

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6073797号
(P6073797)

(45) 発行日 平成29年2月1日 (2017.2.1)

(24) 登録日 平成29年1月13日 (2017.1.13)

(51) Int.Cl.
H 0 1 F 7/20 (2006.01)

F I
H 0 1 F 7/20 Z

請求項の数 20 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2013-542156 (P2013-542156)	(73) 特許権者	501228071
(86) (22) 出願日	平成23年11月30日 (2011.11.30)		エスアールアイ インターナショナル
(65) 公表番号	特表2014-502051 (P2014-502051A)		S R I I n t e r n a t i o n a l
(43) 公表日	平成26年1月23日 (2014.1.23)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
(86) 国際出願番号	PCT/US2011/062732		025 メンロパーク レイベンスウッド
(87) 国際公開番号	W02012/075205		アベニュー 333
(87) 国際公開日	平成24年6月7日 (2012.6.7)		333 Ravenswood Avenue, Menlo Park, Cal
審査請求日	平成26年10月23日 (2014.10.23)		ifornia 94025, U. S.
(31) 優先権主張番号	12/960,424	(74) 代理人	100137095
(32) 優先日	平成22年12月3日 (2010.12.3)		弁理士 江部 武史
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100173532
(31) 優先権主張番号	13/270,151		弁理士 井上 彰文
(32) 優先日	平成23年10月10日 (2011.10.10)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 浮上マイクロマニピュレータースystem

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

絶縁層によってそれぞれ分離された複数の層の独立したゾーン内に配置された複数の導電トレースを有する回路基板と、

前記回路基板の表面上に位置する反磁性層と、

前記反磁性層に隣接して配置され、前記ゾーン内を移動可能であり、磁性を有し、磁場を介して制御可能な少なくとも2つのマニピュレータースystemと、

前記導電トレースに電氣的に接続され、前記磁場を発生させるための信号を生成するために配置されたコントローラースystemを含む、

前記複数の導電トレースは、前記複数の層の少なくとも2つの分離された層内に配置されてお

10

り、前記少なくとも2つの分離された層のそれぞれの層内の前記導電トレースは、前記導電トレースの複数の矩形部を有するジグザグパターンを形成するように配置されており、

前記少なくとも2つの分離された層のそれぞれの層内の前記ジグザグパターンは、複数回曲げられた1本の前記導電トレースから構成されており、

前記導電トレースの前記複数の矩形部の高さおよび幅は、全て等しいことを特徴とするシステム。

【請求項 2】

前記複数の層の前記回路基板の前記表面から離れている層は、前記複数の層の前記回路基板の前記表面により近い層よりも高電流で駆動されるよう構成されている請求項 1 に記

20

載のシステム。

【請求項 3】

前記複数の層は、前記絶縁層によってそれぞれ分離された 4 つの層を含んでおり、
前記ジグザグパターンは、
前記複数の層の第 1 の層内の第 1 のジグザグパターンと、
前記第 1 のジグザグパターンから、第 1 の方向に空間的にオフセットしている、前記複数の層の第 2 の層内の第 2 のジグザグパターンと、
前記第 1 のジグザグパターンに対して 90 度回転された、前記複数の層の第 3 の層内の第 3 のジグザグパターンと、
前記第 3 のジグザグパターンから、第 2 の方向に空間的にオフセットしている、前記複数の層の第 4 の層内の第 4 のジグザグパターンとを含む請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 4】

前記システムは、前記第 1 のジグザグパターンの角部の 1 つおきに対して、直線状に配置されている角部を有する回転パターンをさらに含む請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記システムは、前記反磁性層上に位置する電流ダンピング層をさらに含む請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記システムは、前記回路基板上に配置された機械的な止め具をさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

20

【請求項 7】

前記機械的な止め具は、前記反磁性層上の電流ダンピング層上に配置されている請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記システムは、少なくとも 1 つのセンサーをさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記導電トレースは、少なくとも 1 つの前記マニピュレーターの位置を誘導的に感知するよう構成された前記センサーに電氣的に接続された少なくとも 1 つの導電トレースを備える請求項 8 に記載のシステム。

30

【請求項 10】

前記システムは、第 2 の回路基板をさらに含み、前記信号は、前記第 1 の回路基板から前記第 2 の回路基板に、少なくとも 1 つの前記マニピュレーターを移動させるよう構成されている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記システムは、前記回路基板の前記表面上に位置する研磨された表面をさらに含み、前記マニピュレーターは、前記研磨された表面上を移動するよう配置されている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記研磨された表面は、前記マニピュレーターの浮上距離よりも小さい粗さを有する請求項 11 に記載のシステム。

40

【請求項 13】

前記回路基板は、前記導電トレース内の電流を制御するよう構成された電気部品を含む請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記マニピュレーターは、同じ動作平面内における他のマニピュレーターと反発するよう構成されている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記マニピュレーターは、ゼロネット磁気双極子モーメントを有する請求項 1 に記載のシステム。

50

【請求項 1 6】

前記マニピュレーターは、前記マニピュレーターの磁気モーメントをゼロとし、他のマニピュレーターと反発するように構成された、外側の極が打ち消されている中央の磁石を含む請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 7】

請求項 1 に記載のシステム内の回路基板上の磁気マニピュレーターを推進させる方法であって、

コントローラーを用いて駆動信号を生成する工程と、

前記駆動信号を、前記回路基板の絶縁層によってそれぞれ分離された複数の層内に配置された少なくとも 2 つの導電トレースに供給する工程とを含み、

前記少なくとも 2 つの導電トレースは、前記複数の層の少なくとも 2 つの分離された層内に配置されており、

前記少なくとも 2 つの分離された層のそれぞれの層内の前記導電トレースは、前記導電トレースの複数の矩形部を有するジグザグパターンを形成するように配置されており、

前記少なくとも 2 つの分離された層のそれぞれの層内の前記ジグザグパターンは、複数回曲げられた 1 本の前記導電トレースから構成されており、

前記導電トレースの前記複数の矩形部の高さおよび幅は、全て等しいことを特徴とする方法。

【請求項 1 8】

前記導電トレースに前記駆動信号を供給する工程は、離散ステップで、前記駆動信号を供給する工程を含み、前記離散ステップは、正の電流または負の電流のいずれか一方を前記導電トレースのそれぞれに対し、独立に供給した結果生じる請求項 1 7 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記駆動信号を供給する工程は、前記離散ステップの間の中間位置を実現するため、前記導電トレースの 1 つにおける電流がゼロに設定されるマイクロステッピングを含む請求項 1 8 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記駆動信号を供給する工程は、

第 1 のゾーン内に第 1 の電流を生成するために、前記第 1 のゾーン内で導電トレースを駆動する工程と、

第 2 のゾーン内に第 2 の電流を生成するために、前記第 2 のゾーン内で導電トレースを駆動する工程と、

前記第 1 および第 2 のゾーン間に連続した磁場パターンを発生させるために、前記第 1 および前記第 2 の電流を使用する工程とを含む請求項 1 7 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0 0 0 1】

磁石浮上 (magnet levitation) は、多くの応用可能性を有している。ペルライン (Pelrine) によるアメリカ特許第 5, 0 9 9, 2 1 6 号 “磁気浮上装置 (Magnetically Levitated Apparatus)” は、磁氣的に浮上しているロボットマニピュレーターについて議論している。このマニピュレーターは、永久磁石のような磁氣的に活性な部品を備えている。該部品上には、電磁石 (electromagnets) によって発生する場 (field) によって、磁力が付与されている。また、この議論は、ロボットマニピュレーターの動作の安定性およびダンピング (制動) にも及んでおり、該マニピュレーターは、6 つの自由度を有して、動くことができる。

【0 0 0 2】

ペルラインによるアメリカ特許第 5, 3 9 6, 1 3 6 号 “磁場浮上 (Magnetic Field Levitation)” は、磁石アレイを有する磁力部材と、反磁性 (diamagnetic) または磁力部材よりも透磁率 (permeability) の低いその他の材料を用いることを議論している。この反磁性材料は、磁性部材が、外部の磁力によって浮上され、移動されることが可能な領域

10

20

30

40

50

を定めるベースとして機能する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

これらのアプローチは、一般的に、磁気ロボットに作用する磁場を提供するための電磁石アレイを利用する。この電磁石アレイは、電磁石によって発生した場を用いたロボットの制御をすることができる領域を規定する。これらアレイは、ロボットをかなり正確に制御することができるが、このようなアプローチにおいても、ロボットに作用させるための外力を提供する電磁石が必要である。別のアプローチとして、アメリカ特許第6,858,184号“マイクロラボラトリーデバイスおよび方法 (Microlaboratory Devices and Methods)”は、基板上の駆動素子アレイと協働する付勢素子 (biasing element) を内部に有する基板を用いることを議論している。この駆動素子は、基板と駆動素子との間の空間内で、磁性素子を動かすことができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0004】

図1は、磁気浮上マニピュレーターシステムの側面図である。

【0005】

図2は、磁石アレイを有するマニピュレーターの実施例を示す図である。

【0006】

図3は、磁気浮上マニピュレーターシステム回路基板の側面図である。

20

【0007】

図4～6は、磁場を発生させるために用いられるトレースパターンの実施例を示す図である。

【0008】

図7および8は、磁場を発生させるために用いられるトレースパターンの別の実施例を示す図である。

【0009】

図9～12は、磁場を発生させるために用いられるトレースパターンの別の実施例を示す図である。

【0010】

30

図13および14は、磁場を発生させるために用いられる回転トレースパターンの実施例を示す図である。

【0011】

図15A～Dは、制御パターンを有する回路基板を示す図である。

【0012】

図16は、浮上マイクロファクトリーの実施例を示す図である。

【0013】

図17は、ジグザクパターン内のゾーンを横断するマニピュレーターを示す図である。

【0014】

40

図18および19は、格子パターン内のゾーン内の境界および電流の流れの実施例を示す図である。

【0015】

図20は、浮上マニピュレーターシステムにおけるトレース用の駆動回路を示す図である。

【0016】

図21～28は、マイクロファクトリーシステムの構成の実施例を示す図である。

【0017】

図29および30は、エンドエフェクターの実施例を示す図である。

【0018】

50

図 3 1 は、重力補助傾斜に適したエンドエフェクターの実施例を示す図である。

【0019】

図 3 2 は、多重基板磁気浮上マニピュレーターシステムの実施例を示す図である。

【0020】

図 3 3 は、フレキシブル回路基板を有する磁気浮上マニピュレーターシステムの実施例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

