

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-527551

(P2007-527551A)

(43) 公表日 平成19年9月27日(2007.9.27)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 26/10 (2006.01)	G02B 26/10 104Z	2C362
G02B 26/08 (2006.01)	G02B 26/08 E	2H041
B41J 2/44 (2006.01)	B41J 3/00 D	2H045
B81B 3/00 (2006.01)	B81B 3/00	3C081
H04N 1/113 (2006.01)	H04N 1/04 104Z	5C072
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 31 頁)		

(21) 出願番号 特願2006-552357 (P2006-552357)
 (86) (22) 出願日 平成17年2月9日(2005.2.9)
 (85) 翻訳文提出日 平成18年10月4日(2006.10.4)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2005/004067
 (87) 国際公開番号 W02005/078508
 (87) 国際公開日 平成17年8月25日(2005.8.25)
 (31) 優先権主張番号 60/542,896
 (32) 優先日 平成16年2月9日(2004.2.9)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 60/571,133
 (32) 優先日 平成16年5月14日(2004.5.14)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 505472816
 マイクロビジョン, インク.
 アメリカ合衆国 ワシントン州 9805
 2-5034, レッドモンド, 185番
 アベニュー エヌイー 6222
 (74) 代理人 100083932
 弁理士 廣江 武典
 (74) 代理人 100129698
 弁理士 武川 隆宣
 (74) 代理人 100129676
 弁理士 ▲高▼荒 新一
 (74) 代理人 100135585
 弁理士 西尾 務

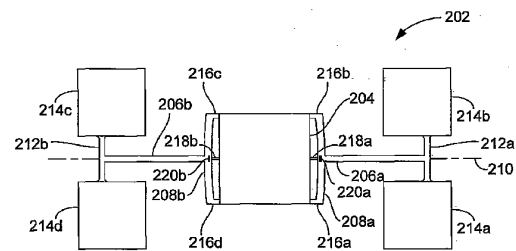
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光線を走査する方法および装置

(57) 【要約】

共振MEMS走査システムは、その共振周波数でMEMSスキャナを動作させて、走査角を最大限にし、かつ消費電力を最小限にする。コントローラは、位相ロックループ、振幅サーボ制御ループ、および共振周波数サーボ制御ループを含む。マイクロプロセッサは、ループを制御し、起動のような状態の間オーバーライドを提供する。共振周波数は動的かつ熱的に調整されて、デバイスがより高いQ値で操作されることが可能になる。位相ロックループはプレロック条件で動作して、より速い起動が可能になる。アイドルおよび起動の間、共振周波数は制御された開ループである。駆動電圧は、起動の間は高く設定されて、走査角の急速な増加が達成される。

【選択図】 図2A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の周波数で周期的な電気信号を生成する工程と、
MEMS スキャナに前記周期的な電気信号を送信する工程と、
共振周波数補償信号を決定して、前記 MEMS スキャナの共振周波数を前記第 1 の周波数と実質的に合致させる工程と、

前記 MEMS スキャナに前記共振周波数補償信号を送信する工程とを含む、MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 2】

前記周期的な電気信号が正弦波形である、請求項 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。 10

【請求項 3】

前記周期的な電気信号を送信する工程が、前記周期的な電気信号を基準信号に位相ロックする工程を含む、請求項 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 4】

前記第 1 の周波数が、電圧制御周期波形発生器に電圧を印加することによって制御される、請求項 3 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 5】

前記周期的な電気信号を送信する工程が、前記周期的な電気信号を対応する設定値に振幅固定する工程を含む、請求項 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。 20

【請求項 6】

前記周期的な電気信号を送信する工程が、前記信号を動作電圧に増幅する工程を含む、請求項 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 7】

前記共振周波数補償信号が、スキャナ位相を駆動位相と比較することによって決定される、請求項 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 8】

前記スキャナ位相が、前記 MEMS スキャナの共振周波数で生じる駆動位相のスキャナ位相への反転の関数である、請求項 7 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 9】

前記共振周波数補償信号がヒーター信号を含む、請求項 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。 30

【請求項 10】

前記ヒーター信号を印加する工程が、
共振周波数補償電圧を生成する工程と、
前記共振周波数補償電圧を増幅する工程と、
前記増幅された共振周波数補償電圧を前記 MEMS スキャナに送信する工程とを含む、
請求項 9 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 11】

前記 MEMS スキャナで前記ヒーター信号を受け取る工程と、 40
前記ヒーター信号を、前記 MEMS スキャナの少なくとも一部分の感知温度上昇に変換する工程とをさらに含む、請求項 9 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 12】

前記ヒーター信号を感知温度上昇に変換する工程が、前記 MEMS スキャナ内のジュール加熱を含む、請求項 11 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 13】

前記 MEMS スキャナで前記共振周波数補償信号を受け取る工程をさらに含み、
前記 MEMS スキャナの共振周波数が前記第 1 の周波数と合致するように変化する、請求項 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 14】

周期的なスキャナ駆動信号および共振周波数制御信号を送信するように動作可能なスキャナコントローラと、

前記周期的なスキャナ駆動信号および前記共振周波数制御信号を受け取るように動作可能であって、かつ前記共振周波数制御信号に応答する共振周波数で、前記周期的なスキャナ駆動信号に応答して周期的に走査するように動作可能な、共振MEMSビームスキャナとを備える、ビーム走査システム。

【請求項15】

前記スキャナコントローラが、前記周期的なスキャナ駆動信号と前記共振MEMSビームスキャナの応答との位相差の測定に応答して、前記共振周波数制御信号を決定するように動作可能である、請求項14に記載のビーム走査システム。

10

【請求項16】

前記共振MEMSビームスキャナが、前記共振周波数制御信号に応答して温度上昇を受けるように動作可能であって、前記温度上昇が、前記共振MEMSビームスキャナの前記共振周波数を決定するように作用する、請求項14に記載のビーム走査システム。

【請求項17】

電磁ビームを生成するように動作可能であって、前記生成された電磁ビームを方向付けて前記共振MEMSビームスキャナに衝突させるように位置合わせされたビーム発生器をさらに備え、

前記共振MEMSビームスキャナが、前記生成された電磁ビームを受け取り、かつ視野全体にわたって前記生成された電磁ビームを走査するように動作可能である、請求項14

20

【請求項18】

前記ビーム走査システムがレーザービームプリンタを備える、請求項17に記載のビーム走査システム。

【請求項19】

前記ビーム走査システムがレーザーカメラを備える、請求項17に記載のビーム走査システム。

【請求項20】

前記ビーム走査システムがバーコードスキャナを備える、請求項17に記載のビーム走査システム。

30

【請求項21】

前記ビーム走査システムが走査ビームディスプレイを備える、請求項17に記載のビーム走査システム。

【請求項22】

基準信号の位相にロックされたMEMSスキャナを駆動する周期的な駆動信号を出力するように動作可能な位相ロックサーボループと、

前記周期的な駆動信号の振幅を制御するように動作可能な振幅制御サーボループと、

共振周波数制御信号を出力するように動作可能な共振周波数制御サーボループとを備える、MEMSスキャナコントローラ。

【請求項23】

40

外部システムと通信するように動作可能であって、かつ前記振幅制御サーボループに振幅制御設定値を出力するように動作可能なマイクロプロセッサをさらに備える、請求項22に記載のMEMSスキャナコントローラ。

【請求項24】

前記マイクロプロセッサに動作可能に結合された温度センサをさらに備え、

前記マイクロプロセッサが、前記共振周波数制御サーボループを中断し、かつ前記温度センサに応答して合成された共振周波数制御信号を出力するようにさらに動作可能である、請求項23に記載のMEMSスキャナコントローラ。

【請求項25】

前記マイクロプロセッサが、前記位相ロックサーボループへのMEMSスキャナ位相フ

50

ィードバック信号を中断し、かつ、前記位相ロックサーボループへの前記周期的な駆動信号に対応する信号を有効に結合するようにさらに動作可能である、請求項 2 3 に記載の MEMS スキャナコントローラ。

【請求項 2 6】

前記マイクロプロセッサが、前記振幅制御サーボループを中断し、かつ前記周期的な駆動信号の振幅を選択するようにさらに動作可能である、請求項 2 3 に記載の MEMS スキャナコントローラ。

【請求項 2 7】

位相マークおよび走査振幅に対応する信号を出力するように動作可能な MEMS センサをさらに備え、

前記位相ロックサーボループおよび前記共振周波数制御サーボループが両方とも、前記位相マーク信号に有効に結合され、

前記振幅制御サーボループが前記走査振幅信号に有効に結合される、請求項 2 2 に記載の MEMS スキャナコントローラ。

【請求項 2 8】

水平同期信号出力をさらに含む、請求項 2 1 に記載の MEMS スキャナコントローラ。

【請求項 2 9】

走査角の急速な上昇を達成するために、第 1 の振幅範囲で MEMS スキャナに周期的な駆動信号を出力する工程と、

続いて、実質的に一定の走査角を維持するために、第 2 の振幅範囲で MEMS スキャナに周期的な駆動信号を出力する工程とを含む、MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 0】

前記第 1 の振幅範囲が前記第 2 の振幅範囲の約 2 倍よりも大きい、請求項 2 9 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 1】

前記第 1 の振幅範囲が約 1 秒未満適用される、請求項 2 9 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 2】

前記第 1 の振幅範囲が、数秒を越えて適用された場合には前記 MEMS スキャナを中断させるように十分に高い、請求項 3 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 3】

前記第 1 の振幅範囲が、数秒を越えて適用された場合には前記 MEMS スキャナを過熱させるように十分に高い、請求項 3 1 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 4】

前記第 1 の振幅範囲が、約 1 秒を越えて適用された場合には前記 MEMS スキャナアクチュエータを過熱させるように十分に高い、請求項 3 3 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 5】

前記第 2 の振幅範囲がサーボ制御ループによって制御される、請求項 2 9 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 6】

前記周期的な駆動信号の振幅が、少なくとも数サイクルにわたって前記第 1 の振幅範囲から前記第 2 の振幅範囲まで遷移する、請求項 2 9 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 7】

前記第 1 の振幅範囲の適用中、MEMS スキャナフィードバックセンサを監視する工程と、

安定したセンサフィードバックが検出された後、振幅制御をサーボループ振幅制御に遷移する工程とをさらに含む、請求項 2 9 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 3 8】

10

20

30

40

50

前記周期的な駆動信号の位相を開ループ制御で制御する工程をさらに含む、請求項 33 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 39】

合成された共振周波数制御信号を使用して前記 MEMS スキャナの共振周波数応答を制御する工程をさらに含む、請求項 38 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 40】

振幅を前記サーボループ制御で制御した後、基準信号にロックされた位相サーボ制御ループによる、前記周期的な駆動信号の位相の制御に切り換える工程をさらに含む、請求項 39 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 41】

前記周期的な駆動信号の位相を、基準信号にロックされた位相サーボ制御ループで制御した後、前記 MEMS スキャナの共振周波数応答の制御をサーボループ共振周波数制御に切り換える工程をさらに含む、請求項 40 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 42】

あらかじめロックされた位相ロックループから駆動された第 1 の位相にある MEMS スキャナに周期的な駆動信号を出力する工程と、

前記 MEMS スキャナからの安定した応答を達成した後に、前記周期的な駆動信号の位相の制御をフィードバック制御位相ロックループに切り換える工程とを含む、MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 43】

