部の特性は

$$\text{回転弾性定数 } K = 2 \cdot G \cdot t^3 \cdot a \cdot m / b \text{ (N } \cdot \text{ m) } \quad \dots (10)$$

ただし G はヤング率、 m は a 、 t で決まる定数

ティップ部分でのレバーの Z 方向弾性定数は

$$k = K / L^2 \text{ (N / m) } \quad \dots (11)$$

(11) 式に従って、計算すると $k = 0.87 \text{ (N / m)}$ となる。

一方、固定電極 4 0 3 と上電極 4 0 7 間に電圧印加で発生する静電力は、 40

$$F = 1 / (2 \cdot \omega_0 \cdot W \cdot L) \cdot Q^2 \text{ (N) } \quad \dots (12)$$

本実施例においては、プローブの Z 方向の機械的共振周波数 36 kHz だったので、駆動周波数 50 kHz に選び、(9)、(11)、(12) に従い Z 方向の駆動を行った。

【 0 0 2 8 】

記録再生は次のように行った。

各プローブ 3 0 0 と記録媒体 3 0 2 の間に電圧印加回路 4 1 4 によりバイアス電圧 0.1 V 印加し、一定のトンネル電流 (1 nA) が流れる程度まで近づけた。各プローブを Z サーボ回路 3 0 8 によって Z 方向に独立に駆動し、1 nA の電流が流れるようにフィードバック制御を行った。

さらに各プローブの距離制御信号 3 0 9 を元に、傾き補正回路 3 1 2 はマルチプローブへ 50

ッド301と記録媒体間の傾きを補正する α 回転信号、 β 回転信号を発生し、これをZアクチュエータ307に印加した。

この状態で記録媒体302の所望の位置までプローブを移動後、バイアス電圧を変調し、6Vのパルス電圧をプローブ300と記録媒体302の間に印加すると、約0.1 μ Aの電流が流れる大きさ10nm ϕ のビットが形成(記録)され、パルス電圧の印加後、走査を行ったところ、その状態を保持した。(再生)そこでこの低抵抗状態にあるビットを"1"に対応づけ、高抵抗状態の"0"と区別する。そして記録データに符号器318で"0"、"1"の2値データへのコード化を行い、復号器319で2値化データの情報再生を行って、2値化記録再生を行った。

なお、本実施例では、静電アクチュエータ駆動を交流電圧により行い、その振幅で電荷量を制御した。しかしながら振幅制御だけでなく、(9)式に従って駆動周波数、または電流制限抵抗を変えて電荷量を制御するようにしても良い。

【0029】

【発明の効果】

本発明によれば、以上のように、プローブとこれに対向する媒体との物理現象から生じる信号を検出して、該検出信号に基づく位置制御信号によってプローブの位置制御を行いながら情報処理を行う情報処理装置において、前記プローブの位置制御が電荷量を一定とする静電力制御によって、正帰還状の静電力の発生を抑えており、これによって静電力制御によるプローブの位置制御に際しての正帰還状の静電力の発生を簡単に防止することができる。

また、一定電圧制御という通常の静電力駆動型アクチュエータの制御方法に対して制御性が大きく改善され、特に静電引力の大きな変化を防いで、プローブの安定な位置制御が可能な情報処理装置が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における実施例1の走査型トンネル顕微鏡の構成図。

