

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4484413号
(P4484413)

(45) 発行日 平成22年6月16日(2010.6.16)

(24) 登録日 平成22年4月2日(2010.4.2)

(51) Int.Cl.

F 1

B24B 41/047	(2006.01)	B 24 B 41/047
B24B 37/00	(2006.01)	B 24 B 37/00
B24B 49/10	(2006.01)	B 24 B 49/10

B

請求項の数 23 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2001-520259 (P2001-520259)
(86) (22) 出願日	平成12年8月11日 (2000.8.11)
(65) 公表番号	特表2003-508237 (P2003-508237A)
(43) 公表日	平成15年3月4日 (2003.3.4)
(86) 國際出願番号	PCT/US2000/021843
(87) 國際公開番号	W02001/015862
(87) 國際公開日	平成13年3月8日 (2001.3.8)
審査請求日	平成16年10月21日 (2004.10.21)
(31) 優先権主張番号	09/385,769
(32) 優先日	平成11年8月30日 (1999.8.30)
(33) 優先権主張国	米国 (US)

(73) 特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド A P P L I E D M A T E R I A L S, I N C O R P O R A T E D アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ バウアーズ ア ベニュー 3050
(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(74) 代理人	100094318 弁理士 山田 行一
(74) 代理人	100107456 弁理士 池田 成人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】力制御方式研磨のためのスピンドル組立体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工物の力制御方式加工のためのスピンドル組立体(10)であって、前記加工物を保持する保持装置(30)と、軸方向に可動のスピンドル(12)とを有し、前記保持装置(30)が前記軸方向に可動のスピンドル(12)の一方端に連結され、前記保持装置(30)に取り付けられたロードセル(24)を有し、該ロードセル(24)が、前記加工物に加えられる圧力を検出し、加えられた圧力を示す荷重検出信号を出力するように位置決めされ、

前記軸方向に可動のスピンドル(12)に作動的に結合された力発生装置(14)を有し、該力発生装置(14)が、前記スピンドル(12)の長手方向軸線に沿って力を加えるように構成され、

前記スピンドル(12)に作動的に連結された位置検出器(20)を有し、該位置検出器(20)が、前記スピンドル(12)の軸方向位置を検出し、前記スピンドル(12)の軸方向位置を示す位置信号を出力するように位置決めされ、

前記位置信号を受け取ることができるように第1のフィードバックループ(18)を介して前記位置検出器(20)と連通し、前記荷重検出信号を受け取ることができるように第2のフィードバックループ(22)を介して前記ロードセル(24)と連通し、前記力発生装置(14)と連通しているサーボコントローラ(16)を有し、該サーボコントローラ(16)は、前記位置信号及び前記荷重検出信号に基づいて力発生装置(14)を制御する、

10

20

スピンドル組立体。

【請求項 2】

前記軸方向に可動のスピンドル(12)は、前記長手方向軸線を中心に回転することができるよう構成されている、請求項1記載の装置。

【請求項 3】

前記加工物が半導体ウェーハである、請求項1記載の装置。

【請求項 4】

前記力発生装置(14)は電磁式力発生装置から成る、請求項1記載の装置。

【請求項 5】

前記電磁式力発生装置がリニアモータ(114)から成る、請求項4記載の装置。 10

【請求項 6】

前記電磁式力発生装置が音声コイルから成る、請求項4記載の装置。

【請求項 7】

前記電磁式力発生装置は、第1のリニアモータと、第2のリニアモータとを有し、第1のリニアモータ及び第2のリニアモータは、前記スピンドル(12)の半径方向に対向した両側に設けられ、前記スピンドル(12)を前記長手方向軸線に沿って移動させるように構成されている、請求項4記載の装置。

【請求項 8】

前記スピンドル(12)の周りに同軸に位置決めされた少なくとも1つの空気静力学的軸受を有し、該空気静力学的軸受が、前記スピンドル(12)の軸線方向移動、及び、前記スピンドル(12)の長手方向軸線に対する前記スピンドル(12)の回転を可能にする、請求項1記載の装置。 20

【請求項 9】

前記サーボコントローラ(16)が、記憶装置(17)と、出力増幅器(21)と、前記記憶装置(17)及び出力増幅器(21)に接続されたプロセッサ(19)とを有する、請求項1記載の装置。

【請求項 10】

前記記憶装置(17)は、前記第1のフィードバックループ(18)に関する第1の利得パラメータと、前記第2のフィードバックループ(22)に関する第2の利得パラメータとを記憶する、請求項9記載の装置。 30

【請求項 11】

前記第2のフィードバックループ(22)と、前記サーボコントローラ(16)とに連通しているプロセッサを有する、請求項1記載の装置。

【請求項 12】

力発生装置(14)に作動的に結合された軸方向に可動のスピンドル(12)の一方端に取り付けられた半導体ウェーハを、力を制御して加工する方法であって、前記力発生装置(14)が、第1のフィードバックループ(18)及び第2のフィードバックループ(22)によって制御され、