図 1 は、磁気浮上マニピュレーターシステム 10 の側面図である。このシステムは、電流通過用の回路トレース 16、22 を内部に有する回路基板 12 を備えている。本実施例では、回路トレース 22 は電流通過に用いられ、励磁 (energized) される。電流は、トレース 22 内をページ奥側に向かって流れている。その結果として生じる磁場は、磁石 18 (以下、マニピュレーターとも称される) に作用する。マニピュレーター 18 は、マニピュレーターの磁気双極子モーメント (magnetic dipole moment) または磁化 (magnetization) と、励磁されたトレース 22 によって発生した場とが平行に (直線状に) 並ぶように、位置 20 に移動する。図 2 では、磁石 18 は、水平方向かつ右方向への磁化を有する。この磁化は、垂直上方向または垂直下方向等の異なる方向に配向していてもよい。この場合、マニピュレーターは、励磁されたトレース 22 に応答するが、励磁されたトレース 22 に対して、異なる平衡場所 (equilibrium location) に移動する (水平方向の場合というよりむしろ、トレース 22 からの垂直方向の場合に対して平行に並ぶように移動する)。回路基板 12 は、磁石を所望の位置に機械的に停止させる 15 のような機械的な止め具 (stopper) を備えていてもよい。これにより、単純に磁石を制御することができる。また、回路基板 12 は、光学センシング等の誘導性フィードバック (inductive feedback) を用いてマニピュレーターの位置を感知する 17 のようなセンサーをさらに備えていてもよい。例えば、光学センシングは、センサー 19 として図示されているように、センサーに光を導く孔 (hole) を有する基板の層内の光学センサーによって遂行されることができる。磁石またはマニピュレーター構造の一部が孔の上方を通過する際、光が遮られるので、光学センサーは、その通過を感知することができる。

【0022】

反磁性層 14 は、マニピュレーター 18 を浮上させる揚力 (lift force) を提供する領域を規定している。該領域上では、マニピュレーターが浮上可能となっている。回路基板 12 内の個々のトレース内の電流を制御することにより、マニピュレーターを移動させ、タスクを実行させることができる。したがって、マニピュレーター、回路基板および電流の供給を制御するコントローラーを組み合わせることによって、有用なタスクを実行するようマニピュレーターの移動をコーディネート (調整) することができる。これにより、物体 (固体および液体の双方を含む) の輸送、接着剤の付与やその他の工程を通じた物体の組み立て、物体の仕分け、材料特性の品質管理評価等の幅広い様々な物理的タスクを実行することができる。これらおよび類似の独立したタスクは、以下、ユニット操作 (unit operation) と称される。

【0023】

さらに、システムレベルにおける、より高度なコーディネートと制御によって、複雑な部品の製造やその他複数の有用な工業的工程を実行することができる。このコーディネートは、フルスケールファクトリーの自動化と同様であり、ここで議論する実施例のマイクロスケールファクトリーにも適用可能である。このコーディネートされたマニピュレーターのフルシステムは、浮上マニピュレーターのマイクロファクトリーまたは浮上マイクロファクトリーとして適用可能である。浮上マイクロファクトリーの例は、図 16 を参照して、後に詳述する。

【0024】

マニピュレーターは、一般的に、1 つまたは接触して配置された複数の磁石によって構成される。実施例の 1 つでは、マニピュレーターは、1 つの中央の磁石と、4 つの外

10

20

30

40

50

側の磁石とから構成されている。これら磁石の極 (pole) および配置は、多くの効果を奏することができる。マニピュレーターは、同一の動作平面内の他のマニピュレーターを反発するよう構成されていてもよい。例えば、外側の極が打ち消されている中央の磁石は、マニピュレーターの磁気モーメントをゼロとし、同様に構成された他のマニピュレーターに対して反発するよう構成されている。または、もしくはそれに加えて、マニピュレーターは、地球の磁場等の大きなスケールの外部磁場による相互作用を低減するため、ゼロネット (zero net; 正味ゼロ、すなわち、正と負の電荷の和がゼロ) 磁気双極子モーメントを有していてもよい。浮上の際、マニピュレーターは、6つの自由度、すなわち、x、y、z 軸に沿った3並進方向、およびピッチ (pitch) 回転、ヨー (yaw) 回転およびロール (roll) 回転の3回転の自由度を有して、動くことができる。

10

【0025】

図2に示す実施例では、マニピュレーターは、磁石アレイで構成されている。図2の実施例では、N極を有する中央の磁石が $1 \times 1 \text{ mm}$ であり、S極を有する打ち消し磁石が $1 \times 0.25 \text{ mm}$ である。本実施例では、 $1 \times 1 \text{ mm}$ の磁石および $1 \times 0.25 \text{ mm}$ の磁石は、 0.4 mm の厚さを有している。これらの磁石は、エポキシ等を用いて互いに接着されたグレード50ネオジウム鉄磁石 (grade 50 neodymium-iron magnets) であってもよい。この具体的な構成は、単に、例として挙げているにすぎない。別の構成では、例えば、中央の磁石は同様に $1 \times 1 \text{ mm}$ であり、4つの打ち消し磁石は $0.75 \times 0.33 \text{ mm}$ である。実施例の1つでは、 $1 \times 1 \text{ mm}$ の磁石および $0.75 \times 0.33 \text{ mm}$ の4つの磁石は、 0.4 mm の厚さを有する。また、ノーネット磁気モーメントのチェッカーボード (格子縞) 配列等の多くの種類のアレイが構成可能であり、また使用可能である。9つの磁石のチェッカーボードアレイは、ネット磁気モーメントを有し、同様に配向された9つの磁石アレイを反発する。また、磁気シールドは、マニピュレーター間 (manipulator-manipulator) の磁気相互作用を最小化し、マニピュレーターの最密パッキング (close packing) を可能とする。

20

【0026】

また、磁石アレイは、ロッドやワイヤー等の剛体かつ軽量の部材に、接着剤によって、接合されていてもよい。接合されたマニピュレーターの磁気的な挙動は、接合の性質 (剛性や柔軟性) およびアレイ同士の位置関係に依存する。実施例の1つにおいては、例えば、図2に示す磁気構成の第1のアレイは、シアノアクリレート接着剤を有する 0.3 m グラファイトロッドによって、第2のアレイに、2つのアレイの底部が平行になるよう剛接合 (rigidly connected) されている。本実施例におけるアレイの双方は、同じように配向しており、さらに、剛接合のオフセット距離は、アレイの双方が、以下に詳述するような繰り返しトレースパターンから、同一の磁力を受けるよう選択されている。

30

【0027】

マニピュレーターは、回路基板上のトレースに流れる電流によって発生した磁場に応答することにより移動する。なお、回路基板は、プリント配線基板、セラミック基板、半導体ウエハー等の数多くの代替手段のいずれか1つで構成することができる。回路基板は、特に限定されるものではなく、回路基板の如何なる具体的な構成および材料に限定されるものではない。図3は、そのような基板の実施例を示す図である。本実施例では、回路基板12は、典型的には銅である4つの導電トレースの層32、30、28、26を有している。各層32、30、28、26の間は、36のような絶縁層によって分離されている。絶縁層36は、典型的には、最小限度の厚さを有している。同様に、層32から26までの層全体は、最小限度の厚さを有している。一般的に、下側の層ほど低いゲインを有している。ここでいうゲインとは、導電層24の上面での電流単位当たりの磁場勾配 (magnetic field gradient) によって定義される。永久磁石ひいてはマニピュレーターは、磁場勾配によって移動する。下側のトレースにおける低いゲインは、トレース内に流れる電流を必要なだけ増加させることによって、補われてもよい。

40

【0028】

実施例の1つでは、例えば、絶縁層36は、 $0.002''$ (インチ) の厚さを有し、導

50

電層 32、30、28、26は、厚さ0.0028”（インチ）の銅を用いている（プリント配線基板の産業では、2オンス銅と呼ばれることが多い）。本実施例では、トレース幅は、典型的には0.010”（インチ）幅であり、層26、28、30、32用の電流は、それぞれ、0.25A、0.33A、0.48A、0.70Aである。以下に詳述するように、同じ大きさの負の電流は、ロボットを動かすための直交駆動（quadrature drive）に用いることができる。当然、その他の値の電流も用いることができ、より低い電流は発熱を減らすことができる一方、より高い電流は、より大きな力を発生するために用いることができ、ロボットを表面に沿ってスライドさせるというよりも、上方に浮上させ易くすることができる。

【0029】

10

回路の底部の層32と接続層34との間には、比較的大きな絶縁層38が配置されている。ある実験では、内部の絶縁層38は、1mm以上の厚さを有している。接続層34は、基板の上側の各トレースと各絶縁層との間と同様に、ビアによって内部の絶縁層38を介して、導電トレース層に接続されている。実施例の1つでは、このビア接続は、基板の端部を経ている。

【0030】

反磁性層14は、回路基板12の第1の面上に位置している。上述のように、反磁性層は、マニピュレーターを浮上させる揚力を提供するものである。場を用いたより正確な制御を実現するための渦電流ダンピング（eddy current damping）を提供する導電層24が、反磁性層の上側に位置していてもよい。電流ダンピング層は、トレースパターンを有する内部の導電層と異なり、典型的には、反磁性層の全面を覆う導電層である。反磁性層14と導電層24の厚さは、マニピュレーターおよび磁石の大きさに依存し、一般的に、より大きなマニピュレーターおよび磁石は、より厚い層を必要とする。

20

【0031】

図2に示す1×1×0.4mmの中央の磁石と、0.75×0.33×0.4mmの外側の磁石とを有する磁石アレイを用いた実施例の1つでは、反磁性層14は、0.5mm厚の研磨された熱分解グラファイト（pyrolytic graphite）のシートを用いて形成されている。導電層は、約0.012mm厚の研磨された銅で形成されている。いくつかの実施例においては、マニピュレーターは、反磁性層および導電層上で完全に浮上しているわけではなく、その表面上をスライドする。スライドモーションを用いるその他の実施例では、反磁性層は、省略可能である。しかしながら、マニピュレーターが浮上しない場合であっても、反磁性層14は、マニピュレーターを表面から遠ざける反磁性力を提供する。これにより、スライドモーションを用いる場合であっても、垂直抗力を減らすことができ、実質的な摩擦力を低減することができる。実施例の1つにおいては、摩擦力をさらに低減するため、非常に薄い反磁性グラファイトの第2の層（0.025mm厚）が導電層24の上面に設けられている（図示せず）。

