

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7362293号
(P7362293)

(45)発行日 令和5年10月17日(2023.10.17)

(24)登録日 令和5年10月6日(2023.10.6)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 21/683(2006.01)	H 0 1 L 21/68 R
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L 21/302 1 0 1 G
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/31 C
H 0 2 N 13/00 (2006.01)	H 0 2 N 13/00 D

請求項の数 11 外国語出願 (全15頁)

(21)出願番号	特願2019-91811(P2019-91811)	(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 APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050 3050 Bowers Avenue Santa Clara CA 95054 U.S.A.
(22)出願日	令和1年5月15日(2019.5.15)	(74)代理人	100094569 弁理士 田中 伸一郎
(65)公開番号	特開2019-201207(P2019-201207A)	(74)代理人	100103610 弁理士 吉 田 和彦
(43)公開日	令和1年11月21日(2019.11.21)		
審査請求日	令和4年2月18日(2022.2.18)		
(31)優先権主張番号	15/979,787		
(32)優先日	平成30年5月15日(2018.5.15)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 閉ループチャッキング力制御を用いたリアルタイム監視

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ処理チャンバ内の静電チャック上に配置された加工品にかかるチャッキング力を最小限にする方法であって、

処理チャンバ内の静電チャック上に加工品を配置するステップと、

前記処理チャンバの中にプラズマを与えるステップと、

前記加工品にかかる撓み力を監視するステップと、

最小値のチャッキング電圧を加えるステップと、

最小圧の裏側ガス圧を加えるステップと、

前記撓み力が閾値未満になるように前記チャッキング電圧および/または裏側ガス圧を調整するステップと、

前記チャッキング電圧および前記裏側ガス圧を同時に引き上げるステップとを含む、方法。

【請求項2】

チャッキング解除のために前記方法を逆にするステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

チャッキング電圧力の最小値が前記裏側ガス圧の最小値未満である、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記加工品がチャッキングされるときに、前記裏側ガス圧の値がチャッキング電圧力の値未満である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記撓み力が約 50 ミリトルから約 50 トルの間である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記撓み力が約 1 トル以下である、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記プラズマを前記与えるステップと前記加工品を前記チャッキングするステップとの間に小さな時間遅延を導入するステップをさらに含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 8】

前記小さな時間遅延が約 200 ミリ秒から約 10 秒の間である、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記チャッキング力および裏側ガス圧の閉ループ制御を設けるステップと、前記閉ループ制御に応じて前記チャッキング力を最小限にするステップとをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

クランプ力が目標合計クランプ力に到達し維持されるように、前記静電チャックへのクランプ電圧を調整するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記最小値の前記チャッキング電圧を加えるステップがさらに、最小力を得るように前記チャッキング電圧を選択するステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は一般に、超小型電子デバイスを製作するための処理チャンバ内で使用される基板支持体に関する。

【背景技術】

【0002】

高精度の製造、たとえば半導体製造においては、均一品質を向上し欠陥を減らすために、製造作業中に加工品が固定具によって正確に保持される必要がある。一部の製造作業においては、加工品を支持構造体に押し当てて保持するための固定具として基板支持体を使用されることがある。静電力もしくは他の力（クランプ力）がしばしば、1つまたは複数の製造作業中に加工品を基板支持体の加工品支持面に正確に保持するために使用される。これらのタイプの基板支持体は静電チャック（ESC）と呼ばれる。

【0003】

これらの製造作業中に加工品は、欠陥を減らすために、可能な限り小さいクランプ力によって保持され、加工品支持面との接触が最小限でなければならない。しかし、加工品に施される、チャッキング力を変えることのある表面処理、基板支持体の支持面の摩耗および汚染などの製造変動性の故に、また他の環境的影響の故に、製造要員はしばしば、上述の変動性、およびこれらの変動性のチャッキング力に対する影響を阻止するために、ある安全係数を得るための目標クランプ力を増加させて十分なクランプ力が加わることを確保することになる。

【0004】

半導体製造業界で使用される大多数の基板支持体では、必要とされるよりも大きいクランプ力をかけること、すなわちオーバチャッキングが多い。オーバチャッキングにより、たとえば、加工品の裏側に穴が生じる、基板支持体の部品が加工品にめり込む、加工品における膜応力が増加する、かつ/または加工品の処理面の品質問題を引き起こすおそれのある微粒子が生じることによって、加工品が損傷することになる。たとえば、大量生産操業では、平均の表側総欠陥は、25 nm以上のサイズの微粒子がウエハ当たり約 3 ~ 4 個

10

20

30

40

50

の間で変動した。分析では、これらの欠陥の80～90%が、ESCによるSi、Al、またはOを含む微粒子であることが示された。加工品裏側の微粒子試験結果は、標準の1800Vチャッキング/チャッキング解除1サイクルで、加工品の裏側にサイズが0.5μm以上の約8000～24000個の欠陥が生じ得ることを示す。これらの欠陥の中で、約35%が引っ掻き傷、約50%が引っ掻きにより発生した埋込みシリコン微粒子、また約15%がESCおよび/または加工品からのSi、Si-O、Al-Si-O遊離微粒子である。これらの遊離欠陥の一部は、大きいチャッキング力によるチャッキング中およびチャッキング解除中の加工品の上昇/下降の動きにより、加工品の表面に落ちる可能性がある。

【0005】

製造許容値がますます厳しくなり、コストを低減する必要性がより重要になるにつれて、より広い範囲の製造変動性に対処し、上で論じた製造欠陥を低減するためのより一定の、予測可能なクランプ力が得られる新規の手法が必要とされている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

したがって、処理中に加工品を支持するための装置および方法の改善が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本明細書で開示される実施形態は、プラズマ処理チャンバ内の静電チャックに配置された加工品にかかるチャッキング力を最小限にする方法を含む。この方法は、加工品を処理チャンバ内の静電チャックに配置することから開始する。プラズマが処理チャンバの中に与えられる。加工品にかかる撓み力が監視される。最小値のチャッキング電圧が加えられる。最小圧の裏側ガス圧が加えられる。チャッキング電圧および/または裏側ガス圧力は、撓み力が閾値未満になるように調整される。また、チャッキング電圧および裏側ガス圧は同時に引き上げられる。