前記スピンドル(12)を長手方向軸線に沿って移動させ、

前記第1のフィードバックループ(18)を介して軸方向可動スピンドル(12)の位置をモニターし、 40

前記スピンドル(12)が第1位置に達したときに前記第1のフィードバックループ(18)を稼働解除し、

前記半導体ウェーハに加えられた圧力をモニターする第2のフィードバックループ(22)を稼働させ、

前記モニターした圧力に従って前記スピンドル(12)の位置を調節することによって前記スピンドル(12)の端の前記半導体ウェーハに加わる力を実質的に一定に維持することを含み、

前記スピンドル(12)の位置、及び、前記力発生装置(14)によって前記半導体ウェーハに加えられる圧力を、前記モニターした圧力及び前記モニターした位置によって、制御 50

する、

方法。

【請求項 1 3】

前記第1のフィードバックループ(18)を稼働解除する工程が、第1のフィードバックループ(18)に関する第1の利得パラメータを調節することを含む、請求項12記載の方法。

【請求項 1 4】

前記第2のフィードバックループ(22)を稼働させる工程が、前記第2のフィードバックループ(22)に関する第2の利得パラメータを調節することを含む、請求項13記載の方法。

10

【請求項 1 5】

前記第1のフィードバックループ(18)を稼働解除する工程及び前記第2のフィードバックループ(22)を稼働させる工程が、前記第1のフィードバックループ(18)に関する前記第1の利得パラメータを0に設定し、前記第2のフィードバックループ(22)に関する前記第2の利得パラメータを所定値に設定することを含み、前記第2のフィードバックループ(22)は、前記半導体ウェーハに加えられる力を制御する、請求項12記載の方法。

【請求項 1 6】

一定の圧力を加工物に加える力制御方式スピンドル組立体(10)であって、

回転自在で軸方向可動のスピンドル(12)と、

該回転自在で軸方向可動のスピンドル(12)の一方端に連結されたが保持装置(30)と、

20

前記スピンドル(12)に作動的に結合された電磁式力発生装置とを有し、該電磁式力発生装置が、前記スピンドル(12)の長手方向軸線に沿って力を加えるように構成され、

前記電磁式力発生装置と連通し、前記電磁式力発生装置に制御信号を出力するサーボコントローラ(16)と、

前記スピンドル(12)の位置を示す位置信号を位置検出器から前記サーボコントローラ(16)に伝送する第1のフィードバックループ(18)と、

前記スピンドル(12)によって前記加工物に加えられた圧力を示す荷重検出信号をロードセンサ(24)から前記サーボコントローラ(16)に伝送する第2のフィードバックループ(22)とを有し、前記ロードセンサ(24)が前記加工物に隣接して位置決めされ、

30

前記電磁式装置に提供された制御信号が、前記位置信号及び前記荷重検出信号に基づいて前記スピンドルの長手方向軸線に沿って力を制御するように作動する、

力制御方式スピンドル組立体。

【請求項 1 7】

前記電磁式力発生装置がリニアモータ(114)を有する、請求項16記載の装置。

【請求項 1 8】

前記電磁式力発生装置が音声コイルを有する、請求項16記載の装置。

【請求項 1 9】

前記電磁式力発生装置は、第1のリニアモータと、第2のリニアモータとを有し、これらの第1及び第2のリニアモータが、前記スピンドル(12)の半径方向に対向した両側に位置決めされ、前記スピンドル(12)を前記長手方向軸線に沿って移動させるように構成されている、請求項16記載の装置。

40

【請求項 2 0】

前記スピンドル(12)の周りに同軸に位置決めされた少なくとも1つの空気静力学的軸受(130、142)を有し、該空気静力学的軸受(130、142)が、前記スピンドル(12)の軸方向運動及びスピンドルの長手方向軸線に対するスピンドルの回転を可能にする、請求項16記載の装置。

【請求項 2 1】

前記スピンドル(12)と前記電磁式力発生装置との間に配置された第1の空気静力学的

50

軸受(130)と、前記電磁式力発生装置に隣接して配置された第2の空気静力学的軸受(142)とを有する、請求項16記載の装置。

【請求項22】

前記スピンドル(12)に作動的に結合されたモータを有し、該モータが、前記スピンドル(12)の前記長手方向軸線を中心に前記スピンドル(12)を回転させる回転力を加えるように構成された、請求項21記載の装置。

【請求項23】

加工物の力制御方式化学機械的平坦化加工のためのスピンドル組立体(10)であって、前記加工物を保持する保持装置(30)と、

軸方向に可動のスピンドル(12)とを有し、前記保持装置(30)が前記軸方向に可動のスピンドル(12)の一方端に連結され、10

前記保持装置(30)に取り付けられたロードセル(24)とを有し、該ロードセル(24)が、前記加工物に加えられる圧力を検出し、加えられた圧力を示す荷重検出信号を出力するように位置決めされ、

前記スピンドル(12)に作動的に連結された位置検出器(20)を有し、該位置検出器(20)が、前記スピンドル(12)の軸方向位置を検出し、前記スピンドル(12)の軸線方向位置を示す位置信号を発生させるよう位置決めされ、

前記軸方向可動スピンドル(12)に作動的に結合された力発生装置(14)を有し、該力発生装置(14)が、前記スピンドル(12)の長手方向軸線に沿って力を加えるように構成され、20