30

【0032】

図1～3は、比較的に平坦な回路基板12を図示しているが、回路基板12は、従来技術において既知の回路製造手段を用いて、凹凸またはその他複雑な形状に湾曲していてもよい。例えば、回路基板12は、従来技術において既知のフレックス回路製造プロセスを用いて製造されてもよいし、インジェクトプリント回路のようなプロセスを用いて、湾曲物体上に直接製造されてもよい。いくつかの実施例においては、絶縁層38は、回路の機械的な柔軟性を向上させるため、非常に薄いかまたは全体が省略されていてもよい。また、いくつかの実施例においては、従来技術において既知のビアおよび導体パッドを用いて、磁氣的に活性な領域側と接続しないようにすることにより、接続層34も同様に省略することができる。

40

【0033】

マニピュレーターが移動可能な制御ゾーンを利用するマニピュレーターを制御するために、回路基板の各層は、ビアにより互いに接続された、または互いに直接接続された繰り返しのトレースパターンを有している。図4～6は、ビア配列の実施例を示す図であ

50

る。実施例の1つでは、図3の層26、すなわち第1の導電層は、2つの平行配線パターン40、41を有しており、平行配線パターン41は、平行配線パターン40に対し、図4に示すように、各パターンのトレース間距離（trace-to-trace distance）の半分の距離、オフセットしている。例えば、第1の平行配線パターンは、パターン中のトレース間距離が1mmであり、第2の平行配線パターンは、第1のパターンから0.5mmオフセットしている。このパターンは、各配線の末端において、次の配線またはパターン中の配線と接続されているので、パターン中のトレースの長さの大部分は、平行配線を構成している。

【0034】

43のようなビアは、層26内で2つのパターンが接触するであろう領域において、図3の第2の層28内へ交差（cross over）を行うために用いられる。これらのビアは、トレース41をパターン内に保持しつつ、トレース40に接触しないようにする一種の“地下道（underpass）”を形成する。図4に示すトレースは、典型的に、マニピュレータを図示のx方向または水平方向に移動させるために用いられることから、xトレースと呼ばれる。

【0035】

図5は、図示のy方向または垂直方向への移動に用いられる同様のパターンおよびトレースを示す図である。図3の第2の導電層28は、互いにトレース間距離の半分、オフセットしている2つの平行配線パターン44、46を有している。48のようなビアは、平行配線パターン44用の層1を用いた交差接続（crossover connections）を提供するために、第1の導電層26へ繋がっている。図6は、第1の層および第2の層のビアパターンの組み合わせを示す図である。用語“ピクセル（pixel）”は、主として、“画素（picture element）”または画像の最小部を意味し、これら組み合わせパターンは、以下ピクセル（pixels）と称される。これらピクセルは、一般的には、ピクセルパターン（pixilated pattern）で配列されており、ディスプレイ素子のピクセルと非常によく似た状態となっている。このピクセルそれぞれは、1つのマニピュレータを駆動させることができる。また、もしピクセルが十分に大きければ、複数のマニピュレータを同時に駆動させることができる。そのような場合、ピクセル上の全てのマニピュレータは、一致して同時に動く。

【0036】

図7および8は、磁場を発生させるために用いられるトレースパターンの別の実施例を示す図である。図7は、図4～6に示したピクセルと同様のオフセットパターンを用いるXピクセル50を示す図である。しかしながら、この実施例において、Xピクセル用の2つのオフセットパターンは、互いに分離している層内に配置されている。これにより、交差用のビアを省略できるものの、より多くの層が必要となる。Yピクセルも同様に、オフセットパターン用の2つの層を必要とするので、結果として4つの導電層を使用する必要がある。

【0037】

ピクセルの境界におけるいくつかの場を打ち消す必要があることから、XおよびYパターンの“フリップ（反転）”バージョンが必要となる。例えば、図7は、図4と同様のXピクセル50と、垂直方向のフリップバージョンXf52との組み合わせを示す図である。これらピクセル50と52との境界において、各ピクセルの平行配線パターンは、次の垂直トレースを形成するために短いセグメントを水平方向にターンさせるので、これら2つのピクセルのトレースは、互いに近接近（close proximity）している。これら短い水平方向のセグメントは、不要な磁場が発生した場合、垂直方向の動きを妨げてしまう。しかしながら、ピクセル50用の水平方向のセグメントを、反対方向の電流が流れているピクセル52の水平方向のセグメントに近接させて並べることによって、X方向パターン内の水平方向のセグメントからの不要な磁場を、2つのピクセル間において効率的に打ち消すことができる。図の拡大部分において、矢印は、異なるトレース内に流れる電流が互いに異なる方向に流れていることを示している。なお、図ではトレースの最上部（トップ）

10

20

30

40

50

層のみを示している。図示のとおり、垂直方向のトレース内に流れる電流は直線状に並べられており、水平方向のトレース内に流れる電流は互いに反対方向に流れている。この結果、両ピクセル間での打消し (cancellation) を実現することができる。

【0038】

同様に、図5に示したものと同様のYピクセル54には、そのフリップバージョンYf56が存在する。x方向およびy方向の双方にマニピュレーターを移動可能なピクセル集合体 (aggregate pixel) と考えられるユニットを形成するため、 $X+Y$ 、 $X+Yf$ 、 $Xf+Y$ 、 $Xf+Yf$ の組み合わせのバリエーションが用いられる。ビアは、回路基板を通して、図3の接続層34上への外部接続に用いることができる。このユニットは、マニピュレーター制御の必要に応じて、回路基板の全面にタイル状に配置することができる。電流源との適切な接続によって、最下部 (ボトム) の層34上の外部接続を介し、ピクセル内のトレースを駆動するために電流を供給することができる。また、外部接続は、共通の制御下に置かれたピクセル群を提供するため、ピクセルを直列または並列に接続するようにジャンパー接続 (jumped) されていてもよい。その際、それぞれのトレース内に流れる電流は、同一であってもよいし、もし必要であれば、接続に応じた逆極性 (reversed polarity) であってもよい。

【0039】

図9~12は、トレースパターンの別の実施例を示す図である。図9は、駆動トレース用に第1の導電層内に設けられた対称なジグザク配線パターン70の一例を示す図である。ジグザクトレースによって構成されたジグザク配線パターンは、パターン内の各矩形部の高さおよび幅が全て等しくLであり、対称である。矩形部の角部は、パターン内の他の矩形部との隙間 (clearance) を確保するため、曲げられている。第1の層は、72のようなコネクタを有している。オフセットされた同じジグザグ配線パターンが層2および層3に用いられている。

【0040】

例えば、図10では、図9に示したジグザク配線パターン70がトレース層26 (図3参照) 上で繰り返されている。トレース層28 (図3参照) 上に設けられた図10のパターン74は、ジグザク配線パターン70に対して、矩形部の長さL (図9参照) の半分の距離、水平方向にオフセットされている。これらの図に示されたジグザグパターンを用いることにより、マニピュレーターを、トレースがオフセットされた方向のいずれの方向にも移動させることができる。実際に、トレースは、図10に示すx方向およびy方向に対して45度に、ジグザグパターンで延伸 (run) している。図4~8に示した平行配線パターンでは、マニピュレーターは、以下に詳述するような連続的に動作するトレースに対して垂直に移動することとなる。一方、パターン70と協働して動作する図10のパターン74は、図示のX軸方向にマニピュレーターを移動させることができる。図11は、パターン78のように、垂直方向にオフセットしているジグザグパターンを示す図である。パターン70と協働して動作するパターン78は、図示のY軸方向にマニピュレーターを移動させることができる。

【0041】

図12は、結果として得られるパターンを示す図である。図9のジグザグパターン70は、第2および第3の導電層内において繰り返され、各繰り返しは、ジグザクトレースによって形成される略矩形部の一辺の長さの半分の距離、オフセットされている。第2の導電層用のパターン74は、例えば、矩形部の長さの半分の距離、水平方向にオフセットされている。第3の導電層用のパターン78は、矩形部の長さの半分の距離、垂直方向にオフセットされている。第2および第3の導電層は、それぞれ独自の接続部76、80を有しており、各接続部と電流源とを接続することにより、パターン内のトレースを励磁させることができる。

【0042】

図9の基本パターンは、さらに適用を拡げることができる。図9の基本パターンを45度回転させることにより、浮上するマニピュレーターを回転させる機能を実現すること

ができる。図13は、回転パターン82の一例を示す図である。このパターンは層4内に設けることができる。図14は、複数の層を組み合わせた図であり、第1の層のパターン70と、第2の層のパターン74と、第3の層のパターン78と、第4の層の回転パターン82とを組み合わせて得られる配線パターンを示す図である。

【0043】

実施例の1つでは、回転パターン82は、対称ジグザク配線パターン70内の矩形部のサイズに対して、回転パターン82内の矩形部が $2^{0.5} = 1.414$ 倍となるよう形成され、対称ジグザクパターン70と共に配置されている。本実施例の回転パターン82は、回転パターン82の矩形部の角部と、対称ジグザク配線パターン70内の矩形部の角部の対角の1つおきとが直線状になるよう配列されている。直線状に配列された回転アレイ82の角部および対称ジグザク配線パターン70の角部は、適切に設計された本実施例の磁石アレイマニピュレーターを回転させるために用いることができる。具体的には、極性を打ち消す4つの等しいサイズの矩形磁石のアレイを用いたマニピュレーターは、上方から見たときに、チェッカーボード状となるN極およびS極を有しており、回転させることができる。実施例の1つでは、4つのマグネットのそれぞれは、 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm} \times 0.4\text{ mm}$ の寸法を有し、 $L = 1\text{ mm}$ サイズの矩形を有するパターンと共に用いられる（図9参照）。本実施例における回転は、層1および層4上の回転パターンを用いて、以下に詳述する電流の4つのパターンを駆動することにより達成される。別の実施例においては、回転パターンは、上述のXYビアパターンの下側に設けられており、回転を実行する。典型的には、上述のパターンと組み合わせた回転パターンは、適切に設計されたマニピュレーターを特定の位置において回転させることができる。