前記あらかじめロックされた位相ロックループが、前記周期的な駆動信号を基準信号に同期させる、請求項 42 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【請求項 44】

前記フィードバック制御位相ロックループが、前記 MEMS スキャナの共振周波数応答を基準信号に同期させる、請求項 42 に記載の MEMS スキャナの駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の相互参照)

本出願は、同時係属中の特許文献 1 (名称「簡易ドライブを有する MEMS デバイス (MEMS DEVICE HAVING SIMPLIFIED DRIVE)」、スプレイグ (Randall B. Sprague) ら、2004 年 5 月 14 日出願) の利益を主張し、また、同時係属中の特許文献 2 (名称「レーザープリンタに適合された MEMS システム (MEMS SYSTEM ADAPTED TO A LASER PRINTER)」、デイビス (Wyatt O. Davis) ら、2004 年 2 月 9 日出願) の利益を主張する。

【0002】

本出願はまた、同時係属中の特許文献 3 (名称「高性能 MEMS スキャナ (HIGH PERFORMANCE MEMS SCANNER)」、デイビス (Wyatt O. Davis) ら、2004 年 11 月 12 日出願)、特許文献 4 (MEMS スキャナの製造方法および装置 (METHOD AND APPARATUS FOR MAKING A MEMS SCANNER))、リンデン (Kelly Linden) ら、2004 年 11 月 12 日出願)、および特許文献 5 (名称「簡易ドライブを有する MEMS デバイス (MEMS DEVICE HAVING SIMPLIFIED DRIVE)」、スプレイグ (Randall B. Sprague) ら、2004 年 11 月 9 日出願) の実体に関連する。

【0003】

本発明は、ビームスキャナに関し、特に MEMS ビームスキャナを操作するシステムに関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【0004】

ビーム走査は、走査ビームディスプレイ、バーコードスキャナ、および電子写真式プリンタを含む、様々な用途において重要になっている。従来技術のビーム走査の用途、特に高性能の用途では、回転式ポリゴンスキャナが一般的に使用されている。

【0005】

例証として、ビーム走査システムにおける回転式ポリゴンスキャナの動作を説明する。図1は、典型的な回転式ポリゴンベースのビーム走査システム101の主要な特徴を示す図である。必要であれば、用途の必要条件に合致した波長のレーザーダイオード102は、画像データ信号で任意に変調されてもよい。ビーム形成光学素子104は、所望の形状と軌道を有するレーザービームを生成する。レーザービームは、回転ポリゴンミラー106、特にその面108に反射し、個々の面108aおよび108bは、明瞭にするためにインデックスが付けられている。ビーム走査システム101の設計は、ポリゴン106の反射面108a、108bなどが回旋点の前に置かれるようなものであり、そのため、到達するビームは、ミラー面が回転されるにしたがって各ミラー面全体を掃引するという点に注目できる。ビームは、偏向角を横切って偏向されて、走査された（および任意に変調された）ビーム110を形成する。

10

【0006】

回転式ポリゴンベースのビーム走査システムにおいて直面する1つの問題は、回転するポリゴン自体に関するものである。回転ポリゴンミラーは、比較的大きな質量、速度を上げるまでの遅い起動、大きな寸法、ノイズ、ベアリングの信頼性の問題、比較的高い消費電力、および他の欠点という不利な点がある場合がある。

20

【0007】

上述したように、高速バーコードスキャナは、典型的には、回転ポリゴンミラーを使用して、小売店のレジでのカウンタ内走査や高速パッケージ分類などのスループットに敏感な用途に十分な、走査速度および分解能を生成する。そのようなスキャナの一例は、特許文献6（デトウィラー（Paul O. Detwiler）、名称「全面適用バーコードスキャナ（FULL COVERAGE BARCODE SCANNER）」）に記載されており、これを参考として組み込む。他のそのような例は、ポリゴン面の角度を変えて平行な走査パスを作るのではなく、その代わりに、走査パスに第2の軸線の周りで振動する垂直走査ミラーを含むという点に注目できる。

30

【0008】

上述したように、走査ビームディスプレイはさらにビームスキャナを使用する。様々な走査ビームディスプレイの実施形態は、当該技術分野において開示されている。そのような1つの例としては、特許文献7（ファーネス（Furness）ら、名称「仮想網膜ディスプレイ（VIRTUAL RETINAL DISPLAY）」）に記載されているような走査ビームディスプレイが挙げられ、これを参考として本明細書に組み込む。同様に、電子写真式プリンタ（一般に「レーザープリンタ」と称される）、LIDARシステム、回転レーザーレベル、ドキュメントスキャナ、および他のビーム走査システムは、従来、回転式ポリゴンビームスキャナを使用している。程度の差はあっても、これらおよび他の用途は、回転ポリゴンスキャナを使用して具体化した場合、それに固有の欠点という不利な点を有している。

40

【0009】

他の用途では、ビームスキャナの性能は、走査周波数の関数として、走査角にミラー寸法を掛けた積で便利に特徴付けることができる。一般的慣習によれば、この積は「シータD」（ ΘD ）と称されてもよく、シータは機械走査角の半分を指し、「D」はミラー寸法を指す。この用語で暗示されるのは、走査ミラー面の静的および動的な変形が、偏向される光の最短波長の $1/5$ （ $\lambda/5$ ）以内の場合が多い受容可能な限度内に収まるという仮定である。ミラー寸法がより大きければ、より小さな回折限界のビームスポットが可能になり、偏向角がより大きければ、スポットの列を並べる所与の距離でより大きなフィールドの幅が可能になるので、 ΘD は、走査ライン内で解像されてもよい（例えば、表示また

50

は検出される) スポットの数に比例する。当然ながら、周波数は、単位時間あたりに生成されてもよい走査ラインの数に関する。したがって、より大きな Θ D スキャナは、一般により高い性能に相当する。

【0010】

従来技術によれば、十分なミラーの平坦性を維持しながら高い走査周波数で高い Θ Dを達成することは、比較的困難であることが分かっている。走査ミラー上の動応力は、ミラーが、比較的大きな走査角、高周波数、および大きなミラー寸法の組み合わせで操作される場合に、ミラーを平坦に保つ支障となる。

【特許文献1】米国仮特許出願第60/571, 133号

【特許文献2】米国仮特許出願第60/542, 896号

【特許文献3】米国特許出願第10/986, 640号

【特許文献4】米国特許出願第10/986, 635号

【特許文献5】米国特許出願第10/984, 327号

【特許文献6】米国特許第6, 045, 046号

【特許文献7】米国特許第5, 467, 104号

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0011】

一態様によれば、高性能を実現する微小電気機械システム(MEMS)ビームスキャナが開示される。特に、様々な実施形態は、すべてシステム要件を満たすのに十分なミラーの平坦性を維持しながら、比較的高い走査周波数かつ比較的大きな Θ Dの積で動作可能である。

【0012】

別の態様は、従来回転ポリゴンスキャナの領域であった用途での使用に従うようにする性能および特性を有する、MEMSビームスキャナに関する。そのような方策を使用することにより、回転ポリゴンミラーと比べて、質量および寸法の低減、より速い起動、ノイズの低減、信頼性の向上、および他の利点が可能になる。

【0013】

本発明の一態様によれば、一連の用途において回転ポリゴンミラーに取って代わるのに特に良好に適合された、ミラー寸法、走査角、走査周波数、およびミラーの平坦性などの物理的および動作上の特質を備えた、MEMSビームスキャナを形成することができる。いくつかの用途では、既存の光学設計に対する実質的な修正なしに、走査軸を横断する拡張された長さを備えたMEMSミラーを、回転するポリゴンの代わりに用いることができる。

【0014】

別の態様によれば、大きな走査角に適合可能なねじりアームの幾何学形状を有するMEMSスキャナが形成される。ねじりアームは、ミラー面の長手方向寸法よりも数倍長くてもよい。

【0015】

別の態様によれば、てこ部材が、ねじりアームの(走査ミラーから離れた)の遠位端上に形成される。てこ部材は、応力の集中を低減し、走査角を拡大し、横方向に移動された取付パッドに接続し、外部アクチュエータからスキャナを駆動するためのモーメントアームを作成する役割を果たす。

【0016】

本発明の別の態様によれば、MEMSスキャナは、直線アクチュエータと実質的に連続して接触する取付パッドを保持する締付け圧力を用いて、アクチュエータアセンブリに取り付けられる。例えば、直線アクチュエータが圧電アクチュエータのスタックである場合、この正圧は、圧縮力を維持し、または圧電アクチュエータのスタック内の張力を最小限にし、それによって、信頼性、堅牢性、および/または寿命を改善する。

【0017】

10

20

30

40

50

別の態様によれば、ヒーターは、MEMSねじりアームのばね定数を変えて、それにより、そこから支持された走査ミラーの共振周波数を修正する。このようにして達成された共振周波数制御の細かさによって、その共振周波数に近いMEMSスキュナの動作が可能になる。加熱は、MEMSスキュナ自体の少なくとも一部分の中で、シリコンなどのバルク半導体材料をジュール加熱することによって達成されてもよい。ドーピングプロセスは、任意に、段階的な固有抵抗対深さを有する電荷キャリアチャネルを作る。MEMSスキュナの領域に金属層を適用して、そのような領域内の下のジュール加熱を低減してもよい。

【0018】

別の態様によれば、MEMSスキュナは、フォトリソグラフィで形成されたフレームなどの外側フレームを有さずに形成されてもよい。その代わりに、複数の取付パッドが形成されてもよい。

【0019】

別の態様によれば、多数のMEMSスキュナが、複数の取付パッドを有するシリコンウェハ上に形成される。不規則に成形されたデバイスは、取付パッドの重なり合いと組み合わされる形で、例えば、従来はフレームによって占められていたような隣接するダイの範囲に入り込む形で、シリコンウェハ上に形成される。デバイスは、深掘反応性イオンエッチング(DRIE)などのディープエッチングプロセスを使用して、シリコンウェハからはほぼ解放される。1以上の「ランド」または「ブリッジ」が、部品とウェハの間、または隣接部品間の接続を維持して、ウェハを機械的に安定させる。ブリッジは、続いて、部品を除去するために壊される。

【0020】

別の態様によれば、スキュナコントローラは、システムの動作周波数と合致するスキュナ共振周波数の維持を提供することを含む。例示的な一実施形態では、これは、位相差で駆動されるサーボ制御ループとして実施される。

【0021】

別の態様によれば、スキュナコントローラは、スキュナヒーターに電流を印加するヒーターアンプを含む。

【0022】

別の態様によれば、MEMSスキュナコントローラは、位相サーボ制御ループを含んで、スキュナ位相をシステム位相に固定する。

【0023】

別の態様によれば、スキュナコントローラは、システムのアイドルプロセスの間、擬似固定された状態で動作する1以上のサーボループを含み、それにより、より速い起動を可能にする。

【0024】

別の態様によれば、MEMSスキュナコントローラは、起動中に、動作中に使用される駆動電圧よりも大幅に高い駆動電圧を印加する。高い駆動電圧はより速い起動を達成するのに有用である。

【0025】

他の態様は、以下の図面の簡単な説明、発明を実施するための最良の形態、請求の範囲、および図面を参照することで、読者には明白になるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