前記力発生装置(14)、前記ロードセル(24)及び前記位置検出器(20)と連通しているサーボコントローラ(16)を有し、該サーボコントローラ(16)は、前記サーボコントローラ(16)が前記位置信号に基づいて前記力発生装置(14)を用いて前記スピンドル(12)の位置を制御する第1の作動モードと、前記サーボコントローラ(16)が前記荷重検出信号及び前記位置信号に基づいて、前記力発生装置(14)によって前記加工物に加えられる力を制御する第2の作動モードとを有する、

スピンドル組立体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【背景】

本発明は、一定の力を加えることを必要とする金属、プラスチック類又は他の材料の力制御方式研磨(ポリシング)のための高性能スピンドル組立体に関する。本発明は特に、半導体ウェーハの力制御方式の研磨又は平坦化のためのスピンドル組立体に関する。30

【0002】

加工物、例えば半導体ウェーハに力を加えるためのシステムは、従来、スピンドルのところに加えられる圧力を測定し、あるいは、研磨面に対するスピンドルの位置のモニターに関心を寄せてきた。例えば、加工物の研磨に用いられるスピンドル組立体の一変形例としては、単動式ダイヤフラムシリンダを下向き力作用機構として利用する垂直方向に差し向けられたばね釣合せスピンドルが挙げられる。ダイヤフラムシリンダの力出力レベルを制御するため、空気圧比例調整器が、ダイヤフラムシリンダに連結された内蔵圧力変換器フィードバックループと共に用いられる。40

【0003】

作用を説明すると、このシステムは、スピンドルを、2つの互いに異なるシリンダ機構を用いて正確な研磨高さ位置まで下降させる。第1に、従来型ピストンシリンダは、スピンドルを機械的ハードストップまで下降させる。次に、ダイヤフラムシリンダを加圧することにより、加工物が研磨面に達するまでスピンドルを移動させる。この装置内に設けられている圧力変換器は、ダイヤフラムシリンダの性能をモニターし、その結果を空気圧比例調整器にフィードバックする。このシステム内の圧力変換器は、圧力をダイヤフラムシリンダに供給するE/P調整器の一体構成部品なので、空気圧比例調整器は、スピンドルによって加工物に加えられた実際の力を受け取るということはない。実際には、ダイヤフラ50

ムピストンによって加えられる圧力の或る特定の量は、スピンドル組立体のシリンダ、軸受及び種々の他の機械的構成部品中の摩擦損失により失われる。この摩擦は、空気圧比例調整器内では見受けられない。と言うのは、差圧変換器が、ダイヤフラムシリンダから情報を受け取るに過ぎないからである。

【0004】

連続した下向きの力を研磨中の加工物にもたらす別のシステムとしては、リンク装置によりスピンドルに作動的に連結された回転ダイヤフラムシリンダが挙げられる。スピンドルは、スピンドルにより長手方向及び回転運動を可能にするスプライン軸受によって案内される。ダイヤフラムシリンダは、比例増幅器ループの一部としてサーボバルブによって制御され、この比例増幅器ループは、加工物の位置及びこれに加えられた力をモニターするようサーボバルブとダイヤフラムシリンダとの間からフィードバックを受け取る。この場合も又、ダイヤフラムシリンダによる摩擦及びスピンドルを案内するスプライン軸受によって別途生じる追加の摩擦は、サーボバルブの制御ループ中に見受けられることはない。摩擦により、ヒステリシス効果が出力のところに生じる場合がある。このヒステリシス効果により、位置及び力の測定値の正確さが落ちる。したがって、下向きの力の正確さを向上させるスピンドル駆動組立体が必要である。

10

【0005】

〔発明の概要〕

研磨環境において、下向きの力を加工物にもたらす従来型システムの精度を向上させるため、以下に記載する好ましい実施形態は、スピンドル組立体の力に関する分解能を向上させ、スピンドル組立体中に機械的リンク装置によってもたらされる摩擦を減少させる。さらに、これら実施形態は、加工物から遠ざかって位置するスピンドル組立体上の一点のところで測定される位置又は圧力のフィードバックを用いないで、加工物に加わる力を測定し、サーボ制御ループを力のフィードバックについて閉じることにより、研磨の制度の向上に関する必要性に取り組む。

20

【0006】

一定の圧力を加工物に加える以下に説明するスピンドル組立体は、軸方向に動くことができるスピンドルを有し、このスピンドルの一端には保持装置が連結されている。ロードセルが保持装置に取り付けられ、このロードセルは、加工物に加わる圧力を検出して加えられた圧力を表す荷重検出信号を出力するよう位置決めされている。力を発生させる装置が、スピンドルに作動的に結合されていて、この力発生装置は、力をスピンドルの長手方向軸線に沿って加えるよう構成されている。位置検出器も又、スピンドルに作動的に連結されていて、この位置検出器は、スピンドルの軸方向位置を表す位置信号を出力するよう構成されている。サーボコントローラが、第1のフィードバックループを介して位置検出器と、第2のフィードバックループを介してロードセルと、さらに力発生装置とそれぞれ連絡状態にある。サーボコントローラは、制御信号を力発生装置に伝送する。