【0044】

また、別の選択肢として、多様な異なったトレースパターンを使用することができる。例えば、以下にさらに詳述するような円形および湾曲したトレースが使用可能である。図15A～15Dは、プリント回路基板のような、結果として得られる回路基板であって、矩形状のx-yパターンと円形パターンを有する回路基板を示す図である。

【0045】

図15Aのx-yパターン90では、図15Aに示す第1の層は、接続部92と、既知のトレース間距離とを有する平行配線パターン91とを含んでいる。図15Bに示す第2の層は、接続部94と、層1から第1の層のトレース間距離の半分の距離、垂直方向にオフセットしている平行配線パターン93を含んでいる。これら2つのパターンを互いに重ね合わせた場合、パターン93は、パターン91の下側であって、ちょうどパターン91の隙間に位置する。

【0046】

図15Cに示す第3の層は、接続部96と、第1の層のパターン91に対して90度回転している平行配線パターン95とを含む。第4の層は、接続部98と、第1の層に対して90度回転し、第3の層パターンからトレース間距離の半分の距離、水平方向にオフセットしている平行配線パターン97とを有する。第3および第4の層のパターンを互いに重ね合わせた場合、第1および第2の層の場合と同じようであるが、90度回転した状態で、パターン97がパターン95の隙間に位置する。

【0047】

また、トレースパターンは湾曲していてもよい。図15A～15Dの回路基板は、円形パターン100を有している。第1の層のパターン101は、接続部102を有し、平行配線パターンのトレース間距離と同じトレース間距離を有して、円形パターンに延伸している。第2の層のパターン103は、第1の層のパターンの円の90度分と一致（overlap）している。この実施例では、層1と一致する1/4円形パターンが、第2の層の接続部104の近傍に、ページ上に左上4分円として配置されている。これら2つの図（drawings）を互いに重ね合わせた場合、第2の層のパターン103を、第1の層のパターン101から区別して（separated from）、視認することはできない。

【0048】

図15Cの第3の層のパターン105は、第1および第2の層のパターンの円形パターンとは異なり、配線が第1の層に形成された円形パターンを内外に横切るようにして形成された、接続部106を有する放射状パターンである。この内外のトレース間距離は、1つの実施例の磁石のサイズとほぼ同じであるが、パターンの湾曲部の特徴として、内側部のトレース間距離は、外側部のトレース間距離と比較してわずかに狭い。図15Dの接続部108を有する第4の層のパターン107は、第3の層のパターンと同じであるが、本実施例では、1.5度回転しており、第4の層の放射状の各配線は、第3の層の2つの放射状の配線の間を通過する。別の実施例では、第4の層のパターンは、そのトレースが、対応する第3の層のトレースに対して、円に沿って、磁石のサイズの約1/2移動するように回転されている。同様に、内外のトレース間距離は、ほぼ同じであり、実際には、内側部と外側部でトレース間距離がわずかに変化している。この円形パターンは、マニピュレーターをレーストラック（競技場のトラック）のような円状に移動させることができる。層3を層4上に配置した場合、層4の配線は、層3のトレースの隙間から視認できる。

10

【0049】

上述の議論は、単に、多重層上に形成された湾曲パターンを用いることができるということを示しているにすぎない。トレースパターンは、格子パターン、平行配線パターン、矩形パターン、湾曲パターンもしくはこれらの組み合わせ等の如何なる所望のタイプのパターンであってもよい。

【0050】

20

回路基板内の構造を参照して、このような構造がマニピュレーターを移動させるためにどのように用いられるのかについて議論する。マイクロファクトリーに対する如何なる特定の構成を限定するものではないが、議論用の情報（context）を提供するために、図16は、液相堆積（liquid deposition）およびクリーニングステーション112、入力ステーション114、複数の出力ステーション116、再循環バッファゾーン118、ステージゾーン120の8つのゾーンを含むワーク面を示している。このワーク面は、協調して動く複数のマニピュレーターを有していてもよく、別々（alternate）のゾーン内にはマニピュレーターセットを有していてもよい。マニピュレーターの駆動は、コーディネートされる必要がある。また、従来技術において既知の様々なエンドエフェクター（ツール）を、マニピュレーターに取り付けることによって、使用方法を拡張することができる。いくつかの例では、エンドエフェクターは、シンプルな、シャープな先端またはシャープでない先端（tips）である。

30

【0051】

ジグザグおよび平行配線パターンでは、マニピュレーターを推進させる磁力を発生させるために、直交駆動信号が用いられる。2つのトレースは、直交する時間依存の電流によって駆動される。進行波（traveling wave）は、マニピュレーターを、平行配線パターンの直交駆動されているトレースに対して垂直な方向に、移動させることができる。例えば、上述した図4のトレース40、41のような、y方向に対し空間的に変化する2つの交互配置（interleaved）された平行配線パターンは、マニピュレーターをx方向に移動させることができる。以下、各トレースが正の電流で駆動されているという位相を意味する（+，+）、第1の層および第2の層を意味する（L1，L2）、L1が負で駆動され、L2が正で駆動されているという位相を意味する（-，+）等の表記法を用いる。平行配線トレースに対して垂直な方向に移動させるための直交駆動は、次の電流のタイムシーケンスによって得られる。すなわち、（+，-）、（-，+）、（-，-）および（+，-）である。このシーケンスを反転させることによって、移動の方向を反転させることができる。さらに、個々のステップ間の中間位置（状態）を実現するため、マイクロステッピング（microstepping）を用いてもよい。マイクロステッピングは、中間値を用いることによって実現してもよい。例えば、（+，+）と（-，+）の間の位置を実現するため、（0，+）で駆動してもよい。（0，+）という表記における“0”は、トレース1中の平均電流がゼロであり、2つの状態の間であることを意味する。また、マイクロ

40

50

テッピングは、例えば、状態（＋，＋）と（－，＋）の間を高速で変動させる場合のように、平均して所望の状態となるような高速タイムシーケンスを用いて実現することができる。

【0052】

この制御方法においては、マニピュレーターの慣性（inertia）が高速シーケンスを実質的に平均化できるようにするため、電流を、マニピュレーターの各々の電流状態（セット）に対する応答速度よりも素早く切り替える必要がある。さらに、マニピュレーターは、第3の層（L3）および第4の層（L4）の内部の別のトレースセット等によって、垂直方向に移動することができる。x方向への移動の際、典型的には、x方向への移動中におけるy移動への不要な移動を防止するため、yトレース内の電流（値）は固定されたまま保持される。同様に、y方向への移動の際、xトレース内の電流（値）は、典型的には、固定されたまま保持される。しかしながら、図6に示すようなトレースパターンを用いて、xトレース内およびyトレース内の双方の直交電流を適切に駆動させることによって、マニピュレーターを任意の対角方向に移動させることも可能である。ここでの記述は、直交駆動を用いたx方向およびy方向への移動について議論したが、トレース電流の大きさも制御に利用することができる。例えば、より高い電流およびその結果得られるより強い磁力を用いて、反磁性層14の表面近傍に浮上しているマニピュレーターの全部または一部を引き寄せる等の制御である。

【0053】

図17は、トレースの平行配線パターン内の直交駆動信号を用いることにより、マニピュレーター18を、ゾーン境界122を横切るように推進させる磁力を発生させるタイミングの一例を示す図である。この図では、図の簡略化のため、ページの垂直方向またはY方向に移動させるための1つのトレースセットのみが図示されている。別のトレースセット、すなわちXトレースは、X移動が所望される際に、同様に駆動される。ゾーン124の直交トレースA、Bおよびゾーン126の対応トレースA'、B'は、それぞれ独立して制御される。マニピュレーター18をゾーン124からゾーン126に移動させるように、ゾーン124内のトレースAおよびゾーン126内のトレースA'は、互いに逆方向の電流で駆動される。2つのBトレース（トレースBおよびトレースB'）も同様である。この方法では、ゾーン124内のトレースAによって形成される磁場内の磁気パターンのピークおよびトラフ（谷）は、局地的に、電流が逆方向に流れているトレースA'を有するゾーン126内へ広がっている。トレースBおよびトレースB'によって形成される磁気パターンも同様である。

【0054】

図18は、複数または全てのワーク面130が、132のようなより小さいゾーンに分割されている別の例を示す図である。各ゾーンは、134のような垂直方向に配向している水平駆動トレースと、136のような水平方向に配向している垂直駆動トレースを有している。これらのそれぞれ異なるゾーンは、駆動トレースのセグメントを制御しており、例えば、回路基板の底面との接続を行うビアによって、制御電子機器および電力源と接続可能である。議論を簡単にするため、これらのゾーンは、水平方向および垂直方向に1～7に番号付けされている。例えば、本実施例のマニピュレーター18は、位置（4，4）に保持されている。一般的に、電流によって発生した場合内の所望の磁気位置に、マニピュレーター18の磁気エネルギー極小値（local magnetic energy minimum）を配置（設定）するよう、水平および垂直トレースに電流を流すことによって、マニピュレーターを定常位置（steady state position）に保持することができる。例えば、図18に示すマニピュレーター18を用いた場合、マニピュレーター18の中心部のx位置およびy位置を（x，y）と表記し、位置（a，b）のゾーンをZ（a，b）と表記したとき、ゾーンZ（x－1，y）＝Z（x－1，y－1）＝Z（x－1，y＋1）＝Z（x－1，y－2）＝Z（x－1，y＋2）を通過する矢印138に示すような電流を下側から上側に流すと、格子の右方向への力が発生する。マニピュレーターを（4，4）に保持している例では、正の電流が（3，2）、（3，3）、（3，4）、（3，5）、（3，6

）を通過している。負の電流は、格子の左方向への等しい力を発生させるため、ゾーン Z ($x+1, y$) = Z ($x+1, y-1$) = Z ($x+1, y+1$)、Z ($x+1, y-2$) = Z ($x+1, y+2$) を通過する矢印 140 に示すように上側から下側に流れている。または、負の電流は、保持点の左側の水平トレースを通過するように、保持点の上側の 2 つのゾーンからスタートし、保持点の下側の 2 つのゾーンで終わるように上側から下側に流れている。