【図2】図1で用いたZ制御回路の構成図。

【図3】本発明における実施例2のマルチプローブヘッドを用いた記録再生装置の構成図。

【図4】実施例2で用いたトーシヨン型アクチュエータの構造を説明する斜視図。

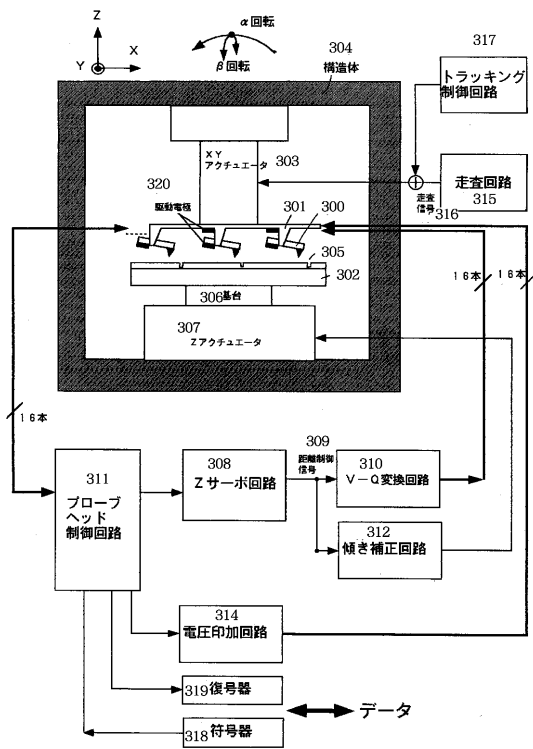
【図5】図4で用いたプローブの作製工程図。

【図6】マルチプローブのZ制御系の構成図。

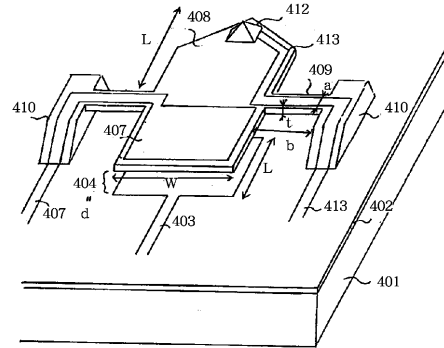
【符号の説明】

- | | | |
|-----|-------------|----|
| 1 | 観察試料 | |
| 2 | プローブ | |
| 3 | 導電性チップ | |
| 4 | バイアス回路 | |
| 7 | 制御回路 | |
| 8 | ディスプレイ | |
| 11 | 駆動電極 | |
| 14 | Zサーボ回路 | 40 |
| 16 | V-Q変換回路 | |
| 301 | マルチプローブヘッド | |
| 302 | 記録媒体 | |
| 308 | Zサーボ回路 | |
| 310 | V-Q変換回路 | |
| 311 | プローブヘッド制御回路 | |
| 314 | 電圧印加回路 | |
| 315 | 走査回路 | |
| 318 | 符号器 | |
| 319 | 復号器 | 50 |

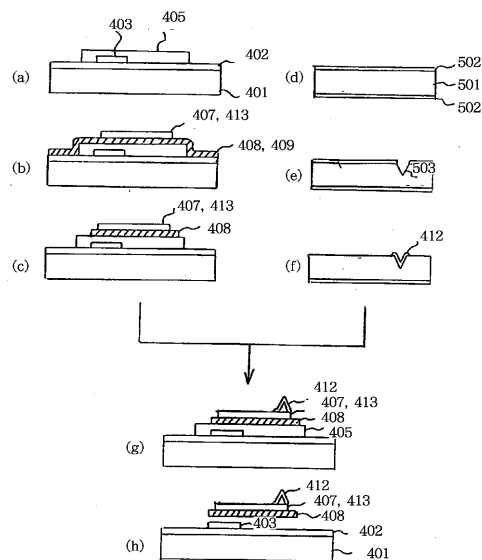
【図 3】



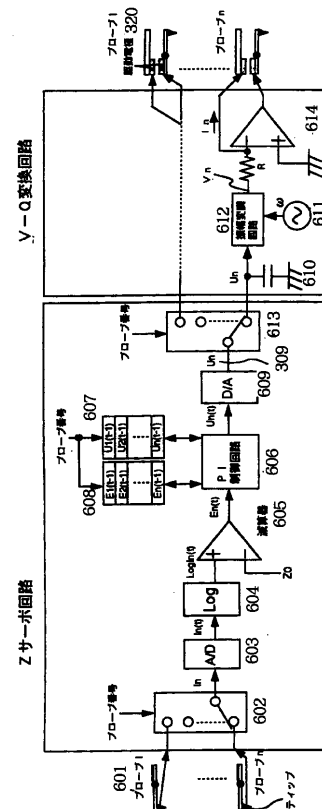
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平06-208735(JP,A)
特開平04-090150(JP,A)
特開平07-260802(JP,A)
特開昭62-281138(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G11B 9/00-9/14
G01N 13/12
G01N 13/16
G01N 37/00