30

【0007】

加工物の力制御方式加工のための以下に説明する好ましい方法は、軸方向に可動のスピンドルを長手方向軸線に沿って移動させる工程及び第1のフィードバックループでスピンドルの位置をモニターする工程を有する。スピンドルが所定量、移動した後、この方法は、第1のフィードバックループを稼働解除し、第2のフィードバックループを介して加工物に加わる力をモニターし、加工物のところで測定された力に基づいてスピンドルの位置を連続的に調節することにより、一定の力をスピンドルの一端に取り付けられている加工物に加える工程を有する。同一の力発生装置を用いて第1の作動モードにおいてスピンドルの位置を制御すると共に第2の作動モードにおいて加工物に加えられる力を制御する。好ましい力発生装置は、空気静力学的軸受と協働して、研磨／研削作業中、システム内摩擦を減少させ、スピンドルに関する力の制御の分解能を向上させる電磁式力発生装置である。

40

【0008】

この発明の概要の項は、本明細書の導入部に過ぎず、特許請求の範囲に記載された本発明

50

の範囲を限定するものではない。

【0009】

[好ましい実施形態の詳細な説明]

図1は、本発明のスピンドル組立体10を示している。スピンドル組立体は好ましくは、回転自在で軸方向に動くことができるスピンドル12を有している。スピンドル12は、スピンドル12に作動的に連結された力発生装置14によって軸受組立体(図示せず)を介して軸方向に動くことができる。加工物を移動させると共にスピンドル12を介して加工物に加わる力を制御するため、スピンドル組立体10は好ましくは、力発生装置14の作動状態を調整するサーボコントローラ16と連絡状態にある2つのフィードバックループを有している。サーボコントローラは、記憶装置17、プロセッサ19及び比例増幅器21を有している。位置フィードバックループ18が、力発生装置14と連絡状態にある位置検出器20によってサーボコントローラ16に情報を提供する。1つの適当な位置検出器は、カリフォルニア州ランチヨー・コロラドに所在のR S F社から入手できるガラス目盛型リニアエンコーダである。
10

【0010】

位置フィードバックループは、スピンドル組立体が位置調節モードで動作する際に用いられてスピンドルの全体的な軸方向運動をモニターしてこれを制御する。例えば、スピンドル組立体10は好ましくは、加工物を待機位置から所望の加工表面に運ぶのに必要な軸方向スピンドル運動を制御する位置フィードバックループ18を用いる。位置検出器20は、力発生装置14の位置に対するスピンドル12の位置をモニターする。位置検出器20は、力発生装置14を介して測定されたスピンドル12の所与の位置に対応する位置信号をサーボコントローラ16に伝送する。
20

【0011】

加工物を、保持装置、例えば半導体ウェーハキャリヤ30(図2参照)に取り付け、スピンドル12に取り付けた状態でいったん加工面まで運ぶと、スピンドル組立体は、位置制御モードから力制御モードに切り替わる。力制御モードでは、サーボコントローラ16は、力制御フィードバックループ22に応動し、この力制御フィードバックループは、ロードセル24によって生じた荷重検出信号をサーボコントローラ16に伝送する。荷重検出信号は、ロードセルがスピンドル12の端部のところで検出した圧力に相当している。力制御フィードバックループ22は、スピンドルを介して力発生装置によって加工物に加えられた力の制御を可能にする。加工物のところの圧力は、加えられた力を加工物の面積で割った値に等しい。
30

【0012】

図2に示すように、ロードセル24は好ましくは、スピンドル12の端部に取り付けられたウェーハキャリヤ30内に位置決めされる。適当なウェーハキャリヤは、カリフォルニア州フレモント所在のラム・リサーチ・コーポレイション(Lam Research Corporation)から入手できるシングルポイントジンバル型ウェーハキャリヤである。多くの市販のロードセルのうちどれを用いてもよい。例えば8インチ径半導体ウェーハの化学機械的平坦化(CMP)や研磨のような用途では、レンジが0~500ポンドフィートのブッシュブル型ロードセルを用いると、1平方インチ当たり約0.10ポンドの感度を得ることができる。1つの適当なロードセルは、カリフォルニア州テメキューラ所在のトランスデューサ・テクニクス(Transducer Techniques)から入手できるLPU-500-LRC-Cである。他のレンジを持つ変換器も他のCMP又は研磨用途に使用可能である。
40

【0013】

スピンドル12の端部のところに加えられた力をサンプリングすることにより得られる利点は、力発生装置14内の摩擦による損失の理由の説明が得られということにある。また、多数のアクチュエータ又は機械的リンク装置が用いられる場合のあるスピンドル組立体の他の実施形態では、加工物に加わる力をサンプリングすることにより、これら構成部品によって生じる摩擦による潜在的な損失を考慮に入れることができる。

【0014】

再び図1を参照すると、力制御フィードバックループ22に沿ってロードセル24から伝送された荷重検出信号は、ロードセル増幅器26によって増幅され、適当なレベルの信号がサーボコントローラ16に与えられるようになる。サーボコントローラ16は、位置フィードバックループ18又は力検出フィードバックループ22のいずれかから受け取った信号に基づいて力を力発生装置14に送る。次に、サーボコントローラは、力制御フィードバックループに基づいてスピンドルの軸方向位置を調節する。一実施形態では、ミネソタ州チャンハッセン所在のアクロループ(Acroloop)社製のACR2000/PS/E4/D4/00/A8/0/0型動作コントローラをサーボコントローラとして用いるのがよい。