【0008】

本発明の実施形態の上記に列挙された特徴が細部にわたり理解できるように、上で簡潔に要約された本発明の実施形態について、添付の図面にその一部が示されている実施形態を参照することによって、より具体的な説明が得られよう。しかし、本発明の実施形態では、その他の同様に効果的な実施形態も認めることができるので、添付の図面は、本発明の典型的な実施形態を示すにすぎず、したがって、本発明の範囲を限定するものとみなされるべきでないことに留意されたい。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】基板支持体が組み込まれている例示的なプラズマ処理チャンバの概略側面図である。

【図2】センサアセンブリが裏側ガス貫通孔内に取り付けられている基板支持体の部分断面等角図である。

【図3】センサアセンブリがリフトピン内に取り付けられている基板支持体の部分断面透視図である。

【図4】センサアセンブリの様々な場所を示す基板支持体の上面図である。

【図5】加工品が上に配置されている基板支持体の部分断面図である。

【図6】基板支持体上に配置された加工品にかかる力を最小限にする方法を示す流れ図である。

【図7】図6の方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

さらなる特徴および利点が、以下の「発明を実施するための形態」で論述され、一部は

10

20

30

40

50

、その説明により当業者には容易に明らかになり、あるいは、以下の「発明を実施するための形態」、特許請求の範囲、および添付の図面を含めて、本明細書に記載の実施形態を實踐することによって理解されよう。

【0011】

上記の一般的な説明も以下の詳細な説明も、例示的なものにすぎず、特許請求の範囲の性質および特性を理解するための概要または枠組みを与えるものであることを理解されたい。添付の図面は、さらなる理解が得られるように含まれており、また本明細書に組み込まれ、その一部を構成している。図面は1つまたは複数の実施形態を示し、明細書と共に様々な実施形態の原理および動作を説明する役割を果たす。

【0012】

次に、添付の図面にその例が図示されている実施形態を詳細に参照する。図面には、実施形態の全部ではなく一部が示されている。実のところ、その概念は多くの異なる形で具現化することができ、本明細書において限定するものと解釈されるべきではなく、むしろ、これらの実施形態は、本開示が当該の法的要件を満たすように提示されている。可能なときにはいつも、同様の参照番号が同様の構成要素または部品を指示するのに使用される。

【0013】

本明細書で開示される実施形態には、1つまたは複数のセンサハウジングおよび撓みセンサを含むセンサアセンブリが含まれる。このセンサアセンブリは、裏側ガスを用いて構成される静電チャック、または他の、処理中に加工品を処理チャンバ内で保持するのに適しているアセンブリなどの基板支持アセンブリ内に配置されるように構成される。たとえば、センサアセンブリは、既存の裏側ガス送出孔、または静電チャックの他の孔の中に配置することができる。撓みセンサは、静電チャック上に配置された加工品にかかる力のバランスを決定するための、加工品の撓みのリアルタイム測定値を与えることができる。撓みセンサを使用してチャッキング力を決定することによって、加工品チャッキング/チャッキング解除プロセスは、裏側加工品欠陥、およびこれにより発生する微粒子を低減/除去するチャッキング力を最小限にするように最適化することができる。たとえば、チャッキング/チャッキング解除中にチャッキング電圧を裏側のHeの流れ圧力と共に同時に引き上げ、引き下げることによって、プロセスは、加工品を保持するのに適切なチャッキング力を最小限にし、これにより、裏側加工品引っ掻き傷、およびそれによる微粒子発生が最小限になる。

【0014】

図1は、センサアセンブリ190の一実施形態を示す。図1は、基板支持アセンブリ170が組み込まれている例示的なプラズマ処理チャンバ100の概略図を示す。基板支持アセンブリ170は、その中にセンサアセンブリ190が配置されている。一実施形態では、プラズマ処理チャンバ100は、スパッタエッチ処理チャンバまたはプラズマエッチシステムである。しかし、物理的気相成長(すなわち、スパッタリング)チャンバ、化学的気相成長チャンバ、エッチングチャンバ、選択的除去処理チャンバ(SRP)、または他の真空処理チャンバなど、他のタイプの処理チャンバもまた、本明細書に記載の実施形態を實踐するのに使用されてよい。

【0015】

プラズマ処理チャンバ100は、たとえばシリコンウエハである基板などの加工品101の処理中に、チャンバ内部容積120内の減圧を維持するように適切に適合させることができる真空チャンバである。プラズマ処理チャンバ100は、底面126を有するチャンバ本体106を含み、チャンバ内部容積120を密閉する蓋104によって覆われる。チャンバ本体106および蓋104は、アルミニウムなどの金属、または他の適切な材料で作ることができる。

【0016】

プラズマ処理チャンバ100は、プラズマ処理チャンバ100をポンプダウンし排気するために使用されるスロットルバルブ(図示せず)、および真空ポンプ(図示せず)を含む真空システム114と結合され、流体連結している。プラズマ処理チャンバ100の内

10

20

30

40

50

部の圧力は、スロットバルブおよび/または真空ポンプを調整することによって調節することができる。プラズマ処理チャンバ100はまた、アルゴン、酸素、塩素、フッ素、または他の、加工品101を処理するのに適切なガスなど、一つまたは複数の処理ガスをプラズマ処理チャンバ100へ供給できる処理ガス供給源118と結合され、流体連結している。

【0017】

RFプラズマ電源117は、プロセスガスにエネルギーを与えて、加工品101を処理するためのプラズマ102を維持することができる。基板支持アセンブリ170は、加工品101を偏らせて、そこにイオンをプラズマ102から引き寄せてもよい。塩素などの処理ガスは、処理ガス供給源118からプラズマ処理チャンバ100の中に導入され、ガス圧は、プラズマ点火に調整される。プラズマ102は、RF電力が送出されると容量性結合によってチャンバ内部容積120内で点火される。RF整合部(図示せず)を調整またはプリセットして、RFプラズマ電源117からプラズマ102への電力伝達の効率を改善することができる。

10

【0018】

基板支持アセンブリ170はチャンバ内部容積120内に配置される。基板支持アセンブリ170は加工品支持面172を有し、その上には加工品101が処理の間中載っている。基板支持アセンブリ170は、真空チャック、静電チャック、サセプタ、ヒータ、または他の、処理中に加工品101をプラズマ処理チャンバ100内に支持するのに適している、基板支持体を含むことができる。