【0055】

同様に、電流は、水平方向に配向している垂直方向の制御トレース 142、144 を通過する。正の電流は、左側から右側への矢印 144 のように流れ、保持点から垂直方向への電圧上昇 (step up) がなされる。これにより、格子の下方向への力が発生する。負の電流は、トレース 142 に沿って右側から左側に流れ、保持点から垂直方向への電圧降下 (step down) がなされる。これにより、格子の上方向への力が発生する。このように、適切なゾーン内の電流を設定することによって、所望の磁気的位置を定めることができる。また、他の磁気配位 (magnetic geometries) を有するマニピュレーターは、所望の位置を設定するため、上述とは異なった電流セットを用いることとなる。

【0056】

これらの原理を用いて、図 19 に示すような隣接したトレース内の電流を制御することによって、マニピュレーターを隣接するゾーンに移動させることができる。垂直方向に配向しており、(4, 6) から (4, 2) を通過する水平トレース 146 内の電流をいくつかの正のレベルに設定し、(3, 6) から (3, 2) を通過するトレース 138 内の電流をゼロに設定し、(5, 2) から (5, 6) を通過するトレース 140 内の電流をゼロに設定し、(6, 2) から (6, 6) を通過するトレース 148 内の電流をトレース 146 内の電流と同じ負の電流とすることによって、マニピュレーターを図 18 の位置から隣接するゾーンへ移動させることができる。トレース 148 内の電流は、マニピュレーターがさらに前進することを防いでいる。トレース 142、144 は、図 18 の例と同じ電流を維持していてもよい。トレース 142、144 は、本実施例では、マニピュレーターを動かさないものの、マニピュレーターをページ内の所望の Y 位置または垂直位置に維持し続けるための磁気ガイドとして機能している。

【0057】

マニピュレーターを、水平方向または垂直方向の他の隣接するゾーンに移動させることと同様、マニピュレーターを水平方向および垂直方向に同時に動かし、対角方向に移動させることも可能である。また、マニピュレーターの異なる部分に対してトルクを与えるように、ゾーンと電流のセグメントを選択的に駆動することによって、回転させることも可能である。

【0058】

格子状トレースでは、各ゾーン内の各トレースは、トレース下側の電子機器の 2 次元アレイによって、独立して駆動される。各トレース用に、トレース内の電流を双方向に駆動する 4 つのトランジスタが用いられてもよい。例えば、電流の状態を保持するフリップフロップ (flip-flops) のような他の回路と共に用いられ、従来技術において既知のトランジスタの配置によって構成される “H-ブリッジ (H-bridge)” を構成する 4 つのトランジスタである。ゾーンの格子用に設定された電流値の挙動は、2 次元発光ダイオード (light-emitting diode) ディスプレイ内で設定されたピクセル値の挙動と同様である。コントローラーは、各タイムサイクルの間、電子機器に電流値を送る。もしくは、コントローラーは、サイクルを次のサイクルに変化させるための値のみを送り、電子機器は適切なゾーンの電流値を変更してもよい。

【0059】

ここで示すデザインは、ジグザグ状の交互のトレース、もしくは水平および垂直トレースを有し、平行配線パターンとして説明した格子パターンを有する。いずれのデザインも、それぞれ長所と短所を有する。ジグザグパターンは、より少ない接続を必要し、制御もより単純である。また、ジグザグパターンは、平行配線パターンと同じような方法で、モ

10

20

30

40

50

ザイク状に繋げていくこと (tessellate) ができる。これにより、ジグザグパターンは、格子レイアウトと同じ数のマニピュレーターを制御することができる。また、格子または平行配線パターンは、マニピュレーターを固定位置に保持するための電流を流す2つのトレース（一方はx、他方はy）を必要とするのに対して、ジグザグパターンは、マニピュレーターを固定位置に保持するための電流を流す1つのトレースのみ必要とする。一方、格子レイアウトは、はるかに多くの自由度を有し、さらにより正確な制御を実行できるものの、より多くの信号とより多くの接続を必要とする。

【0060】

【0061】

トレースへの電流の供給は、多くの異なる方法で実現することができる。図20は、トレース用のスイッチと駆動回路の一例を示す図である。上述したコントローラー160は、上述のように、トレースへの電流の供給とタイミングを制御する。ソリッドステートリレー (solid state relay) のようなリレー (relay) 162は、正の電流を特定のトレースに流し、リレー164は、負の電流を流す。本実施例では、各リレーは、コントローラー160からの5〜10ミリアンペア (milliamps) の入力電流によって、切り替えられる。リレーの出力の一方の端子は、正または負の電圧源に接続されている。本実施例では、12ボルト (volts) の電圧供給であるが、システムの構成、材料、応用分野に応じてその他の電圧 (値) を供給してもよい。

【0062】

抵抗166は、可変抵抗器 (potentiometer) 168が不正確に設定された場合に、安全装置として電流を制限する。図20の具体例では、電圧と電流が供給されると、駆動している回路のトレースが有する抵抗にもよるが、合計抵抗は、約10〜40オーム (ohms) となる。インダクタ170は、回路基板上のトレースそのものを表し、電源供給用のグラウンド172に接地されている。回路の制御用の他の要素と同様に、抵抗も回路基板内に備えられていてもよい。

【0063】

動作において、システムは、最適な制御のために、アナログ電流を用いてもよい。ここまでは、トレースによって規定される領域上での制御を中心に議論した。しかしながら、マニピュレーターは、制御されていない領域を横切って、分割された制御領域から他の制御領域へ移動してもよい。これは、弾道 (ballistic) モーションと称される。1つのゾーン内でのマニピュレーターの動作が実行された (構成された) 後、制御されていない領域を横切って、別の制御領域へ“飛ばされる (flown) ”。この動作は、同じ回路基板上の異なるゾーン間においても実行可能であるし、隙間 (gaps) を横切って、1つの回路基板から他の回路基板に移動するような場合にも実行可能である。

【0064】

異なるタイプの動作においては、1つの領域上に浮上している磁石があり、別の領域上に表面と接している磁石があってもよい。しかしながら、一般的には、浮上しているマニピュレーターを用いる場合のほうが、摩耗が少なく、さらに、動作の自由度を多く確保できる。図3に示す反磁性層もしくは電流ダンピング層は、マニピュレーターの移動を容易にするために研磨されていてもよい。層の表面は、マニピュレーターの浮上距離よりも小さい粗さ (roughness) を有している。非浮上領域は、電源OFF状態時の非制御位置に、マニピュレーターを浮上移動または浮動 (floating) させることなく、システムの電源を安全にOFFにするために用いられる。別の実施例では、浮上領域表面は、電源OFF時に、マニピュレーターを特定の位置に保持するための浅い窪みを有することができる。マニピュレーターは、このシステムを通じて自由に移動するので、電源シャットダウン手続きは、トレースへのシステム電源がOFFにされる前に、安全にパワーをOFFできる位置に、マニピュレーターを移動させる。

【0065】

ここまで、移動され、制御されるマニピュレーター用のシステム全体を説明してきたが、次に、これらマニピュレーターの様々なファクトリータイプのセッティングの応用

10

20

30

40

50

について説明する。図21～28は、ファクトリー系のシステムにおける様々なプロセスを実行するための様々な構成を示す図である。図21では、回路基板12は、トレース内の電流を制御するために接続されたコントローラー160を有している。マニピュレーター18は、基本的なマニピュレーターのワーク部品であるエンドエフェクター182を有している。この具体的なエンドエフェクターは、プローブまたは傾斜先端部(dip tip)184と、その表面上に付着している液体186とを有している。液体186は、ワーク対象物190上へ付着(deposited)される液体であってもよく、部品のピックアップまたはワーク対象物190上への部品配置を可能とするために、先端部184の表面粘着力(エネルギー)を変化させる液体であってもよい。液体は、収容部180からピックアップされ、エッチング液(etchant)、付着可能材料(depositable material)等として機能してもよい。トレース内の電流を制御することにより、マニピュレーターを収容部180に移動させ、液体をピックアップさせ、さらに、ワーク対象物190上で作業させることができる。

10

【0066】

図22は、マニピュレーターの別の構成を示す図である。本実施例では、ワーク対象物190は、非常に大きな高さを有するので、マニピュレーターをワーク対象物190上方まで浮上させることができない。その代わり、本実施例のエンドエフェクター182は、延伸された長さを有しており、それにより、マニピュレーターがワーク対象物の末端を超えてワークを実行することができる。このエンドエフェクターは、延伸された長さと同じ距離だけ、ワーク対象物の内側に到達する(エンドエフェクターの手を伸ばす)ことができる。

20

【0067】

図23に示すような、ワーク対象物190がシステムの作業場(floor)の向こう側に配置されている構成においても、同じような制限が存在する。回路基板12は、ワーク対象物190と隣接して配置されており、マニピュレーターは、延伸アーム182を有しており、ワーク対象物190の隣でホバリング(hover)している。ここでも同様に、このエンドエフェクターは、延伸アームの長さと同じ距離だけ、ワーク対象物の内側に到達することができる。

【0068】

上述のように、複数のマニピュレーターは、同時に動作することができる。図24の構成では、複数のマニピュレーター18、200は、ワーク対象物190上でワークを実行する。回路基板12は、194のような孔(hole)を有しており、マニピュレーターは、孔194を介して動作することができる。マニピュレーターは、作業場の深さ方向へ下回転(下方向へのピボット運動)をする。本実施例または他の実施例において、複数のマニピュレーターは、ワーク対象物190の異なる部分に到達するため、それぞれ異なる延伸された長さを有するエンドエフェクターを有していてもよい。

30

【0069】

図25では、ワーク対象物は、回路基板12の上方に位置している。ワーク対象物は、重力に抗するように固定されているか、その他の物体の底面に取り付けられている。エンドエフェクターは、マニピュレーターが上方のワーク対象物に対して、タスクを実行できるように配向されている。同様に、図26では、ワーク対象物が回路基板12の側面側に位置しており、回路基板12上のエンドエフェクターが、ワーク対象物190上で、ピックアップアンドプレース(pick and place)を実行することができる。この場合、ワーク対象物190は、全ての領域を作業可能とするよう、回路基板に対して上下方向に平行移動可能としてもよい。

40

【0070】

図27に示す別の配置では、ワーク対象物190は、マニピュレーター18に対する揚力を提供する回路基板12の下側に位置している。マニピュレーター18は、回路基板によって、ワーク対象物190上方の天井(ceiling)となるように、浮上されている。