【0015】

プロセッサ28(これはパーソナルコンピュータであるのがよい)が、サーボコントローラを制御し、力検出フィードバックループ22に送られた荷重検出信号を連続的に追跡する。このプロセッサは又、所望の圧力設定値と共に開始及び係止コマンドをサーボコントローラ16に与える。サーボコントローラは好ましくは、スピンドルの粗動のための位置フィードバックループと、いったんある基準が満たされると加工物に加わる正確な圧力を維持する力フィードバックループとの間で自動的に切り替わるようプログラムされている。プロセッサ28は、サーボコントローラと連絡し又は情報のやりとりをしてフィードバックループに関する初期パラメータを設定し、スピンドル組立体10をモニターする。これらパラメータは、サーボコントローラ16のところに設けられた記憶装置17に記録されている。初期パラメータは、スピンドル駆動組立体に関する力及び位置ループ利得値を含む。力フィードバックループ利得値は、移動中の総質量及び力発生装置の既知の応答性に基づいて経験的に決定される積分、比例及び微分利得から求められる。例えば、力発生装置がリニアモータである場合、利得値は、利用される特定のリニアモータの製造業者によって提供される標準のリニアモータ自己同調ソフトウェアを用いて経験的に導き出される。

10

20

【0016】

力フィードバックループと位置フィードバックとの間でどちらに切り替わるかのサーボコントローラの決定は、多くの判断基準のうちの任意の1つに基づく場合がある。一実施形態では、サーボコントローラは、加工物が加工面に接触し、ロードセルが加工物に加わる圧力を表す信号を出力すると、位置フィードバックから力フィードバックに切り替わるようプログラムされている。この実施形態では、サーボコントローラは又、加工物が加工面から引き戻されてロードセルが圧力を検出しなくなると、自動的に力フィードバックループから位置フィードバックループに切り替わるようプログラムされている。別の実施形態では、サーボコントローラは、スピンドルが加工面に向かって動き、所望数から成る工程の終わりで位置フィードバックループ制御から力フィードバック制御に切り替わるだけの工程数を計数する位置モードでプログラムされたものであってもよい。さらに別の実施形態では、力発生装置がスピンドルを所望の速度で移動させ、外部装置、例えばエレクトリックアイをトリガしたときに位置フィードバックから力フィードバックに切り替わるようにサーボコントローラをプログラムしてもよい。

30

【0017】

好ましい一実施形態によれば、力発生装置14は、極めて僅かな力の増分を分析し、高いシステム周波数レスポンスをもたらしながら一定の力出力を生じさせるよう設計された電磁式力発生装置である。適当な電磁式力発生装置は、リニアモータ及び音声コイルである。スピンドル組立体10は、サーボ制御の電磁式力発生装置14を従来手法ではない手法で用いる。従来型リニアモータ及び他のサーボモータ機構の場合、動作コントローラを介して位置フィードバックを分析するには代表的には線形変換器が用いられる。コントローラは次に、増幅器に正確な情報を提供して所望の位置を達成するためにサーボモータ中の電磁界を変化させる。システムが所望の位置に達すると、力の変化がサーボモータによって相殺されて一定の位置が維持される。

40

【0018】

図1に示すように、好ましいスピンドル組立体10は、位置フィードバックループ18に

50

よって制御されるスピンドルの粗動と力検出フィードバックループ 22 によって制御される力制御装置としての機能のための力発生装置 14 を用いる。位置ではなくて、力に関してループを閉じることにより、システムが一定の力出力を維持しながら位置を変化させることができる。上述したように、加工物が加工面に接触しているかどうかを表すロードセルからの信号に基づいて力フィードバックループと位置フィードバックループとの間で自動的に切り替わるようにサーボコントローラをプログラムするのがよい。この手法を用いると、例えば、レンズ／ミラー又はコンピュータハードドライブ基板用研磨のような用途で用いられる一定トルク装置を構成することもできる。

【0019】

図3～図5は、リニアベルトポリッシャ 107 の上方に位置決めされた1つの好ましいスピンドル組立体 110 を示しており、この場合、電磁式力発生装置は、スピンドル 112 の両側に位置決めされた1対のリニアモータ 114 を含む。リニアモータ 114 は、第1の空気静力学的軸受 130 によりスピンドル 112 に結合されている。空気静力学的軸受 130 は、スピンドル組立体 110 に提供される強制空気供給源 132 を用いてスピンドル 112 の周りにエアクッションを生じさせる。空気静力学的軸受 130 は、スピンドル 112 から半径方向に延びるフランジ 138, 140 と協働して、エアクッションを用いてスピンドルの長手方向軸線に沿うスピンドルの望ましくない軸方向運動を防止するための空気静力学的スラスト軸受 134, 136 を更に有している。第1の空気静力学的軸受 130 は好ましくは、スピンドル 112 の所定の長さにわたってスピンドルの周囲を完全に包囲している。第1の空気静力学的軸受は、スピンドル 112 をスピンドルの長手方向軸線の回りに実質的に摩擦の無い状態で回転させることができる。適当な空気静力学的軸受は、カリフォルニア州レッドウッド・シティ所在のシックス・デグリーズ・コンサルタント (Six Degrees Consultants) から入手できる。別の実施形態では、実質的に摩擦の無い状態の適当な回転レベルを達成するためには1つのスラスト軸受及び1つのフランジが必要であるに過ぎない。