図2Aは、高性能MEMSスキュナ202の一実施形態を示す。MEMSスキュナ202は、例えば、高速高分解能LBP、高速バーコードスキュナ、走査ビームディスプレイ、LIDARシステム、走査レーザーレベル、および他の用途を含む、様々な用途で使用されてもよい。MEMSスキュナ202は、当該技術分野で知られているように、バルクマイクロ機械加工を用いて単結晶シリコンからフォトリソグラフィで形成される。ミラー面を有する走査プレート204は、各サスペンションを介して一対のねじりアーム206

10

20

30

40

50

a、206bに結合され、

サスペンションは、図示されるように、サスペンションビーム208a、208b、サスペンション中心コネクタ218a、218b、およびサスペンション外部コネクタ216a、216b、216c、216dから成る。ねじりアーム206a、206bは、走査プレート204およびサスペンションビーム208a、208bがその周りで回転する回転軸210を画定する。本明細書に参考として組み込まれる、米国仮特許出願第60/571,133号（名称「簡易ドライブを有するMEMSデバイス（MEMS DEVICE HAVING SIMPLIFIED DRIVE）」、スプリング（Randall B. Sprague）ら、2004年5月14日出願、本願と同一出願人による）の教示から理解されるように、サスペンションは、ねじりアーム206a、206bによって引き起こされるトルク負荷を走査プレート204の表面全体に広げることによって、ミラー面を比較的平坦に、典型的には1/4波長以内に維持する助けとなる。

【0027】

サスペンションビーム208はそれぞれ、各外部（側部）コネクタ216a、216b、216c、216d、および各軸コネクタ218a、218bによって、走査プレート204に結合される。総合すれば、サスペンション要素208a、216a、216b、および218aは、第1のねじりアーム206aと走査プレート204の間の第1のサスペンション結合を形成する。同様に、サスペンション要素208b、216c、216d、および218bは、第2のねじりアーム206bと走査プレート204の間の第2のサスペンション結合を形成する。

【0028】

ねじりアーム206a、206bは、各「てこ部材」212aおよび212bで終端する。てこ部材212aおよび212bは次に、図示されるように、各側部ポイントで、それぞれの取付パッド214aと214b、および214cと214dに接続する。総合すれば、てこ部材212aおよび取付パッド214a、214bは、ねじりアーム206aを支持構造（図示なし）に結合する第1の取付構造を構成する。同様に、てこ部材212bおよび取付パッド214c、214dは、ねじりアーム206bを支持構造（図示なし）に結合する第2の取付構造を形成する。他の実施形態では、取付構造は、例えば、個々のねじりアームにそれぞれが直接接合された一对の長方形の取付パッド、走査プレート204およびねじりアーム206a、206bの周辺に形成された単一フレーム、または他の形状など、他の形状をとることができる。図2Aの例示的な実施形態は、例えば、1つのウェハ当たりにより多数のデバイスを詰め込む、動応力が低減する、個々の取付パッドをアクチュエータに結合できる、ならびに取付パッド214を互いに対して「浮遊」させることができ、それによってMEMSスキャナ内の残留応力を低減するなど、特定の利点を有することができる。

【0029】

代替実施形態では、てこ部材212aおよび212bは、側部ポイントで周辺の取付フレームと連結し、この周辺フレームは、従来のMEMS構成にしたがって、走査プレート、ねじりアーム、およびてこ部材を取り囲む。

【0030】

走査プレート204およびその上のミラーは、例えば、長手方向の範囲（回転軸210に平行な方向における）よりも実質的に大きな横方向の範囲（回転軸210に垂直な方向における）を有するように形成されてもよい。他の考察では、これは回転ポリゴンミラーの面を模倣するのに有利に使用され、それにより、様々な用途で回転ポリゴンスキャナに代わるものとしてスキャナ202の使用を助けてもよい。あるいは、走査プレート204は、より低いアスペクト比の長方形、正方形、円形、楕円形、または所与の用途に適切であり得る他の形状として形成されてもよい。

【0031】

図2Aに示されるように、MEMSスキャナ202は、2つのねじりアーム206a、206bを含み、そのそれぞれは長さ18.76mm（フィレットを含む）であり、近位

端では各サスペンションにおいて（特にサスペンションビーム208a、208bにおいて）400 μ m $\times$ 200 μ mの楕円形のフィレットで終端し、また遠位端ではやはり400 μ m $\times$ 200 μ mの楕円形のフィレットを備えた各てこ部材212a、212bで終端する。ねじりアーム206a、206bは、幅384 μ mである。MEMSスキャナ202の残りの部分と同様に、ねじりアームは、DRIE処理を用いて700 μ mの十分なウェハ厚さにエッチングされる。所与のミラー質量に対して、ねじりアームおよびてこ部材の幅、奥行き、および長さを調節して、選択的な共振走査周波数および角度を生成してもよい。

【0032】

サスペンションビーム208a、208bは、幅396 μ mであり、わずかに曲げられて、各ねじりアーム206a、206bに対して91.6度のわずかな鈍角を形成し、また、走査プレート204の横方向の程度と等しい程度まで横方向に延びる。各サスペンション中心コネクタ218a、218bは、サスペンションビーム208a、208bの中心線から走査プレート204の中心線まで延び、その距離は500 μ m（フィレットを含む）である。中心コネクタ218a、218bはそれぞれ、幅164 μ mであり、両端に半径100 μ mのフィレットを含む。4つのサスペンション外部コネクタ216a、216b、216c、および216dは、サスペンションビーム208a、208bの端部から走査プレート204まで延び、図示されるように、1つ1つが各サスペンションビームの各端部上にある。外部コネクタ216a、216b、216c、216dはそれぞれ、幅250 μ m（横方向） $\times$ 長さ400 μ m（長手方向）であり、フィレットを有さない。各サスペンションは、したがって、それぞれサスペンションビーム208、中心サスペンションコネクタ218、および2つの外部サスペンションコネクタ216を含み、また、応力集中を低減し、トルク負荷を広げ、動作中の走査プレートの動的変形を低減する形で、ねじりアーム206a、206bを走査プレート204に接続する。代替サスペンション構成が可能であり、当業者によって実施することができる。

【0033】

図2Aの例示的な実施形態の走査プレートは、6mm $\times$ 6mmの正方形である。

【0034】

てこ部材212a、212bは、それぞれ長さ1.8mm（フィレットを含む全横方向寸法）、幅400 μ m（長手方向寸法）であり、図2Aの例では、ねじりアーム206a、206bで形成される軸から対称的に、それに垂直に延びている。てこ部材212a、212bの外側端部は、図示されるように、半径200 μ mのフィレットを備えた4つの各取付パッド214a、214b、214c、214dに接続する。取付パッドは、それぞれ各々5mmの正方形である。

【0035】

ドープチャネルが、220aおよび220bに、かつ取付パッド214a、214b、214c、および214dの上で形成される。金属が、ドープチャネルの上にある取付パッド214a、214b、214c、および214dの上に堆積される。金属はまた、走査プレート204上にも堆積され、ドープチャネル220aおよび220bと重なり合うポイントまで、中心サスペンションコネクタ218a、218bの上を延びる。後述するように、ドープチャネルは、電流が金属被覆されていない領域と金属層の間を流れる助けとなる、抵抗率が比較的低くかつ段階的な領域を形成する。金属は、例えば金またはアルミニウムであってもよく、走査プレート204上でミラー面を形成する。

【0036】

てこ部材の幾何学形状は、大幅に変えられてもよい。同様に、寸法、形状、およびてこ部材接続部との接続方向などの、取付パッドの幾何学形状は、用途の要件に適合するように調節されてもよい。さらに、てこ部材、取付パッド、およびMEMSスキャナ202の他の部分は、用途の要件にしたがって非対称的に形成されてもよい。例えば、図2Bに関連して理解されるように、2つの取付パッド、2つのてこ部材、および1つのねじりアームの1組全体が削除されてもよい。

【0037】

走査プレート204、サスペンション（要素208a、216a、216b、218a、および208b、216c、216d、218bにそれぞれ対応する）、ならびにねじりアーム206aおよび206bの幾何学形状は、同様に大幅に変えられてもよい。例えば、4mm×4mmの走査プレート204が、図2Aの6mm×6mmの走査プレートの代わりに用いられる場合、ほぼ一定の共振周波数および材料応力限界を維持しながら、ねじりアームの長さがそれぞれ12mm短くされてもよい。サスペンションもまた、走査プレートの動的変形を低減するという利点を維持しながら、大幅に変えられてもよい。

【0038】

取付パッド214a、214b、214c、および214d（または代替の周辺フレーム）が、ハウジングに取り付けられる場合、アクチュエータ（図示なし）に周期的に電力を印加することにより、走査プレート204が、ねじりアーム206a、206bによって画定される回転軸210の周りで前後に周期的に回転する。一実施形態では、適切な信号（4つのアクチュエータの実施形態の場合、約0から25〜30ボルトの間で変わる5キロヘルツ（kHz）の正弦波など）で駆動されると、走査プレート204は、5kHzの周波数において±20°の機械走査角で応答する。 10

【0039】

±20°の機械走査角では、スキャナ202は、9面の回転ポリゴンにほぼ等しい走査角を示す。他のポリゴン形状に合致させるために、他の走査角が選択されてもよい。5kHzの全周期走査速度では、スキャナ202は、10kHzの速度で双方向走査（各サイクル中に1つは前進し1つは後進する）を生成する。これは、66,667RPMで回転する9面のポリゴンミラーにほぼ等価である。したがって、スキャナ202は、比較的精巧な回転ポリゴンスキャナの走査性能を達成することができ、それによってスキャナは高速用途に好適になる。あるいは、スキャナは、一方向に走査するのに使用されてもよく、それによってスキャナは、33,333RPMの9面の回転ポリゴンミラーにほぼ等しくなる。一方向動作は、ミラーが、前進または後進の走査半サイクルの1つにある場合のみ、画像データを単に変調する（または画像データを取り込む）ことによって達成される。双方向で使用された場合、後進走査中にデータ読み出しを逆転させる（レーザーへまたは検出器から）のに適切な制御エレクトロニクスが使用される。 20

【0040】

図2Bは、MEMSスキャナ202の代替実施形態を示す。単一のねじりアームは、図2Aに関連して説明したようなサスペンションを介して走査プレート204を支持する。走査プレートは、様々なモードの共振周波数を適切に制御することにより、および／または、後述するように、走査プレートをその共振周波数で、またはその非常に近くで駆動することにより、軸210の周りで回転されてもよい。 30

【0041】

図3は、MEMSスキャナ202の別の代替実施形態を示す。図3の例示的な実施形態では、てこ部材212aおよび212bは曲がりくねった形状で形成される。てこ部材の遠位端は、上述したように典型的には取付パッドに、あるいは周辺フレーム部材に接合する。理解されるように、てこ部材の幾何学形状は実質的に変更されてもよい。 40

【0042】

図4は、周期的な駆動信号が印加された場合の図2AのMEMSスキャナの動的応答を例証するグラフを示す。曲線402は、周期的な駆動周波数406に応じて変わる振幅応答特性404を示す。曲線408は、同じ周期的な駆動周波数の軸406に対してプロットされた、スキャナ対駆動の位相410を示す。曲線402を調べると、回転モードにあるMEMSスキャナの共振周波数に対応して、約5kHzで応答のピークが見られる。ピークのサイズは相対的な方式でプロットされているが、これは、例示的な実施形態では、受容可能な駆動電力で±20°の機械走査角を生成するのに十分に高い。4つのアクチュエータの実施形態では、振幅が0から25〜30ボルトである5kHzの正弦波に近い駆動波形により、±20°の機械走査角が得られる。 50