20

【0019】

一実施形態では、基板支持アセンブリ170は静電チャック122を含む。基板支持アセンブリ170はさらに、冷却プレート151および支持ベース152を含むことができる。支持ベース152は、支持体ハウジング149、ベローズアセンブリ110、および支持軸112を含むことができる。支持軸112は、図示の上方の処理位置と下方の加工品移送位置(図示せず)の間で基板支持アセンブリ170の垂直移動を行うことができるリフト機構113と結合することができる。ベローズアセンブリ110は、支持軸112のまわりに配置することができ、支持ベース152とプラズマ処理チャンバ100の底面126との間に結合されて、プラズマ処理チャンバ100の内部から真空が失われることを防止しながら基板支持アセンブリ170の垂直の動きを可能にする可撓性シールを提供することができる。

30

【0020】

基板支持アセンブリ170上に配置された加工品101の温度調節が、冷却プレート151内に配置されている複数の冷却チャンネル160によって容易になり得る。冷却チャンネル160は流体供給源142と結合され、流体連結しており、この流体供給源は、水などの冷媒流体を供給するが、任意の適切な、ガスまたは液体である冷媒流体が使用されてよい。

【0021】

基板支持アセンブリ170は、ロボット(図示せず)によりプラズマ処理チャンバ100に出し入れする移送の間中、加工品101を加工品支持面172の上に間隔をあけて支持するための基板リフト130を含むことができる。基板リフト130は、軸111に連結されたプラットフォーム108と整合されたリフトピン109を含むことができる。基板支持アセンブリ170は、リフトピン109が持ち上げられた位置にあるときに、たとえば加工品101を支持しているときに、リフトピン109を受け入れて通すための貫通孔(図示せず)を含むことができる。基板リフト130は、加工品101のロボット移送を容易にするためにリフトピン109を貫通孔から延ばして加工品支持面172の上方の位置に加工品101を支持する、第2のリフト機構132に結合される。基板リフト130はさらに、リフトピン109を加工品支持面172の下に降下させて、加工品101を加工品支持面172に置く。

40

【0022】

50

静電チャック 1 2 2 はパック 1 5 0 を含む。パック 1 5 0 は、加熱素子を含むことができる。パック 1 5 0、冷却プレート 1 5 1、および/または静電チャック 1 2 2 の他の構成要素の温度は、1 つまたは複数の温度監視装置に結合された熱電対などの 1 つまたは複数の温度センサ（図示せず）を使用して監視することができる。一例では、パック 1 5 0 は、温度監視用の少なくとも 1 つの熱電対に結合される。

【 0 0 2 3 】

パック 1 5 0 は、加工品 1 0 1 を支持しチャッキングする、すなわちクランプ力（ F_c ）を加工品 1 0 1 にかける。パック 1 5 0 は、クランプ力（ F_c ）を発生させるために電極 1 3 4 が中に埋め込まれている、電気絶縁用パックベース 1 6 2 を含むことができる。

【 0 0 2 4 】

電極 1 3 4 は、DC 電源などのチャック電源 1 4 0 に電氣的に接続される。電極 1 3 4 は、加工品 1 0 1 をパック 1 5 0 の加工品支持面 1 7 2 にチャッキングするためのクランプ力（ F_c ）を提供する。電極 1 3 4 は、金属または金属合金などの任意の適切な導電性材料で作ることができる。電極 1 3 4 への電力は、チャック電源 1 4 0 に結合された制御システム 1 9 4 によって制御することができる。一例では、パック 1 5 0 は、加工品 1 0 1 をチャッキングするための 1 つの電極 1 3 4 を含む。電極 1 3 4 は、パックベース 1 6 2 の中に配置された薄い円板または細い線であり、別の例では、パック 1 5 0 は、加工品 1 0 1 をチャッキングするための 2 つ以上の電極 1 3 4 を含む。電極 1 3 4 はそれぞれ、互いに独立して動作できる薄い半円形または「D」形のプレートであり、しかし、1 つまたは複数の電極 1 3 4 は、環、くさび、細片などを含んでよい、任意の適切な形状を有することができる。

【 0 0 2 5 】

メサ 1 6 8 および凹部 1 6 4 が、パックベース 1 6 2 の加工品支持面 1 7 2 に配置される。加工品支持面 1 7 2 はさらに、1 つまたは複数の溝およびチャネル、または他の幾何形状を含むことができる。加工品 1 0 1 は、メサ 1 6 8 の上に支持し、凹部 1 6 4 の上方に持ち上げることができる。凹部 1 6 4 は、ガス供給源 1 4 1 と流体連結して、ヘリウム、アルゴン、または他の適切な裏側ガスなどの流体を各メサ 1 6 8 の間に供給することができる。裏側ガスは、ガス供給源 1 4 1 から凹部 1 6 4 まで、パック 1 5 0 に形成された 1 つまたは複数の裏側ガス送出孔 1 9 8 を通して送出することができる。裏側ガスは、パック 1 5 0 と加工品 1 0 1 の間の熱伝達速度を調節する助けとするために、加工品 1 0 1 とパック 1 5 0 の間に流れることができる。一例では、裏側ガスは、アルゴンなどの不活性ガスを含むことができる。ガス供給源は、約 4 トル以上など、約 1 0 トル以上の裏側ガス圧力（図 5 に F_p として示す）を供給することができる。裏側ガスは加工品 1 0 1 に圧力 F_p を作用させるが、詳細には以下で論じる。

【 0 0 2 6 】

センサアセンブリ 1 9 0 は、裏側ガス送出孔 1 9 8 もしくは他の適切な貫通孔などの、パック 1 5 0 に形成された貫通孔の中、またはリフトピンの空洞の中に配置されてよい。センサアセンブリ 1 9 0 は、多孔性であり、裏側ガスなどの流体が流れて通り抜けることができる。たとえば、センサアセンブリ 1 9 0 は、流体がセンサアセンブリ 1 9 0 を通過できるようにする通路を有することができる。別の実施形態では、センサアセンブリ 1 9 0 は凹部 1 6 4 の中、または他の適切な場所に取り付けられてよい。