【0020】

リニアモータ 114 は、スピンドル 112 の長手方向軸線に沿う位置及び力の制御を可能にする。各リニアモータは、電圧源 148 から電力を受け取る多数の巻線 146 を備えたステータ 144 を有している。各リニアモータ 114 は、スピンドル 112 の周りに同軸状に配置されたリニアガイド組立体 151 に取り付けられたロータ 150 を更に有している。各ロータ 150 に設けられたロータ磁石 152 は、固定フレーム（図示せず）に取り付けられた対応関係をなすステータ 144 のコイル 146 と協働するように設計されている。動作原理を説明すると、熱がリニアモータ 114 により生じる。水供給源 166 を用いて、水をコイル 146 に隣接した各ステータ 144 内の冷却チャネル中に圧送して過剰の熱を除くのがよい。

【0021】

第2の空気静力学的軸受 142 が、ロータ 144 とステータ 150 との間の空隙を維持し、リニアモータ内の摩擦を実質的に無くす。第2の空気静力学的軸受 142 は、第2の強制空気供給源 156 から加圧空気の流れを受け入れる。第2の空気静力学的軸受は、スピンドル組立体 112 中の摩擦及びこれに伴う摩擦ヒステリシス効果を減少させる。従来型リニアレール軸受を用いてもよいが、空気静力学的軸受を用いることが好ましい。と言うのは、これらは、リニアモータのロータとステータとの間に生じる大きな吸引力を取り扱うのに好適だからである。代表的なリニアレール軸受は、リニアモータで可能な力出力分解能を越える摩擦ヒステリシスを生じさせる。空気静力学的軸受で達成できる低摩擦結果に加え、空気静力学的軸受 142 を用いると、リニア軸受と比較して、スピンドル 112 の半径方向心振れ特性が向上する。

【0022】

一実施形態では、リニアモータ 114 は、所望範囲の圧力を加工物のところに生じさせることができる任意市販のリニアモータである。例えば、分解能が約 2 ミクロン、直線的力発生能力が 1350 ポンドフィートのリニアモータ、例えば、カリフォルニア州ラグナ・

10

20

30

40

50

ヒルズ所在のコールモーゲン (Kollmorgen) カンパニイから入手できる部品番号 IC33-200 A2-640-640-AC-HDIC-100-P1-TRを用いることができる。空気供給源は、所望の空気圧を維持することができる多くの市販の空気ポンプのうち任意のものであってよい。空気静力学的軸受の各々によって生じる空隙は好ましくは、少なくとも 0.001 インチ (0.0254 mm) である。水供給源は、リニアモータの動作温度を所望の範囲内に維持することができる任意の標準型水循環系統であるのがよい。

【 0 0 2 3 】

スピンドル組立体 110 を、スピンドルの一方の側に取り付けられた単一のリニアモータと共に用いるのがよい。スピンドル 112 の両側に取り付けられる 1 対のリニアモータ 114 (図 3 及び図 4) が好ましい。と言うのは、互いに反対側に位置したリニアモータば 10 、第 2 の空気静力学的軸受 142 に関する種々の要件を最小限に抑えるからである。スピンドルの周囲にぐるりとバランスを取った状態で設けられた他のリニアモータ類も又使用できる。好ましくは、多くのリニアモータの使用では、各リニアモータについて別個のサーボコントローラ (各サーボコントローラはそれ自体の位置を維持する) 及び各リニアモータについて必要な位置フィードバック及び力制御フィードバックを計算に入れるためのカフィードバックループが挙げられる。

【 0 0 2 4 】

図 3 ~ 図 5 に示すスピンドル組立 110 の利点は、サーボ制御の電磁式力発生装置、この例では、1 対のリニアモータ 114 が、空気静力学的軸受と協働して本質的に摩擦が無く制御性の高い力 / 位置システムをもたらすことがある。リニアモータは 2 つの機能を発揮する。これらリニアモータは、一定の電磁力を直接スピンドルに加え、また、スピンドルを加工物の研磨 / バフ磨きのためのプログラム可能な高さ位置まで下降させる。これらリニアモータはまた、少なくとも $P / 2n$ の力出力分解能に対応し、ここで、P は、電磁式力発生装置によって生じる最大力であり、n は、力発生装置を制御するために用いられるサーボコントローラ 16 (図 1) の出力分解能である。力制御フィードバックループの精度を最大にするため、ウェーハキャリヤ 30 内に設けられたロードセルを、ロードセルの現寸にわたってマルチポイント校正法を用いて校正するのがよい。さらに、サーボコントローラを、直線補間法、曲線補間法、又は任意所望の順序の非線形 (一次) 関数を用いてロードセルから受け取った信号を変換し、非線形応答性を補償するようプログラムするのがよい。

【 0 0 2 5 】

別の好ましい実施形態では、単一の円筒形音声コイル又は円筒形リニアモータを用いて半径方向の力のバランスを附加的にもたらし、取付け上の問題を単純化するのがよい。円筒形音声コイル又は円筒形リニアモータにおいても、ただ 1 対のフィードバックループが必要なだけである。