【0043】

65～70 kHzの第2のピークは、圧電スタックアクチュエータの共振挙動に対応する。

【0044】

曲線408は、駆動信号対MEMSスキャナ応答の位相関係が共振点でどのように反転するかを示す。5 kHz未満では、位相関係（駆動対応答）は0°である。5 kHzより上であるが第2のピーク未満では、位相関係は-180°である。主要な共振ピークでは、図示されるように、位相関係は反転し、-90°（駆動に遅れる応答）を通る。第2のピークより上では、システムの応答は低下し、また位相特性は再び反転して、ピーク未満での-180°から、第2の共振ピークで-270°（+90°）を通して、第2の共振ピークより上の周波数では-360°（0°）になる。効率を最大限にするために、主要な共振ピークで、またはその近くでMEMSスキャナを動作させるのが有利なことが分かっている。

10

【0045】

5 kHzでの動作では、MEMSスキャナの共振周波数は、5 kHzより数ヘルツ上になるように、典型的には室温で5.001～5.005 kHzの範囲内に調整される。そのような調整は、参考として組み込まれる米国特許第6,245,590号（名称「周波数調整可能な共振スキャナおよび製造方法（FREQUENCY TUNABLE RESONANT SCANNER AND METHOD OF MAKING）」、本願と同一出願人による）に記載された方法によって達成されてもよい。工場へ有利と分かった、少量のエポキシ樹脂の形態の走査プレートに重りを付加する方法を用いて、共振周波数を工場で調整するのが有利であることが分かっている。共振周波数をほぼ5.000 kHzにするために、共振周波数の能動的熱的調整が使用される。

20

【0046】

図5Aは、100 mmのシリコンウェハ502上の、MEMSスキャナ202a、202b、202c、202d、202e、および202fの基本型のレイアウトを示す。図から分かるように、MEMSスキャナには、互いに噛み合わされた取付パッドおよびミラーが稠密に詰め込まれる。そのようなレイアウトの1つの理由は、1つのウェハ当たりの歩留まりを最大限にすることである。図から分かるように、図5Aに示されるスキャナ202の走査プレートは、短く広いアスペクト比で形成される。

30

【0047】

図5Bは、100 mmのシリコンウェハから作製するためのMEMSスキャナの代替レイアウトを示す。スキャナの寸法、特にねじりアームの長さは、図5Aのレイアウトに比べて、より効率的に互いに噛み合わせて詰め込むように調節されている。より大きなウェハにデバイスが稠密に詰め込まれてもよい。

【0048】

用語「互いに噛み合わされた」は、1以上の隣接する半導体デバイスを切断することなく、1つの半導体デバイスの周りに正方形またはダイを描くことができないことを意味する。すなわち、1以上の隣接する半導体デバイスは、ダイシングソーを用いて半導体デバイスの周りに形成することができる幾何学図形の輪郭の中に入り込む。深掘反応性イオンエッチング（DRIE）または他のプロセス工程などのエッチング工程は、ほぼ完全にウェハからスキャナを解放するのに使用される。各デバイスの周りに形成された二重線は、デバイスの周りに形成された「堀」の縁部を示す。スキャナをウェハに周期的に接続する非常に微細なシリコン「ブリッジ」が見られる。スキャナを解放するために、これらのブリッジは単に破断され、スキャナが抜き出される。ブリッジの幅は、通常は、デバイス全体にわたって割れ目が広がるのを回避するのに十分に狭くされる。

40

【0049】

代替実施形態では、金属の層はめっきされ、または、絶縁体ウェハはDRIEの前にシリコンウェハの背面に接合される。DRIEは、シリコンウェハをエッチングするのに使用される。その後、金属または絶縁体の層は、ウェハの中にスキャナを保持してもよい。

50

金属は、スキヤナを除去するために裂かれてもよい。あるいは、金属または絶縁体は、部品を解放するためにエッチングで除去されてもよい。一実施形態では、アルミニウムが金属安定化層に使用される。一実施形態では、PYREX（登録商標）ガラスが絶縁体安定化層に使用される。そのような安定化層が使用される場合、成形品を適所に保持するために、シリコンブリッジが併用されてもよい。あるいは、シリコンブリッジは除外されてもよい。

【0050】

図5Aは、「T」字形の端部がミラーの方にずれた、代替のてこ部材212の設計を示す。

【0051】

いくつかの実施形態によるMEMSスキヤナ202の作製は、上述したようなドーブチャネルまたは電荷キャリア層の形成を含んでいてもよい。1~10Ωcmのバルク抵抗率を有するリン添加シリコンウェハが使用される。リン添加シリコンウェハは、4mAの最大電流で30KeVで加速された、 5×10^{15} リン31原子/cm²のドーズ量で注入される。リンのドーズ量は、1000℃で45分間駆動される。結果として得られるドーブチャネルは、約0.5μmの深さまで深くドーブされて、ドーピング濃度およびそれに伴う抵抗率が深さに応じて変わる、段階的なチャネルを形成する。これらの条件では、ウェハ表面は、約 1×10^{20} リン31原子/cm³のドーピング濃度を有し、約0.001Ωcmの抵抗率をもたらし、それにより、0.5μmの深さで約 1×10^{15} 原子/cm³（または1~10Ωcm）のウェハのバックグラウンドが得られる。

【0052】

ドーブチャネルは、電荷キャリアが金属層からシリコン内に移動するための導管を作る。後述するように、ジュール加熱を作るために、MEMSスキヤナ202に電流が印加されてもよい。図2Aのスキヤナの例示的な実施形態では、例えば、取付パッド214a、214bは、ヒーターアンプによって正電圧に駆動されてもよい。ヒーターのリード線は、取付アセンブリおよび／または取付パッド自体上の金属化層に結合されてもよい。例示的な一実施形態によれば、電流は、取付パッド214a、214bを被覆する金属層に沿って流れ、金属の下に形成されたドーブチャネルを介してシリコン内に移動する。電流は次に、てこ部材212aおよびねじりアーム206aを介してシリコン内を流れ、それにより、主にねじりアーム206aの中で局所的な加熱を形成する。（電流フローはてこ部材212aの両方のアームに沿って分割されるので、てこ部材内のジュール加熱は低減される。）ねじりアーム206aがドーブチャネル220aにぶつかるところで、電流は、シリコンから流れ、ドーブチャネル220aに重なって形成された金属層内に上向きに入る。電流は、中央サスペンションコネクタ218aを横切り、走査プレート204上に形成されたミラーの金属を横切り、中央サスペンションコネクタ218bを横切って流れるので、それらの構造内のジュール加熱が回避される。金属層がドーブチャネル220bと重なり合うところで、電流は、金属から流れ、シリコン内に下向きに入る。電流は、ねじりアーム206bおよびてこ部材212bを通して流れ、やはりジュール加熱を（主にねじりアーム内で）生じさせる。電流は次に、取付パッド214c、214d上に形成されたドーブチャネルを通して流れ、金属層に上向きに入り、そこで、地面近くで保持されたヒーターのリード線の第2の組によって電流が収集される。当該技術分野では知られているように、図示された方向のホール移動あるいは反対方向の電子移動は、そのような電流フローを形成してもよい。

【0053】

場合によっては、図2A、2B、3、5A、および5Bで例証されるスキヤナ設計の有利な態様は、作製の際に最小限の数のプロセス工程が用いられてもよいようなものである。範囲の厚さを低減する、または隆起したリブを生成するために、スキヤナは、部分エッチングがなされていない完全な厚さのシリコンウェハから完全に形成されてもよい。ミラーに対応する金属被覆のパターンは、ウェハ502の前面に形成される。一実施形態によれば、金の金属被覆がミラーに使用される。背面金属被覆はウェハ502の背面上に形成

10

20

30

40

50

される。一実施形態によれば、アルミニウムが背面金属被覆層に使用される。次に、半導体デバイスおよびその間のエッチングされていない範囲に対応するフォトリソパターンが、ウェハの前面に形成され、露出範囲が深くエッチングされる。一実施形態では、DRIEが、ウェハを介して垂直壁をエッチングするのに使用される。ウェハの背面は、エッチングの間極低温に冷却され、また、アルミニウムの背面金属被覆の高い熱伝導率によって、DRIEエッチングは、シリコンウェハの背面表面に達すると停止される。いくつかの実施形態では、スキナ形状は、エッチングされた輪郭の後部を架橋する薄いアルミニウム層によってウェハ内に保持される。他の実施形態では、シリコンの薄いブリッジが、部品を適所に保持する助けとなる。アルミニウムの背面金属被覆がエッチングで除去され、フォトリソが除去される。スキナはそれによって自由になり、あるいは、シリコンブリッジが使用されている場合、ウェハから取り除かれ、深くエッチングされた範囲全体にわたってブリッジを壊すことによって単独にされてもよい。ディープエッチングを用いて部品を解放することにより、ダイシングが回避されてもよい。

10

【0054】

図6は、MEMSスキナのためのアクチュエータ構成を示す。共通の取付基部604上に設置された一对の市販の圧電スタック602aおよび602bは、第1の絶縁体606a、606bそれぞれを介して、MEMSスキナ202の取付パッド214a、214bを支持する。それぞれの位置から、圧電スタック602a、602bは、交互に電氣的に圧縮および拡張されて、ねじりアーム206a、206bによって画定される回転軸210の周りでの、取付パッド214a、214bの周期的な回転を生成してもよい。同様に、走査プレート204の横方向軸に実質的に平行な横方向軸の周りでMEMSスキナ202を回転させるために、圧電スタック602a、602bの共通モード活性化が用いられてもよい。

20

【0055】

MEMSスキナ202と圧電アクチュエータスタック602a、602bとの間の接触を維持するために、各クランプまたは加圧アセンブリ608aおよび608b（608bは図示なし）が、取付パッド214a、214bを、アクチュエータスタックに対して下向きに押し付ける。クランプ608bは、明瞭にするため図6から省略される。図示されるように、クランプ608は、（アセンブリの底部から始まり、また取り付けパッド214と接触して）第1の圧力板610、任意直列円板ばね612、第2の圧力板614、第2の絶縁体616、および第3の圧力板618を含む。一実施形態では、第1の圧力板601の縁部は、図示されるように加圧アセンブリから外に延びる。後述するように、これによって、ヒーターワイヤーまたはリード線のための任意の結合位置が提供される。直列円板ばね612は、SPRINGMASTERS #D63203などの市販のタイプのものであり、剛性は比較的低いが高い（ $>5\text{ kHz}$ ）の固有共振周波数を有するように選択される。用途の要件によって、一連の2つのばね、または異なる数のばねが使用されても、あるいはばねが全くなってもよい。第1および第2の圧力板610および614は、直列円板ばね612を押し付けるための堅牢な表面を提供する。第2の絶縁体616は、MEMSスキナ202の電氣的絶縁を提供する。第1および第2絶縁体606、616は、PYREX（登録商標）ガラスなどの、適切な密度、電氣的絶縁能力、および圧縮強度を備えた材料から形成される。第1および第2の圧力板610、614は、鋼などの、好適な導電性と、圧縮強度、じん性、および密度などの物理的性質とを有する材料から形成される。第3の圧力板618は、第2の絶縁体616に取付表面を提供し、アセンブリをハウジング（図示なし）に接続する。好ましくは鋼から形成された3番目の圧力板618は、取付および調整ねじ（図示なし）を受け入れるためのボア620を含む。当業者であれば理解できるように、代替のまたは修正されたクランプが使用されてもよい。