50

【0071】

図28は、ある表面から別の表面へマニピュレーターが移動する一例を示す図である。回路基板12は、マニピュレーター18を浮上させ、第2の表面210へ向けてマニピュレーター18を移動させる。マニピュレーターが第2の回路基板210に近づくにつれ、マニピュレーターの制御は、回路基板210へ移行する。マニピュレーター18を制御している回路基板12内のトレースは、回路基板210への制御の移行を促進(facilitate)するため、OFFされてもよい。実施例の1つでは、0.8~1.0Aの高電流パルスが回路基板210のトレース内で用いられ、制御の移行を促進する。垂直方向への移動に関し、マニピュレーターは、典型的には、重力に抗するために、回路基板210の表面上に配置されている。この説明は、単に、タスクの実行に合わせて、マニピュレーターを移動させるシステムの自由度および能力を実例として説明したにすぎない。

10

【0072】

図28に示されているように、システムは、様々な方向に配向された複数の回路基板12から構成されてもよい。例えば、回路基板12は、マニピュレーターがワーク対象物190上の複数の点においてワーク実行可能とするように、図26に示した回路基板を並列に複数個、複製(duplicated)されていてもよい。別のケースでは、例えば、マニピュレーター18の下側に回路基板12を、マニピュレーター18の上側近傍に第2の回路基板を設置するように、複数の回路基板が、性能向上のために用いられてもよい。これは、図27に示したマニピュレーター18の上側の回路基板12に類似しているが、マニピュレーター18の下側の回路基板というより、ワーク対象物190の下側の回路基板と類似している。1つの回路基板よりむしろ2つの回路基板でマニピュレーター18を駆動することにより、マニピュレーター18の最大力(peak force)および最大速度(peak speed)を増加させることができる。また、図28に示したような方法を用いて、回路基板間で自由に動く複数のマニピュレーター18を用いる図32に示すような回路基板の3次元アレイを構成することができる。また、このシステムは、回路基板12用のフレキシブル回路を用いて、図33に示すような、曲がっている(bent)または湾曲している(curved)経路を構成することができる。

20

【0073】

複数の回路基板12を用いるシステムでは、複数のボードが固定されている。もしくは、いくつかの実施例では、ボードは、異なった方法を用いて、異なる所望の機能を実現するシステムを構成するために、交換可能であってもよい。例えば、システムは、各回路基板12を交換可能な方法でマザーボードに差し込む、従来技術において既知の“マザーボード(mother board)”アプローチを用いてもよい。

30

【0074】

上述の記載から、マニピュレーター18は、回路12上で様々な姿勢(向き)で動作可能であることは十分に理解される。すなわち、回路12のトレース内に十分な電流が供給されれば、マニピュレーター18は、例えば、回路基板12が携帯型ハンドヘルド機器内にある場合、または回路基板12が姿勢の変化が可能なロボットの手首(wrist)に取り付けられている場合のように、姿勢(向き)が動的に変化している間であっても、動作することができる。実施例の1つでは、図26、28に示したようなビアパターンは、0.8Aのトレース電流と共に導電層26、28内で用いられている。それは、手によってその姿勢が変化する間にも動作可能なデバイスに用いられる。

40

【0075】

マニピュレーターによって実行されるタスクは、エンドエフェクターおよびその構成に部分的に依存してもよい。例えば、図21~28のエンドエフェクター182は、付着液、エッチング液、もしくは、物体または他の部品をエンドエフェクターに接着するための接着剤のいずれかの液体を用いている。図29は、物体を複数の方向に動き回らせ、ワーク面を横切って物を運ぶのに有用な“フォーク(fork)”または“シャベル(shovel)”タイプのエンドエフェクターを示す図である。図30は、物体を一方の方向に押す出す

50

ための“押し込み (pusher)”タイプのエンドエフェクターを示す図である。実施例の1つでは、あるマニピュレーターの端部上のシャベルエンドエフェクターは、別のマニピュレーターのハウキ (broom) エンドエフェクターの前に物体を設置してもよく、ハウキエンドタイプのエフェクターは、物体をワーク対象物に対してプッシュすることができる。

【0076】

上述のように、適切なプログラミングによって、マニピュレーターは、平行移動および回転され、様々な所望のタスクを実行するよう、取り付けられたエンドエフェクターを平行移動および回転させることができる。また、反磁性層14の面に平行な軸に対して傾斜させるために、例えば、マニピュレーター18の他の部分の磁石を引き寄せつつ、マニピュレーター18の一部の磁石を押すように（反発させるように）、トレース電流を駆動させてもよい。これにより、マニピュレーター18を、反磁性層14に平行な軸に対して、回転また傾斜させることができる。ここで、“ヨー (yaw)”を回路基板12のローカル面に垂直な軸に対する回転と定義し、“ロール (roll)”および“ピッチ (pitch)”を回転方向に対する傾斜とする。また、重力に加えて、エンドエフェクターの付加質量が加わる多くの場合において、同等の単純な制御方法 (simpler control strategies) を、傾斜のために用いてもよい。

【0077】

図31は、図23に示した構成と似た単純な例を示す図である。回路基板12上を移動し、エンドエフェクター182を有するマニピュレーター18は、ワーク対象物190に対し、図31aに示すようなパワーON状態で近づいていく。エンドエフェクター182を、ワーク対象物190に接触するよう、下方向に傾斜させるため、パワーがOFFされる。本実施例では、エンドエフェクター182は、マニピュレーター18に対して十分な質量を有している。重力は、マニピュレーター18と、マニピュレーター18に堅固に取り付けられているエンドエフェクター182を、図31bに示されているページ奥側に延伸している傾斜軸230周りに回転させることで、それらを“下側傾斜 (tilt-down)”状態で傾斜させる。傾斜軸230は、一般的には、回転軸を定めるマニピュレーター18上の少なくとも2つの点と一致する。また、質量分布によっては、マニピュレーター18上の単一の点を用いてもよく、単一の点は、反磁性層14に平行というよりは垂直な軸に対するいくつかの回転を発生させる。

【0078】

上側に傾斜させるために、回路基板12にパワーが供給され、マニピュレーター18およびエンドエフェクター182が再度元の位置に戻るために十分な磁力が発生し、“上側傾斜 (tilt-up)”状態に戻る。また、回路基板12からの利用可能な磁力によって、下側傾斜状態および上側傾斜状態を確実に実現するために、エンドエフェクター182の構成に質量を追加またはエンドエフェクター182の構成から質量を除去 (subtract) してもよい。また、反磁性層14の低い摩擦力とバランスを取るよう質量を適切に調整することによって、低電流モードでは、マニピュレーター18が回路基板の面に対して平行に移動し、高電流モードでは、マニピュレーター18が上側傾斜動作を実行するよう構成することができる。実施例の1つでは、回路基板12内の導電層26、28、30、32用 (図3参照) の低電流モード用の低電流は、それぞれ、0.25 A、0.33 A、0.5 A、0.7 Aである。回路基板12内の導電層26、28、30、32用の高電流モード用の高電流は、それぞれ、0.8 A、0.8 A、0.5 A、0.7 Aである。

【0079】

このように、マイクロファクトリーシステムは、複数のマニピュレーター18を回路基板の表面上で制御するよう構成されている。この回路基板は、通常の製造技術を用いて製造することができる。コントローラーは、ワーク対象物上に対するタスクを実行するため、マニピュレーターの正確な制御を提供する。

【0080】

上記開示された他の特徴および機能、もしくは、それらの代替手段が、多くの異なるシ

10

20

30

40

50

ステムや応用において、適切に組み合わせることができることは十分に理解されるであろう。また、現在予測していないまたは予期せぬ様々な代替手段、変更、バリエーション、またはこれらの改良が、以降、当該技術分野において知識を有するものによって為されるであろうが、それらも同様に、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内である。