【 0 0 2 6 】

再び図 3 を参照すると、DC サーボモータ 158 を用いてスピンドル 112 を回転させることができる。DC サーボモータ 158 は、スピンドルそれ自体に取り付けられた永久磁石 160 及びリニアモータのロータ 150 に取り付けられたコイル 162 を有している。電源 164 が、DC サーボモータ 158 のコイル 162 への給電を行う。DC サーボモータ 158 は、第 1 の空気静力学的軸受 132 を利用して実質的に摩擦の無い回転エネルギーをスピンドルに与える。

【 0 0 2 7 】

図 1 のスピンドル組立体を利用するスピンドル組立体 10 の動作原理が、図 6 に示されている。加工物、例えば半導体ウェーハを、スピンドルに着脱自在に取り付けられたウェーハホルダに取り付ける (符号 200)。スピンドル組立体 10 のプロセッサが、動作パラメータをサーボコントローラに伝送する (符号 202)。パラメータとしては、1 組の位置ループ利得パラメータ及び 1 組の力制御利得パラメータが挙げられる。半導体ウェーハを加工面まで運ぶのに必要な初期粗動増分に関し、プロセッサは、力制御利得パラメータを 0 に設定し、0 ではない位置ループ利得パラメータをサーボコントローラに与える。サ 50

一ボコントローラは次に、スピンドルをスピンドルの長手方向軸線に沿って直線状に移動させて（符号204）、ついには、半導体ウェーハが加工面に接触するのに相当する所定の距離、スピンドルが移動するようにする（符号206）。

【0028】

この時点において、プロセッサは、位置フィードバックループ及び力制御フィードバックループに関して利得パラメータをリセットしてサーボコントローラがロードセルによって生じた荷重検出信号に応動するようにする（符号208）。プロセッサは、位置フィードバックループ利得を0に設定し、力制御フィードバック利得を0ではない値に設定することによってこれを達成する。力制御フィードバックループを利用して、今やスピンドルの位置をロードセルのところで測定された力に基づいて調節し、所望の圧力が検出されていないときにスピンドルが補償のために動くようにする（符号210，212）。平坦化、研磨又は他の加工をいったん完了すると、スピンドル組立体は、加えられた力のモニターを終了し、スピンドルを加工面から遠ざけて戻す（符号214）。さらに、DCサーボモータをスピンドルの端部に係合させてスピンドルをスピンドルの長手方向軸線回りに回転させることにより、半導体ウェーハ又は他の加工物を加工面に当接保持した状態で回転させることができる。10

【0029】

スピンドル組立体10，110を用いることができる一つの好ましい環境は、半導体ウェーハを平坦化し又は研磨する化学機械的平坦化（CMP）システムである。ウェーハポリッシャと通称されている利用可能なCMPシステムでは、ウェーハを、平坦化されるべきウェーハ表面の平面内を移動する研磨パッドに接触させる回転ウェーハホルダが用いられることが多い。研磨流体、例えば、化学研磨剤又はミクロ研磨剤を含有したスラリーを研磨パッドに塗布してウェーハを研磨する。ウェーハホルダは次に、ウェーハを直線状に動き又は回転している研磨パッドに押し付け、これを回転させてウェーハを研磨すると共に平坦化する。スピンドル組立体に用いることができる1つの適当なリニアウェーハポリッシャは、カリフォルニア州フレモント所在のラム・リサーチ・コーポレイションから入手できるTERES（登録商標）ポリッシャである。20

【0030】

上記のことから、力制御方式スピンドル組立体のための方法及び装置について説明した。本発明の方法の一実施形態は、位置フィードバックループでスピンドルの位置をモニターすることにより力発生装置でスピンドルを粗動増分状態で加工面に向かって移動させる工程を有する。加工物がスピンドルの一端に設けられた保持装置に取付け状態でいったん加工面に達すると、位置フィードバックループ及び力制御フィードバックループの利得パラメータを変え、スピンドル組立体は、力の測定値に基づいてスピンドルの位置を調節する。30

【0031】

力制御方式研磨のためのスピンドル組立体も又、開示されている。一実施形態では、スピンドル組立体は、回転自在な軸方向に動くことができるスピンドル及びスピンドルに作動的に結合された力発生装置を有している。サーボコントローラが、力発生装置と連絡状態にあり、このサーボコントローラは、第1のフィードバックループ又は第2のフィードバックループからの情報に基づいて制御信号を力発生装置に与える。第1のフィードバックループは、スピンドル位置に関する情報を提供し、第2のフィードバックループはスピンドルの端部に取り付けられた加工物のところで検出される圧力に関する情報を提供する。同一の力発生装置は、スピンドルの位置を第1の作動モードで制御し、第2の作動モードにおいて加工物に加わる一定の力を維持するのに用いられる。力発生装置は好ましくは、電磁式力発生装置、例えば、1以上のリニアモータ又は音声コイルである。スピンドル組立体に関する力の分解能を最大にするため、好ましくは少なくとも1つの空気静力学的軸受を用いて、スピンドルの長手方向又は回転運動によって生じる摩擦を最小限に抑える。40

【0032】

上述の詳細な説明は、本発明の限定ではなく説明として考えられるべきであり、以下の特50

許請求の範囲は、本発明の範囲（全ての均等例を含む）を定めるものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の好ましい実施形態の力制御方式研磨のためのスピンドル組立体の略図である。