【 0 0 2 7 】

センサアセンブリ 1 9 0 は、制御システム 1 9 4 と通信することができる。センサアセンブリ 1 9 0 は、加工品支持面 1 7 2 上の加工品 1 0 1 の撓みを測定する。コントローラ 1 9 2 は、センサアセンブリ 1 9 0 によって測定された撓みに基づいて、加工品 1 0 1 にかかっているクランプ力 F_c を決定する。こうして、コントローラ 1 9 2 は、チャック電源 1 4 0 から電極 1 3 4 に供給されるクランプ電圧 V_c を調整することによって、所望のクランプ力 F_c を維持するようにクランプ力 F_c を調整することができる。実際のクランプ力の（センサアセンブリ 1 9 0 を介した）リアルタイム監視、および電極 1 3 4 に供給される電力のリアルタイム調整により所望のクランプ力 F_c を維持することによって、静

10

20

30

40

50

電チャック 1 2 2 から受ける加工品 1 0 1 の損傷を従来のチャッキング技法と比較して減らすことができる。

【 0 0 2 8 】

有利なことに、パック 1 5 0 の動作パラメータは、センサアセンブリ 1 9 0 から供給されるデータに依拠するフィードバックループを用いて制御することができる。センサアセンブリ 1 9 0 による撓みの測定は、加工品 1 0 1 に作用するチャッキング力を最小限にして欠陥および粒子発生を低減するために、加工品 1 0 1 にかかるリアルタイムの力を計算するように拡張することができる。

【 0 0 2 9 】

図 2 は、センサアセンブリ 1 9 0 が裏側ガス送出孔 1 9 8 の中に取り付けられている図 1 に示された静電チャック 1 2 2 の部分断面図である。当業者には、センサアセンブリ 1 9 0 が静電チャック 1 2 2 の孔または凹部の中に取り付けられてよいことが理解されよう。1 つまたは複数のシナリオでは、静電チャック 1 2 2 は、加工品撓みと、静電チャックによって加工品にかかる力とを検出する複数のセンサアセンブリ 1 9 0 を有する。センサアセンブリ 1 9 0 についてのさらなる説明は、裏側ガス送出孔 1 9 8 のうちの 1 つに配置されているセンサアセンブリ 1 9 0 に関するものになる。パック 1 5 0 内でセンサアセンブリが中に取り付けられる孔の形状は、円形孔に限定されない。孔は、レーザドリルである、放電加工 (E D M) をする、または他の適切な任意の方法で形成することができる。

【 0 0 3 0 】

裏側ガス通路 2 1 8 は、裏側ガス送出孔 1 9 8 と、裏側ガスをパック 1 5 0 の加工品支持面 1 7 2 へ供給するために裏側ガス送出孔に連結された移行導管 2 1 0 とを含むことができる。センサアセンブリ 1 9 0 が裏側ガス送出孔 1 9 8 内に配置され、制御システム 1 9 4 に配線される実施形態では、センサアセンブリ 1 9 0 と制御システム 1 9 4 の間の通信結線 2 8 4 が、裏側ガス通路 2 1 8 を少なくとも一部は通って横切っていくことができる。図 3 に示される、センサアセンブリ 3 9 6 がリフトピンの空洞 3 2 0 内に配置され、制御システム 1 9 4 に配線される実施形態では、センサアセンブリ 3 9 6 と制御システム 1 9 4 の間の通信結線 2 8 4 が、静電チャック 1 2 2 内のリフトピン孔を少なくとも一部は通って横切っていくことができる。センサアセンブリが静電チャック 1 2 2 の加工品支持面 1 7 2 の孔または凹部の中に配置されているさらに別の実施形態では、センサアセンブリ 1 9 0 と制御システム 1 9 4 の間の通信結線 2 8 4 間の通信結線は、無線でも、基板支持アセンブリ 1 7 0 の中を通して配線されてもよい。

【 0 0 3 1 】

センサアセンブリ 1 9 0 はセンサ 2 8 0 およびセンサハウジング 2 2 0 を含む。センサ 2 8 0 は、ファブリペローセンサ (F P S) または干渉計、または他の、小さい撓みを測定するのに適しているセンサなど、光ファイバベースのセンサでよい。一実施形態では、センサ 2 8 0 は F P S である。センサ 2 8 0 は、制御システム 1 9 4 と通信する。一実施形態では、センサ 2 8 0 は、制御システム 1 9 4 内のコントローラ 1 9 2 に配線された通信接続部 2 8 4 を有することができる。別の実施形態では、センサアセンブリ 1 9 0 は、制御システム 1 9 4 と無線で通信することができる。センサ 2 8 0 は、パック 1 5 0 上に配置された加工品 (図示せず) までの距離を示すメトリックを測定し、そのメトリックを制御システム 1 9 4 に、制御システム 1 9 4 または他の適切なデバイスによる分析のために、リアルタイムで提供することができる。

【 0 0 3 2 】

センサ 2 8 0 は、センサヘッド 2 8 2 を有することができる。センサヘッド 2 8 2 は、距離測定を行うための信号を放出および受信することができる。センサ 2 8 0 は、センサヘッド 2 8 2 と加工品 (図示せず) などの任意の対象物との間の距離をリアルタイムで測定して相対変位をナノメートル精度で決定できるように、パック 1 5 0 内に精密取り付けすることができる。加工品支持面 1 7 2 に垂直な垂直線 2 9 8 が与えられている。垂直線 2 9 8 は説明的なものにすぎず、裏側ガス送出孔 1 9 8 、またはパック 1 5 0 内の他の孔には必ずしも存在しない。センサ 2 8 0 は、センサハウジング 2 2 0 が、垂直線 2 9 8 の

10

20

30

40

50

± 3 度以内で、言い換えれば、加工品支持面 1 7 2 の垂線から ± 3 度以内に位置合わせされたセンサヘッド 2 8 2 を保持するように、正確に取り付けることができる。センサヘッド 2 8 2 の距離は、パック 1 5 0 の中のセンサハウジング 2 2 0 の位置を調整することによって、メサ 1 6 8 の上部より概ね 5 mm 未満からメサ 1 6 8 の上部より約 3 0 0 mm まで精密に調整することができる。