【図 1】

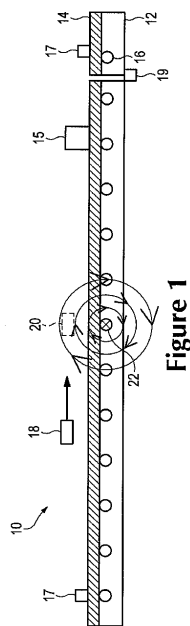


Figure 1

【図 2】

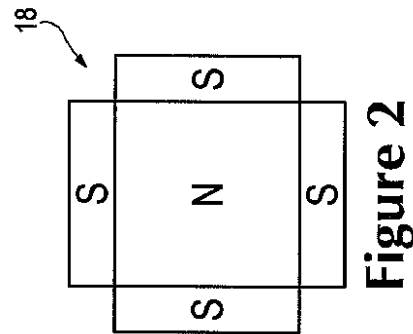


Figure 2

【図 3】

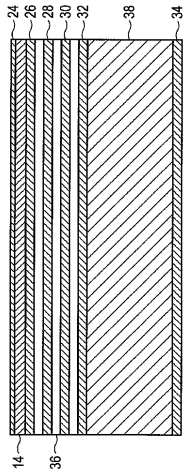


Figure 3

【図 4】

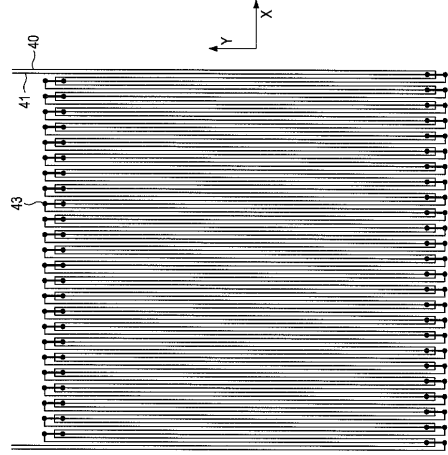


Figure 4

【図 5】

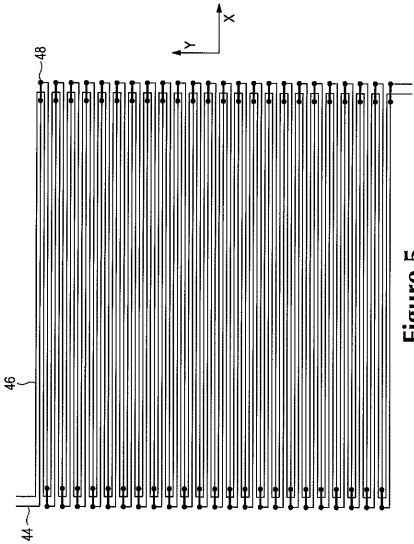


Figure 5

【図 6】

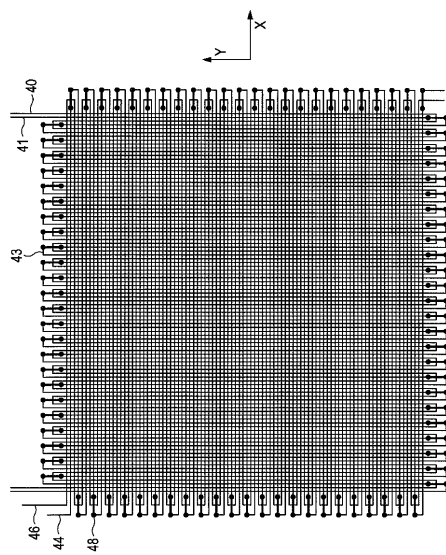
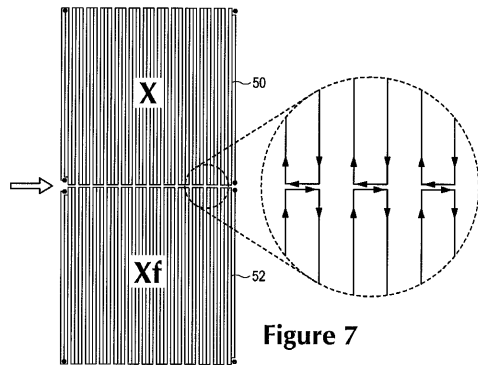
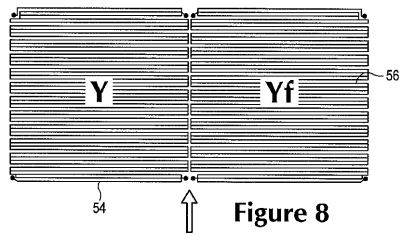


Figure 6

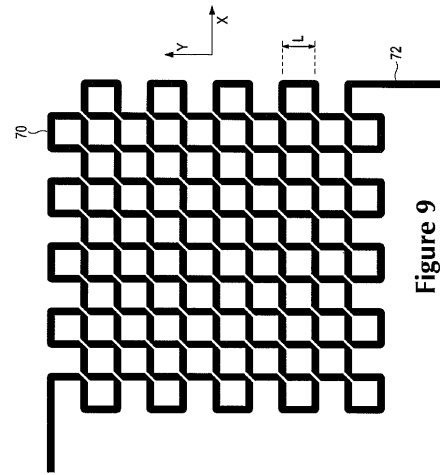
【図 7】



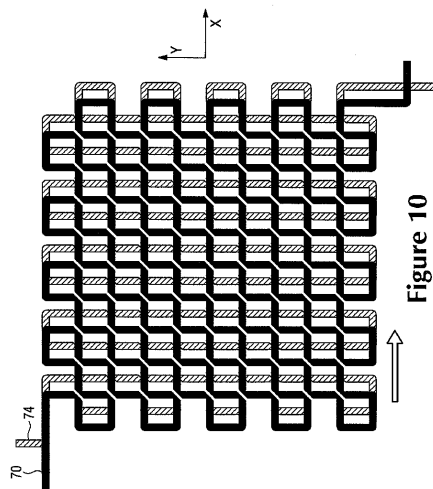
【図 8】



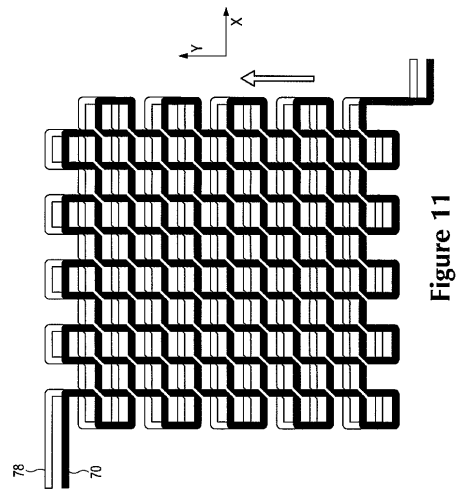
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 1 2】

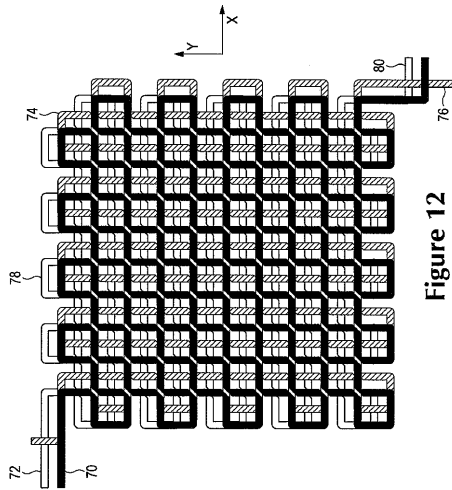


Figure 12

【図 1 3】

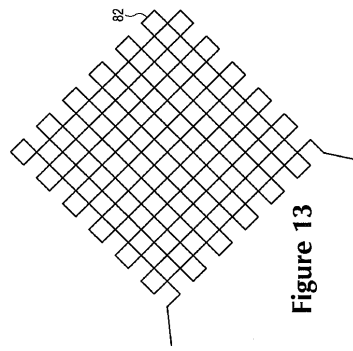


Figure 13

【図 1 4】

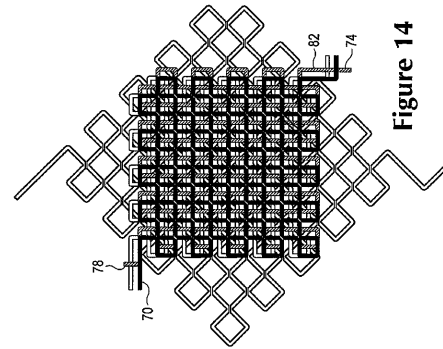


Figure 14

【図 1 5 A】

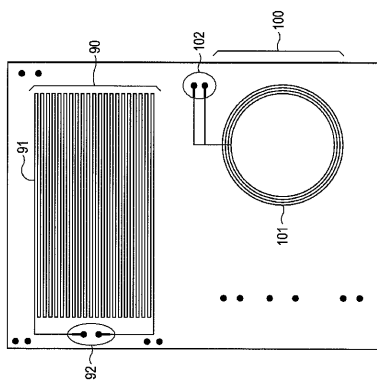


Figure 15A

【図 1 5 C】

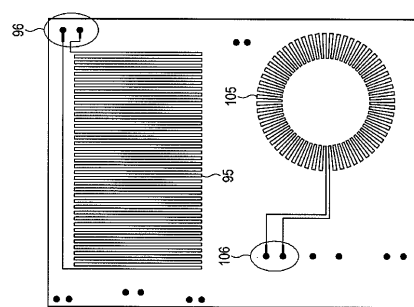


Figure 15C

【図 1 5 B】

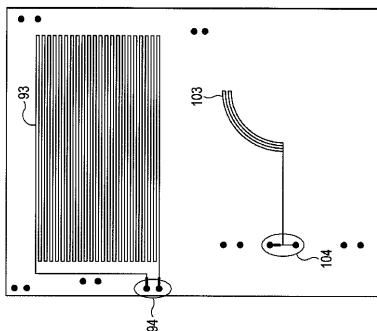


Figure 15B

【図 1 5 D】

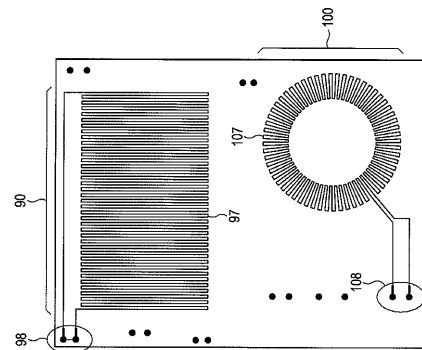
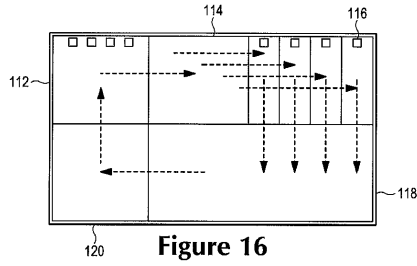
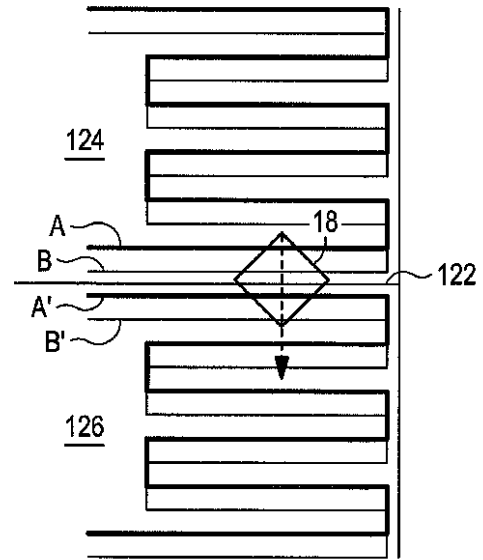