30

40

【0056】

代替実施形態では、直列円板ばね612が加圧アセンブリ608から省略されてもよいことが分かっている。そのような修正には、組立ての容易さおよびコストに関して利点がある場合もあるが、駆動効率をある程度損なうことがある。

50

【0057】

加圧アセンブリ608の1以上の構成要素は、ハウジングに任意に合わせられるか、そうでなければ、実質的に固定の回転関係で保持されてもよい。これにより、取付および調整ねじの調節中にアセンブリを介して伝達されるトルク負荷が低減または排除される。加圧アセンブリ608を介して大幅にトルク負荷を低減または排除することによって、組立て中にMEMSスキャナの取付パッド214に実質的にゼロのトルク負荷が印加され、それにより、取付パッド214のわずかな回転から生じる、共振周波数および／または走査角度範囲の偶発的な変化から、MEMSスキャナ202が保護される。

【0058】

図7はピエゾスタックアクチュエータ602の図である。そのようなアクチュエータは、<http://www.physikinstrumente.de>のモデルPICMA 885.10などの、複数の供給源から入手可能である。 10

【0059】

図8および9は、LBP、バーコードスキャナ、LIDAR、走査レーザーレベルなどで使用される、MEMSスキャナハウジング802の図である。2つの前板804a、804bは、取付ねじ808a、808b、808c、808dで後部ハウジング806に固定される。MEMSスキャナ202は、適切な量の回転を可能にするその中の空洞内に保持される。ねじ切りされた調整ねじ穴810a、810b、810c、および810dは、対応する調整ねじ受け入れボア620（図6に示される）内に突出する調整ねじ（図示なし）を受け入れる。組立て中に、調整ねじは回転されて、直列円板ばね612（図示なし）上に適切な量の予荷重を提供する。動作中のMEMSスキャナの挙動は、後部ハウジング806の頂部に形成されたMEMS観察ポート812を介して観察することができる。MEMSスキャナアセンブリ802は、ハウジング806内に形成された取付タブ814a、814bを介して、LBPの露光ユニットに固定される。 20

【0060】

クランプ608を使用してハウジング802内でMEMSスキャナ202を固定することによって、「浮遊」するマウントが得られ、取付パッド214が互いに対して少し移動することが可能になる。いくつかの実施形態では、組立て中のクランプ608のわずかな捻回により、取付パッド214のわずかな面内捻回を得ることができる。これにより、MEMSスキャナのでこ部材および／またはねじりアームにおける望ましくない残留応力が生じる場合がある。そのような捻回は、取り付けられたスキャナを、低減された走査角で数時間作動または「通電」することによって、低減または排除される場合がある。例示的な一実施形態では、スキャナは、半分の振幅で約4時間作動される。通電プロセスは、てこ部材および／またはねじりアームの機械的欠陥に関連した「初期」欠陥の発生を低減することができる。あるいは、スキャナアセンブリを通電する必要性を低減または排除するために、ねじれが低減されたクランプアセンブリ設計に置き換えられてもよい。 30

【0061】

MEMSスキャナ202は、1つ1つが各取付パッド214a、214b、214c、および214dの下にある、4つの圧電スタック602によって駆動されてもよい。あるいは、MEMSスキャナの一端は固定位置で保持され、つまり、取付パッド214cおよび214dが安定した取付ポイントに対して固定されてもよく、また、MEMSスキャナ他端は圧電アクチュエータで駆動され、つまり、取付パッド214aおよび214bがそれぞれ、図6に示されるように圧電スタックに対して固定されてもよい。第3の代替例では、取付パッドの3つが固定の安定した取付ポイントに固定され、1つの圧電アクチュエータが使用される。典型的には、その選択は、コスト対アクチュエータの電力要件に依存する。理解されるように、同様の考察は、図2Bまたは3に示されるようなMEMSスキャナ設計202に当てはまる。 40

【0062】

上述したように、MEMSスキャナは、所望の動作周波数の数ヘルツ以内の共振周波数を有するように調整される。図4の曲線402から理解されるように、共振周波数を少し 50

変化させることにより、（所与の周期的な動作電圧に対して）回転振幅の比較的大幅な変化を得ることができる。本発明者らは、MEMSデバイスの制御された加熱によって、MEMS スキャナが外側フレームを有さない例示的な実施形態であっても、共振周波数、したがって動作振幅がさらに調整されることを見出した。図6を再び参照すると、クランプ608b（図示なし）の対応する圧力板が行うように、クランプ608aの第1の圧力板610上の拡張タブは、ヒーター線を受入れる。同様に、取付パッド214cおよび214d（やはり図示なし）に隣接する対応する圧力板もまた、ヒーター線を受け入れる。ヒーター線は、第1の圧力板610の金めっきされた拡張タブにはんだ付けすることによって、例えば取付パッド214上に形成された金属化シリコン結合パッドにはんだ付けすることによって、あるいは当業者に明白であるような他の方法によって取り付けられてもよい。 10

【0063】

MEMS スキャナの一端にある取付パッドまたはクランプの両方に、ヒーターのリード線が取り付けられる場合、電流がその間を流れるのを回避するために、そのような隣接するリード線を同じ電位に保つことが好ましい。対照的に、MEMS スキャナ他端にあるヒーターのリード線（単数または複数）が異なる電圧まで駆動されて、ねじりアームに沿って、かつそれを介して電流フローを作成してもよい。

【0064】

使用中、走査振幅はセンサによって監視され、また、スキャナ202の2つの端部（取付パッド214aおよび214bがその一端を形成し、取付パッド214cおよび214dが他端を形成する）間の電位が調節される。シリコン材料自体および上述したドーピングチャネルの電流フローに対する抵抗、および特にねじりアーム206a、206bによって、加熱が引き起こされる。高温であるほど、ねじりアームの「軟化」およびそれに対応する共振周波数の低下が引き起こされる。したがって、共振周波数が周期的な駆動信号周波数よりも上の場合、加熱が増加されて、MEMS スキャナの温度が上昇し、それによって、駆動信号周波数と合致するように共振周波数が調整されてもよい。同様に、MEMS スキャナの共振周波数が駆動信号周波数よりも下になる場合、加熱が低減され、それによってデバイスが冷却され、駆動信号周波数と合致するようにその共振周波数が上昇されてもよい。代替実施形態では、熱の調整は、所与のシステム設計については、スキャナがその共振周波数で正確に動作されない場合でも、走査振幅を変更するために使用されてもよい。 20 30

【0065】

0～1.5Wのチューニング電力が約8Hzの共振周波数同調範囲を提供できることが、実験によって測定されている。この範囲は、恐らく動作中に冷却をもたらすスキャナ上の気流が原因で、より高い走査周波数では多少低く、より低い走査周波数では多少高い場合がある。

【0066】

次に図10を参照すると、MEMS スキャナを駆動する制御システム1002を示すブロック図が示される。多くの用途では、MEMS スキャナの走査の位相および振幅を正確に制御することは有利である。バーコードスキャナ、レーザーカメラ、走査ビームディスプレイ、電子写真式プリンタなどの走査ビームの用途は、MEMS スキャナの位相および/または振幅を正確に制御することで利益を得ることができる。 40

【0067】

同様に、スキャナ共振周波数を正確に制御することで、従来典型的な慣例であった多少ずれた共振ではなく、その共振周波数でスキャナを動作可能にすることによって、消費電力を最小限にし、恐らくは実現可能な特定の応用も行うことができる。

【0068】

図10の制御システム1002のブロック図は、MEMS スキャナを駆動し制御するための、それぞれ中程度の、短い、および長い破線で輪郭が描かれた、振幅制御サーボループ1004、位相制御サーボループ1006、および共振周波数制御サーボループ100 50

8という、3つの重なり合うサーボループを含む。

【0069】

最初に振幅制御ループ1004を参照すると、低電圧駆動信号1009は高圧増幅器1010によって増幅され、圧電ドライバスタック602の形態の1以上のアクチュエータを駆動する周期的な高電圧駆動信号1011を生成して、共振MEMS走査ミラー202の周期的な振動を引き起こす。理解されるように、圧電アクチュエータ602の代わりに、磁気タイプ、静電気タイプ、熱タイプ、および他のタイプのアクチュエータなどの、代替アクチュエータ技術を用いることができる。

【0070】

MEMS走査ミラー202の位相、振幅、位置、および／または速度を監視するために、様々な技術を使用することができる。例示的な実施形態では、ミラーによって偏向されたビームは約20%のオーバースキャンを含み、したがって画像化領域の縁部は80%の走査で終了する。一对の隣接するセンサ領域を含む光学検波器1012は、その中央点（センサ範囲間の領域の中心）を走査範囲の85%の位置に有して配置される。1つのセンサ領域からの出力は、コンバータ1014によって別のセンサ領域の出力から減算される。コンバータ1014は、走査振幅信号1016としてのビームがスキャン範囲の中央の85%を越える時間量に比例した陰電圧を出力する、差動およびパルス幅－電圧コンバータである。

【0071】

マイクロプロセッサ1018は、加算器1022中の走査振幅信号1016に加算される振幅設定値電圧信号1020を設定して、生の振幅誤差信号1024を生成する。したがって、走査振幅が所望よりも大きい場合、負の走査振幅信号1016の絶対量は設定値信号1020の絶対量よりも大きくなり、生の振幅誤差信号1024は負の数値になる。反対に、走査振幅が所望よりも小さい場合、負の走査振幅信号1016の絶対量は設定値信号1020の絶対量よりも小さくなり、生の振幅誤差信号1024は正の数値になる。

【0072】

生の振幅誤差信号1024は、比例積分コントローラ（PIC）1026に供給される。PIC1026は、条件付き振幅誤差信号1028を生成する。PIC1026は、走査振幅の変動に対するシステム応答を減衰するように作用する。これは、生の振幅誤差信号1024電圧におけるばらつきを平均化し、また、振幅誤差の変化がフィードバックされて高電圧駆動信号に影響する速度を制御するように作用し、それによって、振幅制御サーボループ1004の安定性および性能を改善する。

【0073】

生の駆動信号1030は、MEMSスキャナを駆動するための、名目上の位相が補正された信号である周期的な低電圧信号である。生のドライブ信号1030は、利得回路1032で受け取られ、乗算されて、低電圧駆動信号1009を生成する。したがって、測定されたMEMSスキャナ202の振幅が低すぎる場合、条件付き振幅誤差信号1028は比較的高い電圧であり、利得回路1032中で生の駆動信号1030で乗算されると比較的低い振幅の低電圧駆動信号1009を生成する。測定されたMEMSスキャナの振幅が高すぎる場合、条件付き振幅誤差信号1028は比較的低い電圧であり、利得回路1032中で生の駆動信号1030で乗算されると比較的低い振幅の低電圧駆動信号1009を生成する。いずれかの場合、それによって、走査振幅を設定値電圧信号1020としてマイクロプロセッサ1018によって所望の設定値に戻す役割を果たす。