【 0 0 3 3 】

センサ 2 8 0 は、放射を放出する放射放出器と、加工品 1 0 1 によって反射された放射の一部を測定する放射検出器とを含むことができる。放射または信号は、たとえば、波長が約 6 0 0 ナノメートルから約 1 7 0 0 ナノメートルの間の電磁放射でよい。センサ 2 8 0 内の放射検出器は、放出された放射信号の復路を測定する。したがって、センサ 2 8 0 の角度および位置は、測定に影響を及ぼす可能性がある。センサハウジング 2 2 0 は、正確な測定を容易にするために、センサ 2 8 0 を精密な位置および配向に保持する。センサハウジング 2 2 0 は、センサ 2 8 0 の自己位置合わせを可能にすることができる。有利には、センサヘッド 2 8 2 は、加工品支持面 1 7 2 の上方に向けてまたはそこから下方に、加工品支持面 1 7 2 の最上部より概ね 5 mm 未満から約 3 0 mm まで精密に調整することができる。

10

【 0 0 3 4 】

図 4 は、静電チャック 1 2 2 などの基板支持体の上面図であり、センサアセンブリ 1 9 0 の様々な位置を示す。上で論じたように、センサアセンブリ 1 9 0 は、裏側ガス送出孔 1 9 8 などの、静電チャック 1 2 2 に設けられた既存の孔の中、リフトピン 1 0 9 の空洞の中、または静電チャック 1 2 2 に形成された孔の中に設置することができる。センサアセンブリ 1 9 0 の位置は、静電チャック 1 2 2 のパック 1 5 0 の既存の構成に基づいて決定することができる。1 つまたは複数のセンサアセンブリ 4 2 1 ~ 4 2 8、1 9 0 は、裏側ガスを有するパック 1 5 0 の加工品支持面 1 7 2 の全体にわたって設置することができる。センサアセンブリ 4 2 1 ~ 4 2 8、1 9 0 は、同心の列に、および/またはチャック電極の配置に対応するパック 1 5 0 の領域に、置くことができる。たとえば、静電チャック 1 2 2 は、同心に配置された複数の個別チャック電極を有することができる。センサアセンブリ 4 2 1 ~ 4 2 8 は、内環群 4 3 0 および外環群 4 4 0 として配置することができる。センサアセンブリ 4 2 1 ~ 4 2 8 は、ローカライズされたチャッキング力の小さいばらつきをパック 1 5 0 に沿って検出することができる。いくつかの実施形態では、多数のセンサアセンブリ 4 2 1 ~ 4 2 8 は、中心位置のセンサアセンブリ 1 9 0 をさらに含むことができる。有利なことに、このセンサアセンブリ 4 2 1 ~ 4 2 8 の配置により、過度のチャッキングによる加工品 1 0 1 の損傷からの保護の強化のための、加工品 1 0 1 の全体についての個別撓み測定値を得ることができる。

20

30

【 0 0 3 5 】

図 5 は、加工品 1 0 1 が上に配置されている静電チャック 1 2 2 の部分断面図である。パック 1 5 0 と、センサアセンブリ 1 9 0 に近接している静電チャック 1 2 2 のメサ 1 6 8 とが図示されている。メサ 1 6 8 は、隣り合う 1 つまたは複数の凹部 1 6 4 の間に配置されている。メサ 1 6 8 は、加工品 1 0 1 を支持するためにパック 1 5 0 から上に延びる、様々なサイズの正方形もしくは長方形ブロック、円錐、くさび、ピラミッド、柱、円筒形隆起、もしくは他の突起、またはこれらの組合せを含むことができる。加工品 1 0 1 は、上で論じたように、クランプ力 F_c で静電チャック 1 2 2 に固定することができる。1 つの実施形態では、メサ 1 6 8 は、加工品 1 0 1 に最小限の力を作用させて、加工品 1 0 1 の裏側に引っ掻き傷をつけない、または損傷させないように構成される。

40

【 0 0 3 6 】

隣り合うメサ 1 6 8 は、各中心の間隔を距離 5 6 0 とすることができる。一実施形態では、距離 5 6 0 は約 0 . 3 インチから約 0 . 5 インチの範囲とすることができる。隣り合うメサ 1 6 8 はそれぞれ、約 3 マイクロメートルから約 7 0 0 マイクロメートルの高さを有することができる。隣り合うメサ 1 6 8 はそれぞれ、約 5 0 0 マイクロメートルから約 5 0 0 0 マイクロメートルの範囲の幅を有することができる。凹部 1 6 4 は、約 2 ミリメ

50

ートルから約10ミリメートルの幅を有することができる。メサ168および凹部164は、静電チャック122が加工品101を支持することを、加工品101の熱管理も行いながら可能にする。

【0037】

メサ168は、加工品101を支持する上面542を有する。上面542は一般に、静電チャック122からのクランプ力Fcがかかっていないときに加工品101が載っている基準面520を規定する。基準面520は、加工品101の撓みをセンサ280によってそこから測定できる参照点として機能することができる。1つの実施形態では、チャッキング力が加工品101に加えられると、正反対の接触圧力がメサ168によって加工品101に加えられる。

10

【0038】

加工品101は、クランプ力Fcがかかると静電チャック122に固定され得る。クランプ力Fcは、加工品101をメサ168に向けて引き寄せ、メサ168との接触と相俟って、加工品101が静電チャック122に対して動かないようにする。クランプ力Fcは、静電チャック122の加工品支持面172の全体にわたって同じではなく、実質的に類似もしていないことさえあり得る。クランプ力Fcのばらつきは、特に、材料の堆積によるパック150の変化、洗浄およびエッチングによる腐食、ならびに摩耗に原因があると考えられる。加えて、クランプ力Fcは、区域に分けられた静電チャック構成などにおいて、加工品支持面172の全体にわたって意図的に差異化することもできる。

【0039】

センサ280は、基準面520に対する加工品101の撓みを測定する。クランプ力Fcを制御するために、クランプ電圧が静電チャック内の電極134に印加される。クランプ電圧は、センサ280によって測定された加工品101の撓みに応じて変えることができる。クランプ力Fcをかけると、加工品101は、凹部164の幾何学的平面510と整合することができる。撓みは、クランプ力Fcと実質的に一致する合力を表し得る。測定された撓みとクランプ電圧は、測定された撓みが所定の範囲に入るまで調整することができる。たとえば、許容可能な撓みの所定の範囲は、500ナノメートルから約2μmの間とすることができる。測定された撓みが約2μmよりも大きい場合、クランプ電圧は、撓みが500ナノメートルから約2μmの間にあるとセンサがリアルタイムで決定するまで、低減させることができる。撓みは、2つ以上の位置に配置されたセンサアセンブリ190を用いて測定することができ、それによって、ガス圧と接触圧などの正反対の力とを一致させるためのクランプ電圧の精密な調整が可能になる。