Figure 15D

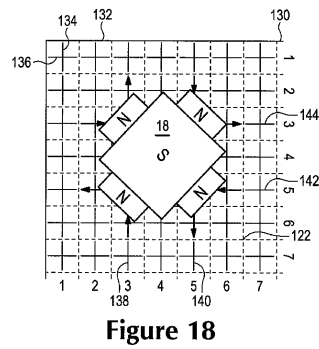
【図 16】



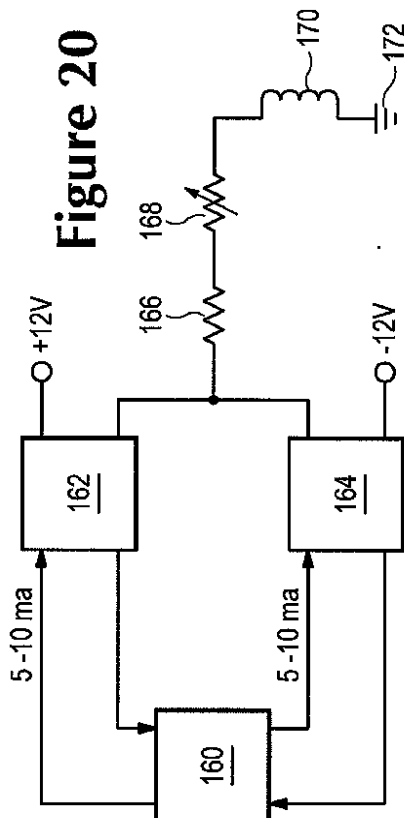
【図 17】



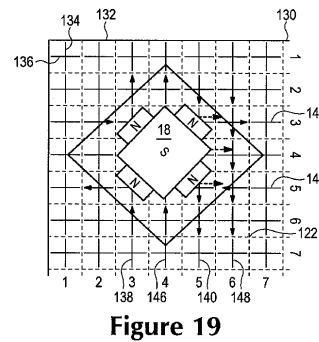
【図 18】



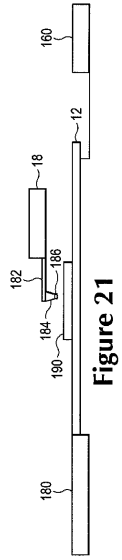
【図 20】



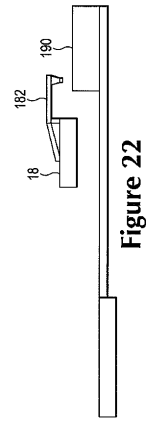
【図 19】



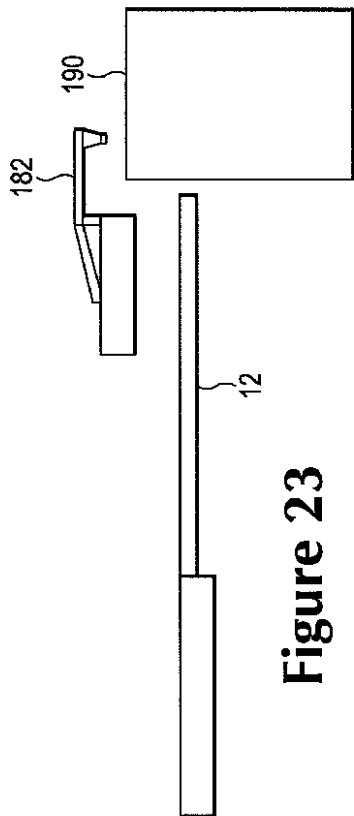
【図 2 1】



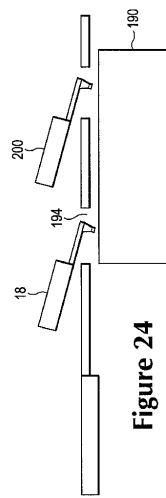
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】

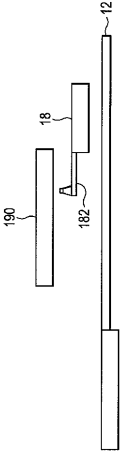


Figure 25

【図 2 6】

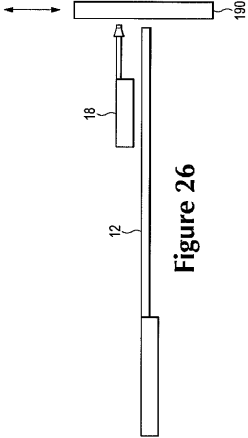


Figure 26

【図 2 7】

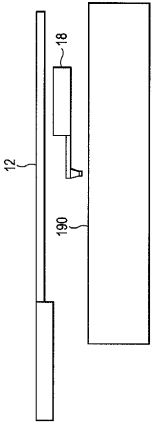


Figure 27

【図 2 8】

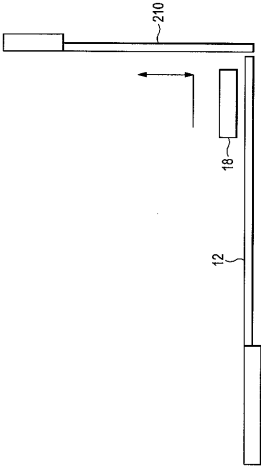


Figure 28

【図 2 9】

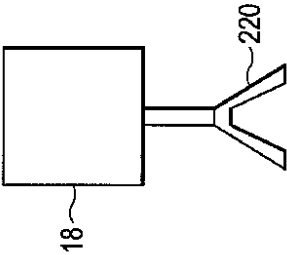
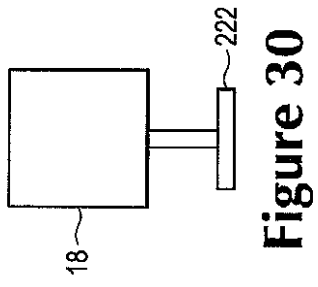
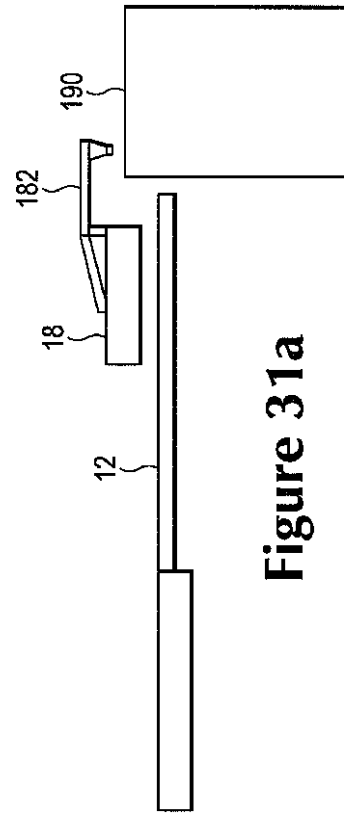


Figure 29

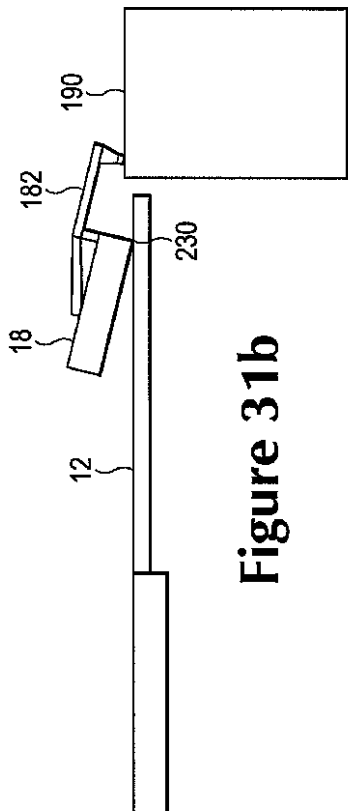
【図 3 0】



【図 3 1 a】



【図 3 1 b】



【図 3 2】

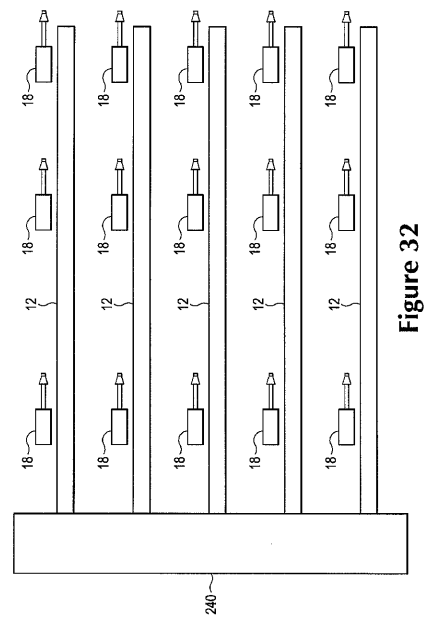


Figure 32

【図 33】

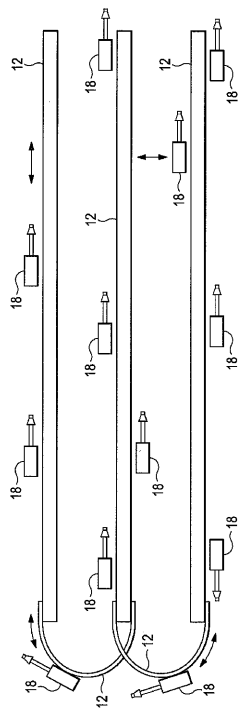


Figure 33

フロントページの続き

- (74)代理人 100091627
弁理士 朝比 一夫
- (72)発明者 ペルライン, ロナルド, イー.
アメリカ合衆国 80504 コロラド州, ロングモント, インコリジブル サークル 809
- (72)発明者 メイヤーズ, グレゴリー, ケー.
アメリカ合衆国 94127 カリフォルニア州, サンフランシスコ, メルローズ アベニュー 473
- (72)発明者 ウォンフォイ, アンジェ
アメリカ合衆国 94044 カリフォルニア州, パシフィカ, ベイバリー サークル 219
- (72)発明者 ヘルソン, ジェームス, エー.
アメリカ合衆国 94062 カリフォルニア州, レッドウッド シティ, バーナル ウェイ 735
- (72)発明者 ロウ, トーマス, ピー.
アメリカ合衆国 34002 カリフォルニア州, ベルモント, リオン アベニュー 2035

審査官 池田 安希子

- (56)参考文献 特表2003-526523 (JP, A)
特開2005-253179 (JP, A)
米国特許第04803425 (US, A)
特開2003-224961 (JP, A)
特表2003-502248 (JP, A)
特開平10-327588 (JP, A)
特開平10-323058 (JP, A)
特開2008-004647 (JP, A)
特表2001-526878 (JP, A)
特開平10-201215 (JP, A)
特開2006-187192 (JP, A)
特開2000-243811 (JP, A)
特開2009-089595 (JP, A)
特開平07-308096 (JP, A)
国際公開第01/068256 (WO, A1)
米国特許出願公開第2002/0090287 (US, A1)
米国特許出願公開第2005/0194843 (US, A1)
米国特許出願公開第2008/0067415 (US, A1)
米国特許第05886432 (US, A)
米国特許出願公開第2007/0267920 (US, A1)
米国特許出願公開第2004/0126907 (US, A1)
米国特許出願公開第2006/0097585 (US, A1)
米国特許出願公開第2005/0255624 (US, A1)
米国特許出願公開第2009/0097003 (US, A1)
国際公開第2009/050675 (WO, A1)
米国特許出願公開第2010/0259768 (US, A1)
米国特許出願公開第2002/0190582 (US, A1)
米国特許第05777402 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01F 7/20