【0074】

位相制御サーボループ1006は位相ロックループとして動作する。振幅制御サーボループ1004に関連して上述したコンバータ1014は、水平同期信号1035としてホストコントローラにも戻される位相マーク信号1034を生成する。位相マーク信号1034は、1つの縁部、すなわち1つの走査方向を用いて減算された検出器ペア信号から生成される。基準信号1036と位相マーク信号1034の同様の縁部は、第1の位相周波数検出器1038によって比較される。第1の位相周波数検出器1038は、生の位相誤

10

20

30

40

50

差信号 1040 上の周期的なスパイクを生成し、そのスパイクの幅は位相誤差に比例し、またそのスパイクの符号は、位相マーク信号 1034 が基準信号 1036 に対して早いか遅いかを示す。

【0075】

第 1 の低域フィルタ 1042 は、第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 として生の位相誤差信号 1040 上の周期的なスパイクを直流電圧に変換する。第 1 の低域フィルタ 1042 は、位相マーク 1034 が基準信号 1036 に対して早い場合、第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 を比較的低い値に設定する。反対に、位相マーク 1034 が基準信号 1036 に対して遅い場合、第 1 の低域フィルタ 1042 は第 1 の位相誤差信号 1044 を比較的高い値に設定する。

10

【0076】

第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 は、電圧制御駆動波形生成器 1046 に渡される。第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 の電圧により、電圧制御駆動波形生成器 1046 によって出力される生の駆動信号 1030 の周波数が決まる。

【0077】

したがって、位相マーク信号 1034 が基準信号 1036 に対して早い場合、第 1 の位相周波数検出器 1038 は生の位相誤差信号 1040 上に負のスパイクを出力し、そのスパイクの幅は、位相マーク信号 1034 と基準信号 1036 の間の誤差の大きさに比例する。生の位相誤差信号 1040 上の一連の負のスパイクは、第 1 の低域フィルタ 1042 を駆動して、第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 上に比較的低い電圧を出力し、その電圧は、生の位相誤差信号 1040 上のスパイク幅が狭い場合には適度に低く、スパイク幅が広い場合は電圧はさらに極端（低い）である。第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 上の低電圧により、電圧制御駆動波形生成器 1046 から、より低い周波数の生の駆動信号 1030 が出力され、位相の小さな偏差（第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 上の適度に低い電圧）は周波数の適度な減少を引き起こし、位相の比較的大きな偏差（第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 上の低電圧）は周波数のより大きな減少を引き起こす。より低い周波数は、MEMS ミラーの位相を遅らせて、位相マーク信号 1034 がいくらか後で出力されるようにし、それにより、位相マーク信号 1034 が基準信号 1036 と同調するように戻し、基準信号 1036 に位相ロックをもたらす役割を果たす。

20

【0078】

位相マーク信号 1034 が基準信号 1036 に対して遅い場合、第 1 の条件付き位相誤差信号 1044 の電圧が増加され、その結果生の駆動信号 1030 の駆動周波数が増加し、同様に位相マーク信号 1034 が基準信号 1036 と同調するように戻す。低域フィルタ 1042 の時定数は、位相サーボ制御システム 1006 に減衰をもたらす役割を果たす。

30

【0079】

次に共振周波数サーボ制御ループ 1008 を参照すると、駆動信号とスキャナ応答の相対的位相は、MEMS スキャナの共振周波数を調節するのに使用される。図 4 に関連して上述したように、MEMS スキャナの応答位相は、曲線 408 で示されるような周波数を備えた駆動位相によって変わる。スキャナ振幅応答特性曲線 402 における主要なスパイクでは、駆動信号とスキャナ応答の間の位相関係は、主要な共振ピークでの -90° を通過して、主要な共振ピークの下と同相 (0°) から主要な共振ピークの上の -180° 異相に急速に反転する。共振周波数サーボ制御ループ 1008 は、この位相応答の変化を利用して、MEMS スキャナの共振応答を駆動周波数と合致するように調整しておく。

40

【0080】

共振応答における主要なピークでは、駆動信号に対する MEMS デバイスの位相特性は、その共振ピークで -90° を通過して 0° から -180° に急速にシフトする。この反転は、図 4 では実質的に瞬間的なものとして示される（図の広い周波数範囲に起因する）が、実際には反転は数ヘルツにわたって起こる。したがって、MEMS スキャナがその共振ピークで動作していることを示す、 -90° での位相マーク信号 1034 と駆動信号 1

50

030の間の位相のずれを維持することが望ましい。

【0081】

例示的な一実施形態によれば、MEMSスキャナ共振周波数の温度依存性は利点をもたらすために使用される。位相マーク信号1034は、第2の低域フィルタ1050と協働して第2の条件付き位相誤差信号1052を生成する、第2の位相周波数検出器1048によって生じた駆動信号1030と比較される。第2の位相周波数検出器1048は、位相マーク信号1034と駆動信号1030の間の位相のずれが -90° の場合に、第2の条件付き位相誤差信号上に公称電圧を出力するように設定され、相対的位相が $-90^\circ \sim -180^\circ$ のときに電圧を上昇させ、相対的位相が $0^\circ \sim -90^\circ$ のときに電圧を減少させる。公称電圧は、MEMSスキャナ202を通る電流を設定して、共振周波数が駆動周波数と合致するようにするのに適切な電圧である。例示的な一実施形態によれば、かつ上述したように、MEMSスキャナは、室温で主要な共振ピークが名目上の動作周波数の数ヘルツ上になるように、製造中に調整される。その後、電流が共振周波数サーボ制御ループ1008によって供給されて、図示されるような駆動周波数1030と合致するように、MEMSスキャナ202の共振周波数が低減される。 10

【0082】

スイッチ1054は、システムが動作中（起動後）のときには通常閉じている。したがって、第2の条件付き位相誤差信号1052上の電圧はヒーターアンプ1056に渡される。位相マーク信号1034と駆動信号1030の間の相対的位相が $-90^\circ \sim -180^\circ$ の場合、第2の位相周波数検出器1048と第2の低域フィルタ1050が協働して、第2の条件付き位相誤差信号1052上の電圧を -90° からの偏差の程度に比例して上昇させる。次に、ミラー応答の位相が駆動位相よりも遅れている場合に、ヒーターアンプ1056が駆動されてMEMSミラー202の両端間の電圧を設定する。そのような条件は、駆動周波数よりも高いミラーの共振ピークに対応する。 20

【0083】

上述したように、半導体のMEMSスキャナ202の両端間の電位を増加させることにより、スキャナ内のジュール加熱が増加し、それによってその温度が上昇する。MEMSスキャナ202の温度が上昇することで、そのピーク共振周波数が低下する。したがって、MEMSスキャナ202のピーク共振周波数が駆動信号周波数よりも上の場合、その位相は、 90° よりもいくらか低い分だけ駆動信号の位相に遅れる傾向があり、共振周波数サーボ制御ループ1008は、スキャナ温度の上昇をもたらし、位相差を適切な関係にし、それにより、MEMSスキャナ202のピーク共振周波数は駆動信号周波数と合致するように低減される。反対に、MEMSスキャナ202がそのピーク共振周波数を駆動周波数よりも下に低下させるのに十分に加熱されると、その位相は 90° よりもいくらか多い分だけ駆動信号に遅れる傾向があり、制御ループはヒーターの電流フローを低減し、それにより、ピーク共振周波数が、駆動周波数と合致するように、位相関係が再び -90° になるまで少し上昇される。この制御ループにより、スキャナが実質的にそのピーク共振周波数で動作できるようになり、したがってアクチュエータの所要電力が最小限になる。 30

【0084】

再び図10を参照すると、マイクロプロセッサ1018は、通信手段1058を含み、また周囲温度センサ1060を含む。第2の条件付き位相誤差信号1052および位相マーク信号1034がマイクロプロセッサ1018に送られ、制御線1062および1064が、スイッチ1054およびヒーターアンプ1056にそれぞれ接続していることも分かる。これらの特徴の多くまたはすべてはシステムの起動中に使用される。 40

【0085】

図11は、図10で示されるシステム1002によって使用される起動方法を示すフローチャートである。プロセス1102に対応するアイドル状態中に電源が入れられると、位相制御ループ1006および共振周波数制御ループ1008は両方とも模擬フィードバックを使用して作動される。マイクロプロセッサ1018は、最初にライン1044上で電圧を設定し、それが電圧制御波形発生器1046に送られる。生の駆動信号ライン10 50

32は次に、第1の位相周波数検出器1038に模擬位相マーク信号1034を出力するコンバータ（図示なし）に対する入力として働く。第1の位相周波数検出器1038は次に、模擬位相マーク信号1034を基準信号1036と比較し、生の位相誤差信号1040を第1の低域フィルタ1042に出力し、それは次に、条件付き位相誤差信号1044上の電圧を設定する。したがって、位相サーボ制御ループ1006は、MEMSスキナの移動および検出とは無関係に作動し続ける。

【0086】

共振周波数サーボ制御ループ1008を作動させるために、マイクロプロセッサ1018は、周囲温度センサ1060から周囲温度を読み取る。温度センサ値は、共振周波数lookupアップテーブル（LUT）（図示なし）に対するインデックスの役割を果たすデジタル値に変換される。結果として得られる共振周波数のLUT値は、合成された共振周波数電圧信号1064を出力してヒーターアンプ1056を駆動する、D/A変換器（DAC）を駆動する。動作中のように、ヒーターアンプ1056は次にMEMSスキナ202の両端間の電圧を設定し、また、ジュール加熱によって、MEMSスキナの温度が共振周波数LUT値に対応する温度まで上昇される。いくつかの実施形態では、共振周波数LUTは、目標動作周波数、例えば5kHzにその共振周波数を調整するのに必要なスキナ温度を決定することにより、工場校正工程として、各MEMSスキナ202に対して導き出される。他の実施形態では、LUTは、MEMSスキナのバッチまたはすべてのMEMSスキナに対して設定することができる。したがって、プロセス1102に対応するアイドル状態中に、共振周波数サーボ制御ループ1008は、MEMSスキナ202を、その共振周波数が基準信号1036の周波数に合致するように設定された、名目上の動作温度で維持するように動作可能である。

【0087】

周囲温度を感知する代わりとして、温度センサ1060は、MEMSスキナ202に熱的に結合されて、その温度を測定してもよい。

【0088】

パワーオンアイドルプロセス1102にある間、マイクロプロセッサ1018は、条件付き工程1104で示されるように、始動信号がインターフェース1058を越えてホストコントローラから受け取られたかを判断するために確認する。「NO」の決定で示されるように、パワーオンアイドルプロセス1102は、始動信号がホストコントローラから受け取られるまで継続する。始動信号が受け取られると、埋込み型ソフトウェアは起動振幅制御プロセス1106に移る。起動振幅制御プロセス1106に入ると、マイクロプロセッサ1018は、低電圧駆動信号1009を設定して高圧増幅器1010を駆動し、最大振幅で高電圧駆動信号1011を生成し、それによって圧電スタックアクチュエータ602を過剰運転する。圧電スタックアクチュエータ602を過剰運転することで、走査振幅が非常に急速に上昇する。起動の一実施形態によれば、高電圧駆動信号1011は、0（ゼロ）～60ボルトの振幅を備えた5kHzの基準周波数で正弦波を含む。この実施形態では、MEMSスキナは、わずか20ミリ秒でその名目上の走査角の約90%に達するように駆動され、約0～20ボルトのより低い名目上の定常状態駆動電圧を印加することで得られるよりも高速のシステム起動が得られる。