20

30

センサ280は、加工品101の撓みの変化を短い時間間隔で測定することができる。

【0040】

多数のセンサ280が加工品101の撓みを監視し、静電チャック122に多数のクランプゾーンが備えられる実施形態では、制御システム194は、別々のクランプゾーンに設置された個々のセンサ280からのデータを使用して、その特定のクランプゾーンにおけるクランプを、正反対の各力を一致させ、クランプ電圧を最小限にするように制御することができる。チャッキング電圧/力が増大すると、ESC上およびチャンパ処理環境中により多くの微粒子が発生する。たとえば、1μmよりも大きい微粒子による欠陥では、800Vのチャッキング電圧でおよそ1392個の埋込み微粒子が加工品101の裏側面に生じたことが観察された。これらの埋込み微粒子のうち、約21個の微粒子が10μmよりも大きいサイズであった。1000Vのチャッキング電圧では、およそ2264個の埋込み微粒子が加工品101の裏側面に生じた。1200Vのチャッキング電圧では、およそ3546個の埋込み微粒子が加工品101の裏側面に生じた。また1800Vのチャッキング電圧では、およそ5532個の埋込み微粒子が加工品101の表側面に生じた。さらに1800Vでは、10μmよりも大きい埋込み微粒子の数がおよそ140個にまで増加した。すなわち、埋込み微粒子の数は電圧に対して直線的な関係ではなく、電圧のそれぞれの小さな増加でますます多くの埋込み微粒子が発生する。しかし、さらに著しいのは10μmよりも大きい微粒子の数であり、チャッキング電圧の2倍の増加に対し、10

40

50

μm よりも大きい微粒子の数は7倍超に増加した。これらの裏側微粒子/欠陥は、ウエハ処理中またはウエハカセット（すなわち、F O U P）内での裏側ガス漏洩によって、または加工品101の上への落下によって、加工品101の表側に移転し得る。裏側欠陥はまた、他の半導体プロセスステップで移転することもある。この移転は、ダイおよびフィーチャサイズが縮小するにつれて顕著になり、より大きいサイズの微粒子がフィーチャ間の間隙を橋絡し、場合によってはダイが使用不可になる。

【0041】

したがって、ESCからの微粒子を低減/除去するために、ウエハチャッキング/チャッキング解除プロセスでは、加工品101にかかるチャッキング力を最小限にする。加工品101を過度にチャッキングすることによるシリコン引っ掻き傷が微粒子を発生させるが、この場合チャッキングを最小限にして、遊離微粒子が加工品101の表側フィーチャに導入されること、およびそこに欠陥が形成されることを防止することができる。裏側ガスの導入による力を引き上げ、同時にチャッキング電圧による正反対の力を引き上げることによって、加工品101にかかるこれらの力のバランスを取ることができ、それにより、加工品101は、裏側に引っ掻き傷を生じさせる、または微粒子を表側に導入することなく、ESCに保持することができる。1つの実施形態では、チャッキング/チャッキング解除ステップ中にHe圧が、ウエハにかかるチャッキング力を最小限にするように、同時に調整される。

10

【0042】

静電チャック122は、多数のクランプゾーンを備えることができ、センサ280を有する多数のセンサアセンブリ190を使用して各クランプゾーンを監視することができる。あるいは、静電チャック122は、チャッキング力測定デバイスを有してもよい。チャッキング力測定デバイスは、チャッキング電圧と、最終的には加工品101に加えられる力の大きさを制御するために、フィードバックを行うことができる。当業者には、加工品に加えられるリアルタイムの力を供給または定量化するのに適切な任意のデバイスまたはセンサが、加工品の過度のチャッキング、および過度のチャッキングによって生じる欠陥を低減するための、図6に関して以下で説明する方法を実施するのに適していることが理解されよう。

20

【0043】

次に、図6および図7について一緒に論じる。図6は、基板支持体上に配置された加工品にかかる力を最小限にするための方法600である。図7は、図6の方法を示す図である。加工品は、ESCに向けて加工品を押し1つまたは複数の静電力と、メサに沿った接触圧および加工品をESCから押し離すガス圧の両方とを受けることができる。方法600は、これらの力を最小限でバランスさせて、加工品101を処理チャンバ内のESCに保持する。

30

【0044】

ウエハを静電チャックによってチャッキングすることは、静的プロセスである（動的なウエハの動きが生じない）。チャッキング力は、2つの正反対の力による抵抗を受ける。第1は、裏側ガス圧の、このガスにさらされるウエハの裏側領域に対する力である。第2の力は、ウエハがeチャックと接触する領域に対する接触圧である。図7は、加工品にかかるそれぞれの力を示す。y軸754は、加工品に加えられる力を示す。x軸752は、加工品にかかるこれらの力のタイミングを示す。

40

【0045】

方法600のブロック610で、加工品がプラズマ処理チャンバ内の静電チャック上に配置される。図7の第1の時間ブロック701は、チャッキング電圧740がチャッキング最小電圧742に設定され、裏側ガス圧760がガス最小圧762にあることを示す。加工品は、第2の時間ブロック702においてESCの上に移される。これはまた、最小チャッキング電圧742を設定する代わりに、最小力までチャッキング電圧740に傾斜をつけることによって実現することもできる。次に裏側ガス圧760が、最小ガス圧762になる。この最後の手法によって、最小力が加工品に加えられる。

50

【 0 0 4 6 】

方法 6 0 0 のブロック 6 2 0 で、プラズマが処理チャンバ内に与えられる。これは、図 7 の第 3 の時間ブロック 7 0 3 に対応する。プラズマは、加工品をチャッキングするときに E S C にグラウンドを提供する。ここで、D C バイアス補償は、プラズマを与えるときに E S C 上で不能にされてよい。

【 0 0 4 7 】

方法 6 0 0 のブロック 6 3 0 で、加工品にかかる撓み力が監視される。力は、加工品に加わる力を決定するコントローラに応力情報、撓み情報、または他の適切な情報を供給するセンサによって監視することができる。