【図 2】 図 1 の装置に用いられるのに適したウェーハホルダの断面図である。

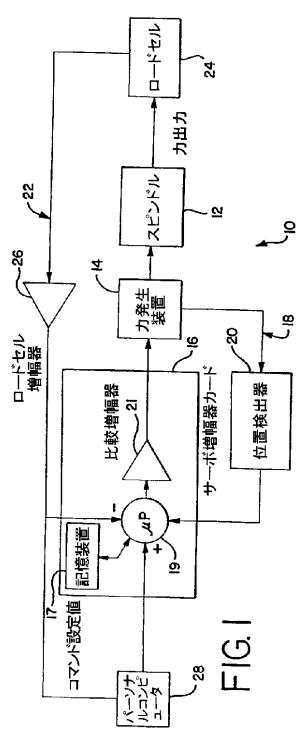
【図 3】 図 1 の装置に用いられる力発生装置及びリニアベルトをポリッシャの断面図である。

【図 4】 図 3 の 4 - 4 線矢視断面図である。

【図 5】 図 3 の 5 - 5 線矢視断面図である。

【図 6】 本発明の好ましい実施形態の図 1 のスピンドル組立体を制御する方法を示す流れ図である。 10

【図 1】



【図 2】

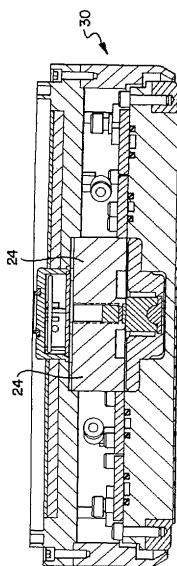
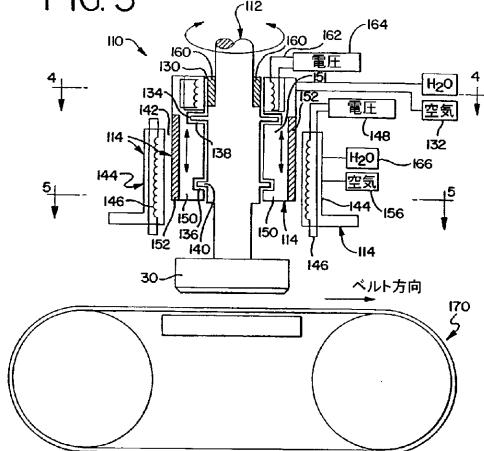


FIG. 2

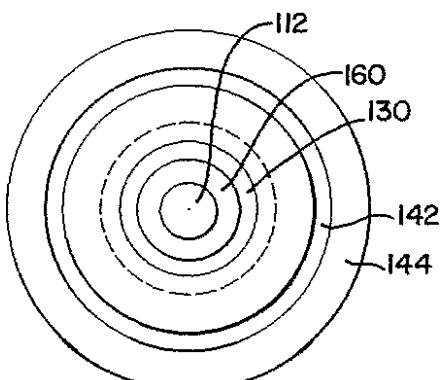
【図3】

FIG. 3



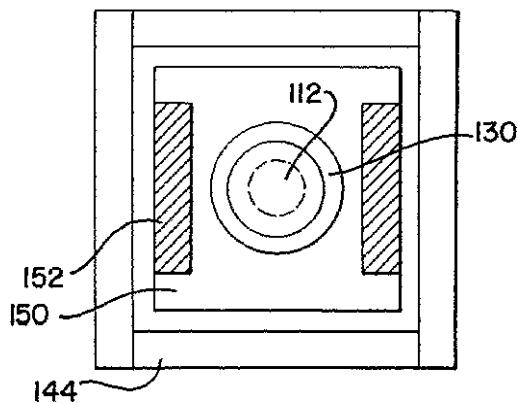
【図4】

FIG. 4



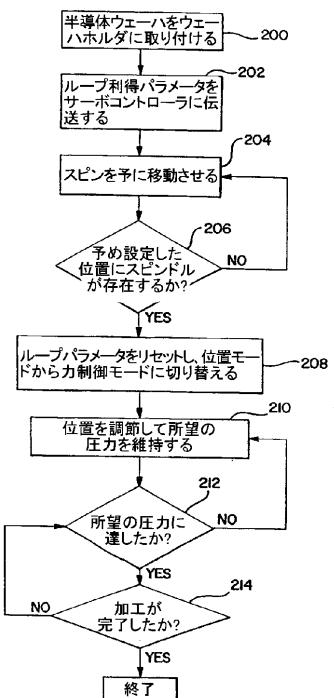
【図5】

FIG. 5



【図6】

FIG. 6



フロントページの続き

(72)発明者 サルダーナ ミゲル エイ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94536 フリーモント ファーウェル ドライブ 38
850 アパートメント 16ピ-

審査官 金本 誠夫

(56)参考文献 特開平10-071560(JP,A)
特開平07-171762(JP,A)
特開昭60-167763(JP,A)
特開平08-318445(JP,A)
特開平05-197951(JP,A)
特開平06-315860(JP,A)
特開平02-205463(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B24B 21/00-39/06

B24B 41/00-51/00