【0089】

他の実施形態では、高電圧駆動信号は、アクチュエータ602の絶縁破壊電圧の近傍までの、さらに大きな振幅で設定されてもよい。それらは、アクチュエータの熱限界を越えるのには短すぎる比較的短い時間にのみ適用されるので、高い始動駆動電圧が可能である。

【0090】

起動振幅制御プロセス1106の間、決定プロセス1108によって示されるように、システムは安定した位相マーク信号1034を探す。安定した位相マーク信号は、いくつかの連続する位相マークを平均して、それらが振幅制御サーボループ1004の要件を満たすかを判断する回路（図示なし）を監視することによって決定される。安定した位相マ

10

20

30

40

50

ーク信号が存在すれば、MEMS スキャナ 202 が比較的一定の周波数および十分な振幅で動作し、走査ビームが光学振幅センサ 1012 と交差することを意味し、プロセスは、スキャナの振幅が振幅制御サーボループ 1004 によって制御される閉ループ振幅制御プロセス 1110 に移る。閉ループ振幅制御プロセス 1110 に入ると、上述したように、PIC 1026 は安定動作と合致する速度で駆動振幅に対する変更を導入する。

【0091】

閉ループ振幅制御プロセス 1110 が継続する一方、システムは待機して、「待機」プロセス 1112 で示されるようにシステムの安定化を確保する。一実施形態によれば、システムは、閉ループ位相制御プロセス 1114 に移る前に 100 ミリ秒待機し、その際、位相マーク信号 1034（コンバータ 1014 によって生成される）は第 1 の位相周波数検出器 1038 に結合され、生の駆動信号 1030 から生成された合成された位相マーク信号は脱結合される。プロセス 1114 は、MEMS スキャナ 202 の周波数を基準信号 1036 の周波数にロックし、それにより、上述したように位相制御サーボループ 1006 を位相ロックループとする。

【0092】

閉ループ位相制御プロセス 1114 が進んでいる間、システムはある時間、例えば、プロセス 1116 で示されるように 30 ミリ秒休止する。待機プロセス 1116 が完了すると、システムは、共振周波数サーボループ 1008 が係合される、閉ループ共振周波数制御プロセス 1118 に入る。共振周波数サーボループ 1008 は、スイッチ 1062 を閉じ、マイクロプロセッサ 1018 からの DAC 信号 1064 の出力を実質的に同時に止めることによって係合される。これにより、第 2 の条件付き位相誤差信号 1052 が、図 10 に関連して上述した方法に従ってヒーターアンプ 1056 を駆動する。

【0093】

例示的な一実施形態によれば、図 11 の起動プロセスによって、一般に、ホストコントローラから起動コマンドを受け取った後 2 秒未満以内に、走査システムの安定な動作が得られる。

【0094】

本発明の上述の発明の開示、図面の簡単な説明、および発明を実施するための最良の形態は、読者がより容易に理解できるような形で本発明による例示的な実施形態を説明する。他の構造、方法、および等価物が本発明の範囲に含まれ得る。そのため、本明細書に記載した本発明の範囲は請求項によってのみ制限されるものとする。

【図面の簡単な説明】

【0095】

【図 1】図 1 は、回転ポリゴンスキャナを備えたビーム走査システムを示す図である。

【図 2 A】図 2 A は、一実施形態によって作られた MEMS スキャナの平面図である。

【図 2 B】図 2 B は、別の実施形態によって作られた MEMS スキャナの平面図である。

【図 3】図 3 は、別の実施形態によって作られた MEMS スキャナの斜視図である。

【図 4】図 4 は、図 3 の MEMS スキャナの動的応答を示すグラフである。

【図 5 A】図 5 A は、製造中にシリコンウェハ上にどのようにそれらが配置されるかを示す多数の MEMS デバイスの図である。

【図 5 B】図 5 B は、ウェハ上の MEMS デバイスの代替レイアウトを示す。

【図 6】図 6 は、MEMS 取付けクランプの図である。

【図 7】図 7 は、図 6 のアクチュエータを形成するのに使用される圧電スタックの詳細図である。

【図 8】図 8 は、ビーム走査サブシステムで使用する MEMS スキャナパッケージの正面斜視図である。

【図 9】図 9 は、図 8 の MEMS スキャナパッケージの 2 つの追加の斜視図である。

【図 10】図 10 は、MEMS スキャナを駆動する制御システムのブロック図である。

【図 11】図 11 は、MEMS スキャナを駆動する起動方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

【 0 0 9 6 】

204 走査プレート

206 a、206 b ねじりアーム

208 a、208 b サスペンションビーム

2 1 0 回 転 軸

2 1 2 a、 2 1 2 b てこ部材

2 1 4 a、 2 1 4 b 取付パッド

216 a、216 b、216 c、216 d サスペンション外部コネクタ

218 a、218 b サスペンション中心コネクタ

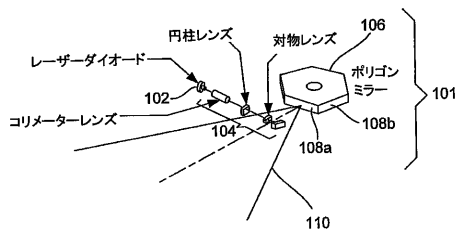
2 2 0 a、2 2 0 b ドープチャネル

5 0 2 ウェハ

608 クランプ^o

10

【図 1】



【図 2 A】

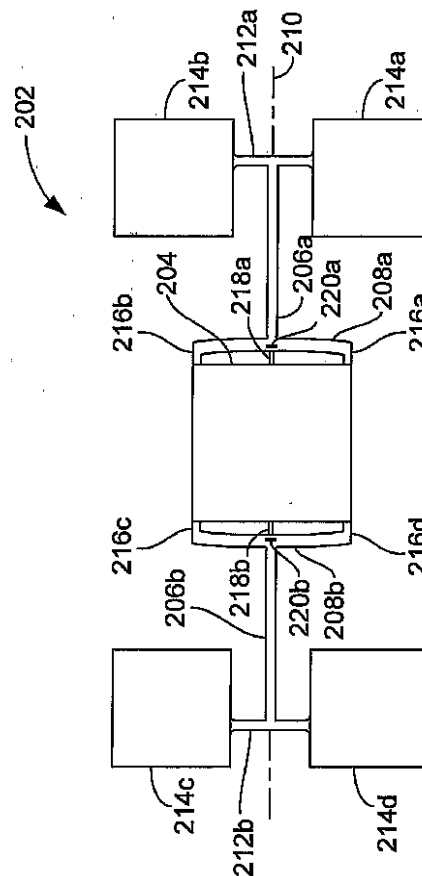


FIG. 2A

【図 2 B】

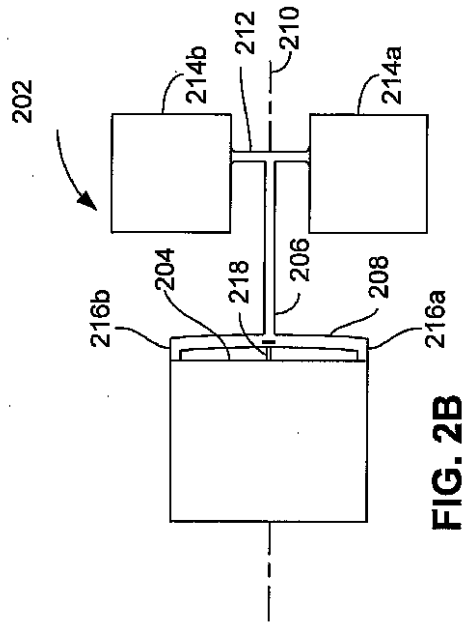


FIG. 2B

【図 3】

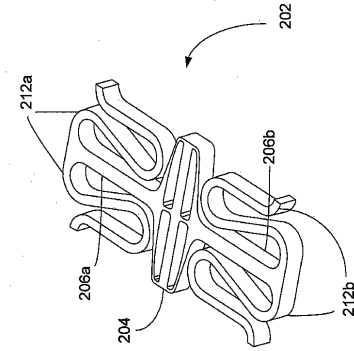
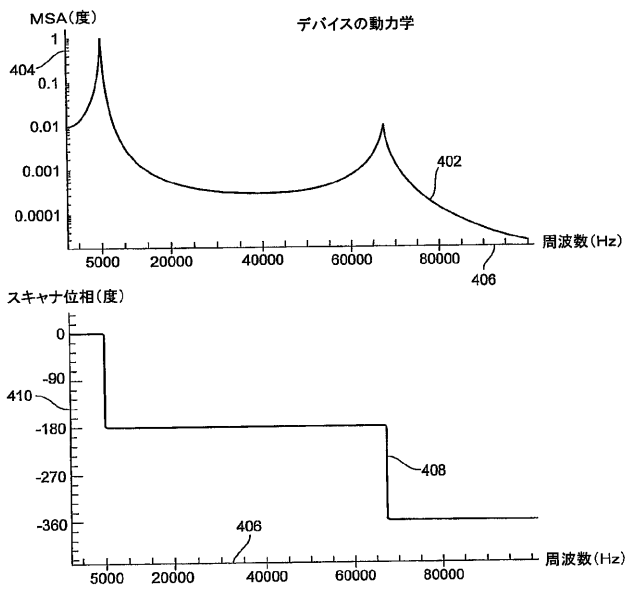


FIG. 3

【図 4】



【図 5 A】

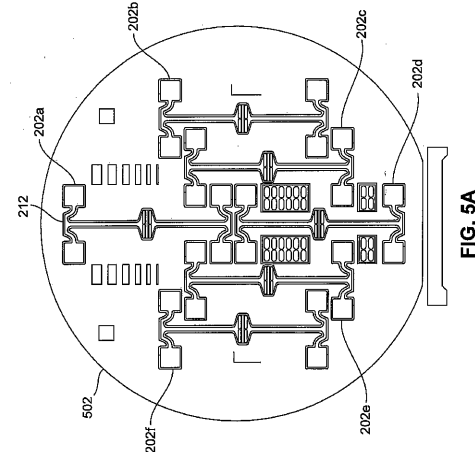
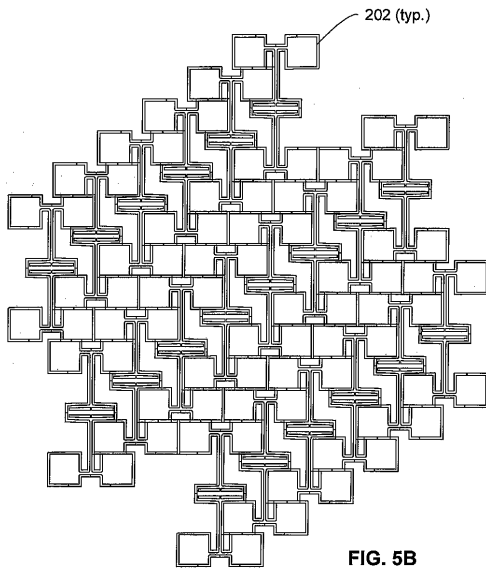
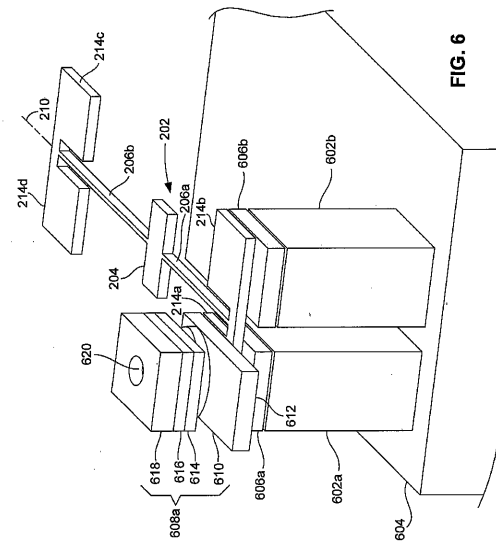