【 0 0 4 8 】

方法 6 0 0 のブロック 6 4 0 で、チャッキング電圧 7 4 0 が最小値 7 4 1 にされる。これはまた、最小チャッキング電圧 7 4 1 を設定する代わりに、最小力までチャッキング電圧 7 4 0 に傾斜をつけることによって実現することもできる。ブロック 6 5 0 で、裏側ガス圧 7 6 0 が裏側ガス最小圧 7 6 3 にされる。ここで、裏側ガス最小圧 7 6 3 は、ガス最小圧 7 6 2 から増大されていてもいなくてもよい。これは、一部の E S C には最小の裏側ガスの流れが常にあるからである。コントローラは、裏側ガス圧 7 6 0 とチャッキング電圧 7 4 0 の間の撓み力 7 8 0 を監視および維持する。撓み力 7 8 0 (裏側ガス圧 7 6 0 とチャッキング電圧 7 4 0 の間の力の差) は、まだ処理前の加工品を E S C 上に維持するのに適切な、処理に適している撓み力 7 8 0 の閾値未満のものでよい。

【 0 0 4 9 】

方法 6 0 0 のブロック 6 6 0 で、チャッキング電圧 7 4 0 および / または裏側ガス圧 7 6 0 は、撓み力 7 8 0 が閾値未満になるように調整される。撓み力 7 8 0 は、加工品に下向きにかかる合力である。すなわち、E S C によって保持される加工品に対して、チャッキング電圧 7 4 0 によって供給される力は、裏側ガス圧 7 6 0 によって供給される力よりも大きい。1 つの実施形態では、撓み力は、ウエハのまわりで撓みが 1 0 ナノメートル ~ 5 μ m などの、約 5 0 ミリトルから約 5 0 トルの間である。

【 0 0 5 0 】

方法 6 0 0 のブロック 6 7 0 で、チャッキング電圧および裏側ガスは同時に引き上げられる。これは、図 7 の第 4 の時間ブロック 7 0 4 に対応する。プラズマを与えることと加工品をチャッキングすることの間で、小さな時間遅延が力の引き上げに導入されてもよい。1 つの実施形態では、約 2 0 0 ミリ秒から約 1 0 秒の間の時間遅延が、プラズマを与えることと加工品をチャッキングすることの間に設けられる。

【 0 0 5 1 】

加工品は、図 7 に示された第 5 の時間ブロック 7 0 5 の間にチャッキングされ処理される。ここでチャッキング電圧 7 4 0 は、プラズマにバイアスをかける、加工品を処理する、および / または加工品を E S C に静電的に保持するのに適切なレベル 7 4 9 にある。裏側ガス圧 7 6 0 は、チャッキング電圧 7 4 0 の力と釣り合わせる、かつ撓み力 7 8 0 を閾値未満に維持するために、高い圧力 7 6 9 に維持される。

【 0 0 5 2 】

したがって、加工品を固定するために用いられるチャッキング力は、常に最小限にされる。低いチャッキング電圧により、引っ掻き傷および引っ掻き傷で発生する微粒子が低減する。方法 6 0 0 では、裏側ガスが供給された状態で加工品を保持するのにちょうど十分である小さい力で加工品をチャッキングする。ずっと小さい追加チャッキング力の安全マージンがまた、加工品が処理中に E S C によって堅固に保持されることを確実にするために加えられてもよい。裏側冷却ガスが加えられ安定にする。次に、チャックのスキャン中にチャック上の所定の位置に加工品を保持するためだけに十分な追加の力が加えられる。これによりウエハにかかる力が最小限にされて、ウエハの静電クランプによって生じるシリコン損傷が低減する。

【 0 0 5 3 】

チャッキング力および裏側ガス圧の閉ループ制御を設けてチャッキング力を最小限にす

10

20

30

40

50

ることができ、これにより、ウエハ引っ掻き傷および引っ掻き傷で発生する微粒子が著しく低減する。1つまたは複数の撓みセンサ、または他の適切な力センサを含む制御システムは、静電チャックによって加えられるクランプ力を測定および制御する。制御システムは、センサによって測定される撓みを用いて、加工品にかかる力を計算し、静電チャックによって加工品に加えられるクランプ力を調整することができる。制御システムは、クランプ力が、加工品に加えられる目標合計クランプ力に到達し、これを維持するように、静電チャックへのクランプ電圧を調整する。有利なことに、クランプ力は、シリコンウエハを静電チャックに固定するように、かつ実施されるべき製造作業を、加工品にかかる不要な高いクランプ力の結果として生じる加工品損傷を最小限にしながら、可能にするように供給することができる。

10

【0054】

この方法は、加工品をチャッキング解除するために拡張される。第6の時間ブロック706の間、チャッキング電圧740および裏側ガス圧760は低減すなわち引き下げられる。裏側ガス圧がガス最小圧762まで低減されると、チャッキング電圧740の除去の前に小さな遅延が設けられる。第7の時間ブロック707において、プラズマはオフにされ、加工品はチャッキング解除される。センサはまた、チャッキング解除ステップで、いつ加工品を取り外すのが、またはリフトピンを上げるのが安全かのリアルタイムフィードバックを与える助けにもなり得る。第8の時間ブロック708で、加工品はESCから取り外され、プラズマ処理チャンバから取り出される。チャッキング作業とチャッキング解除作業は実質的に類似しているが、逆の順序で行われることを理解されたい。

20

【0055】

本明細書に論述されていない多くの修正および他の実施形態が、上記の説明および添付の図面において提示された教示の利益を受けてその実施形態に関係する当業者には想起されよう。したがって、本明細書および特許請求の範囲が、開示された特定の実施形態に限定されないこと、ならびに修正および他の実施形態が添付の特許請求の範囲内に含まれるものであることを理解されたい。諸実施形態は、その実施形態の修正形態および変形形態を、これらが添付の特許請求の範囲およびその等価物の範囲に入るのであれば、包含するものである。特定の用語が本明細書に使用されているが、これらは一般のおよび説明的な意味で使用されているにすぎず、限定を目的とするものではない。

30

【0056】

上記は本開示の諸実施形態を対象としているが、本発明のその他のさらなる実施形態を本発明の基本的な範囲から逸脱することなく考案することができ、その範囲は添付の特許請求の範囲によって決まる。