FIG. 5A

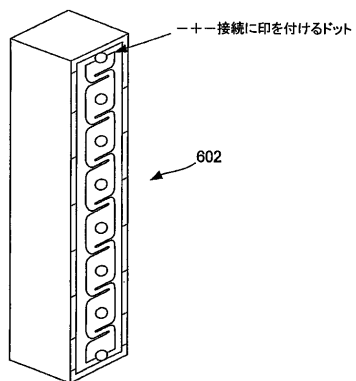
【図 5 B】



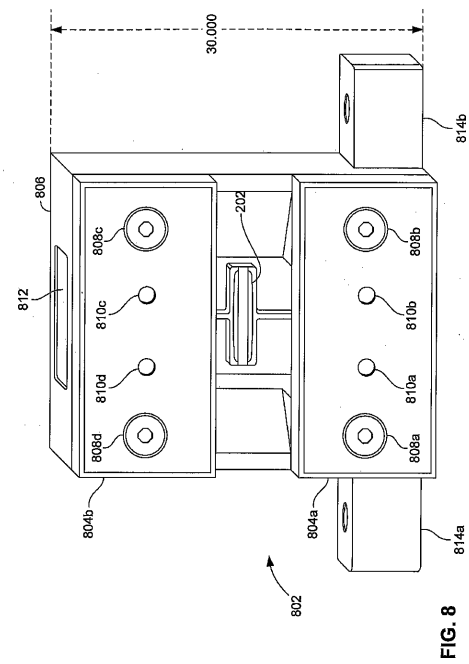
【図 6】



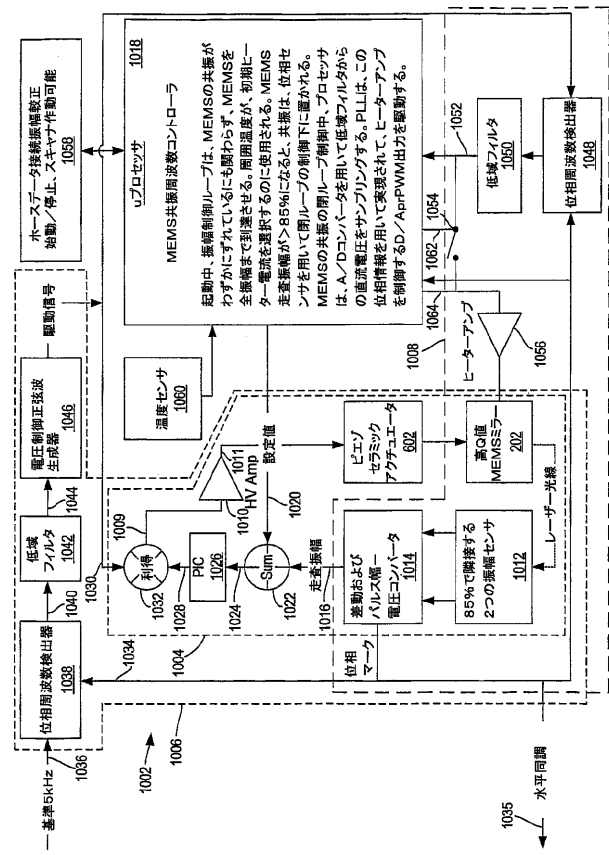
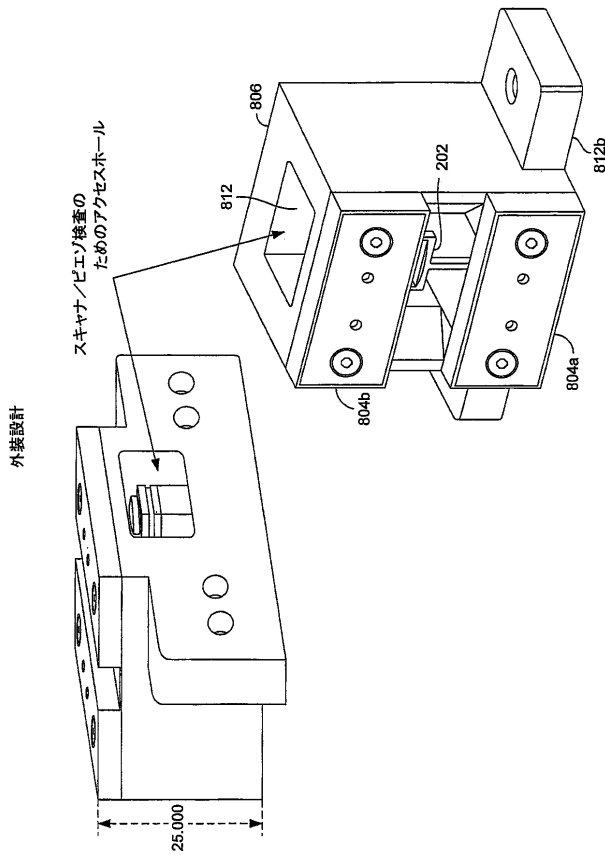
【図 7】



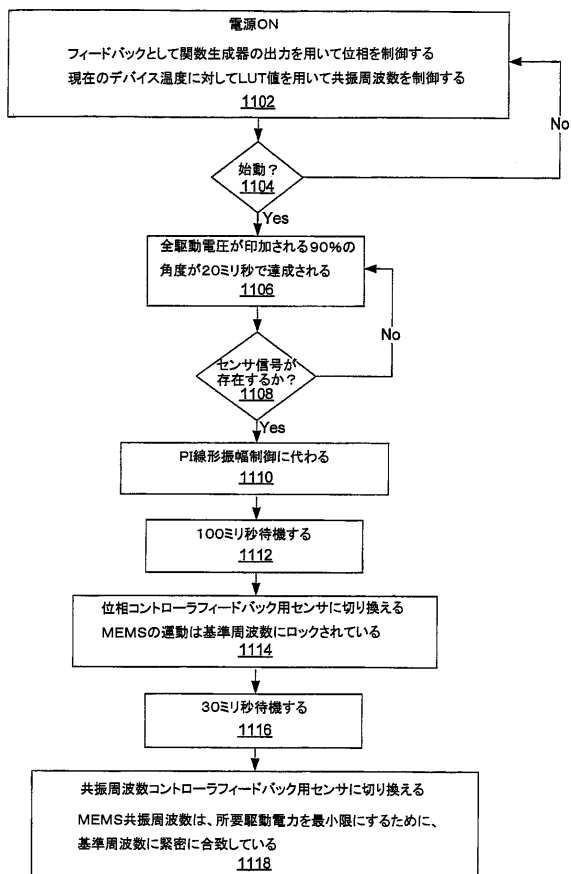
【図 8】



【 図 1 0 】



【 兪 1 1 】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US2005/004067
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER 602B26/08 B81B3/00		
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) G02B B81B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2003/169055 A1 (KLEMENT MARTIN CHRISTOPHER) 11 September 2003 (2003-09-11) paragraph '0016!	1,14
X	paragraphs '0020! - '0023!, '0027!, '0038!	22-24, 26, 27
X	US 2003/122066 A1 (DUNFIELD JOHN C) 3 July 2003 (2003-07-03) paragraphs '0103!, '0107!, '0116!, '0129!, '0134!, '0143!, '0154! - '0157! figures 13,28 -/-	1,2,13, 14,17, 19-21
☒ Further documents are listed in the continuation of box C. ☒ Patent family members are listed in 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 document 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 2 December 2005		Date of mailing of the international search report 14.12.2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-8016		Authorized officer Verdrager, V

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Inter-
 national Application No
 PCT/US2005/004067

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 243 186 B1 (MELVILLE CHARLES D) 5 June 2001 (2001-06-05) column 7, lines 20-61 -----	1,3,4,6, 7,13-15, 25,27, 28,42-44
X	US 5 969 465 A (NEUKERMANS ET AL) 19 October 1999 (1999-10-19) column 5, lines 22-60 column 7, line 53 - column 8, line 43 -----	1,9-12, 14,16
X	US 2002/122217 A1 (NAKAJIMA TOMOHIRO) 5 September 2002 (2002-09-05) -----	1,5,13, 14,17, 18,29, 35,37 3,7
A	paragraphs '0092!, '0095!, '0098!, '0113!, '0114! -----	
A	US 6 360 035 B1 (HURST, JR. JERRY E ET AL) 19 March 2002 (2002-03-19) figures 24,26 -----	1,8
A	US 6 392 220 B1 (SLATER TIMOTHY G ET AL) 21 May 2002 (2002-05-21) column 4, lines 15-21 -----	29
A	US 2003/223679 A1 (MALA MOHIUDDIN ET AL) 4 December 2003 (2003-12-04) paragraph '0036! figure 12 -----	29

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2005/004067**Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this International application, as follows:

see additional sheet

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-13,14-21

A method for driving a MEMS scanner comprising the transmission of a resonant frequency control signal.

2. claims: 22-28,42-44

A method for driving a MEMS scanner comprising outputting signals from servo loops.

3. claims: 29-41

A method for driving a MEMS scanner from the start up.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No
PCT/US2005/004067

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003169055 A1	11-09-2003	US 2004125198 A1	01-07-2004
US 2003122066 A1	03-07-2003	NONE	
US 6243186 B1	05-06-2001	NONE	
US 5969465 A	19-10-1999	NONE	
US 2002122217 A1	05-09-2002	NONE	
US 6360035 B1	19-03-2002	NONE	
US 6392220 B1	21-05-2002	NONE	
US 2003223679 A1	04-12-2003	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ギブソン, グレゴリー, ティー.

アメリカ合衆国 ワシントン州 98290-6039, スノーホーミシュ, 64番 ストリート
エヌイー 7907

(72)発明者 デイビス, ワИАット, オー.

アメリカ合衆国 ワシントン州 98021-3527, ボセル, 33番 アベニュー エヌイー
20821

(72)発明者 ブラウン, ディーン, アール.

アメリカ合衆国 ワシントン州 98037-4940, リンウッド, 11番 アベニュー ダブ
リュ 18529

(72)発明者 スピローグ, ランダル, ビー.

アメリカ合衆国 ワシントン州 98014-9715, カーネーション, 317番 アベニュー
エヌイー 11021

Fターム(参考) 2C362 AA03 BA04 CB72

2H041 AA12 AB14 AC08 AZ01 AZ06 AZ08

2H045 AB06 AB10 AB22 AB38 AB48 AB73 CB65 DA02

3C081 AA13 BA28 BA44 BA47 BA54 EA00 EA08

5C072 AA05 BA12 HA14 HB16 XA05