【符号の説明】

【0057】

- 701 第1の時間ブロック
- 702 第2の時間ブロック
- 703 第3の時間ブロック
- 704 第4の時間ブロック
- 705 第5の時間ブロック
- 706 第6の時間ブロック
- 707 第7の時間ブロック
- 708 第8の時間ブロック
- 740 チャッキング電圧
- 741 最小チャッキング電圧
- 742 チャッキング最小電圧
- 749 加工品を処理する、および/または加工品をESCに静電的に保持するのに適切なレベル
- 760 裏側ガス圧
- 762 最小ガス圧

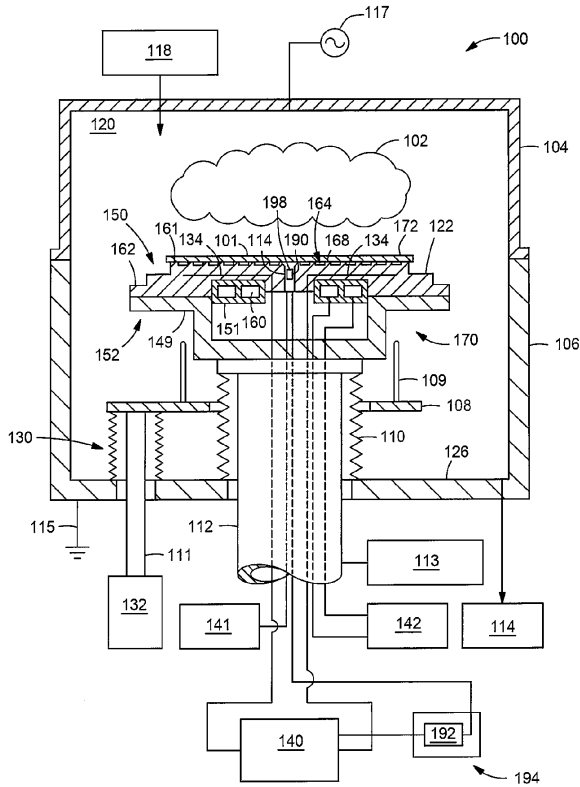
40

50

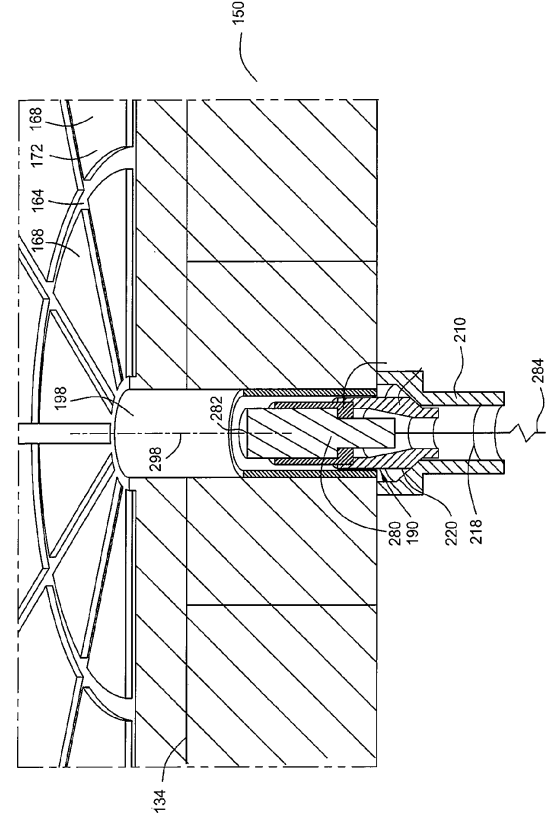
- 7 6 3 裏側ガス最小圧
- 7 6 9 高い圧力
- 7 8 0 撓み力

【図面】

【図 1】



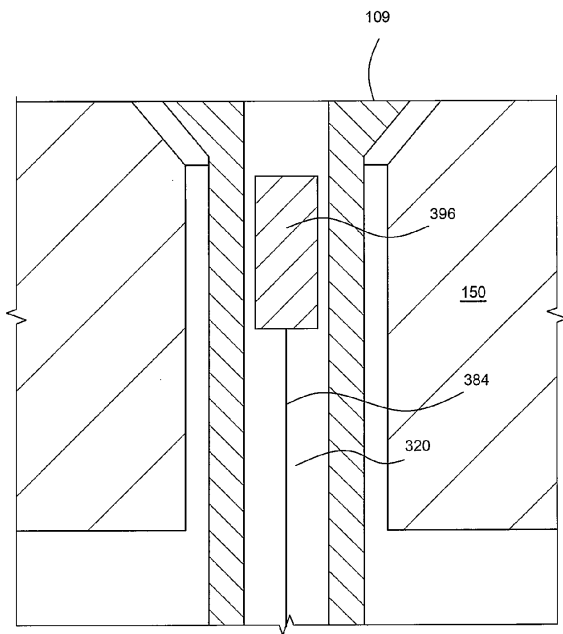
【図 2】



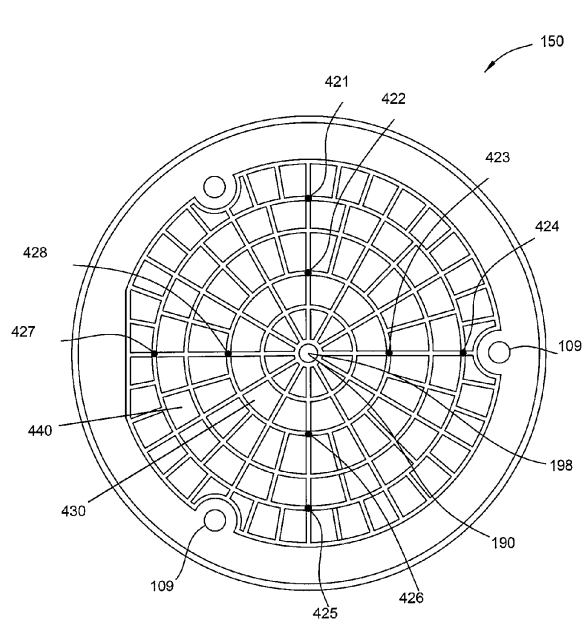
10

20

【図 3】



【図 4】

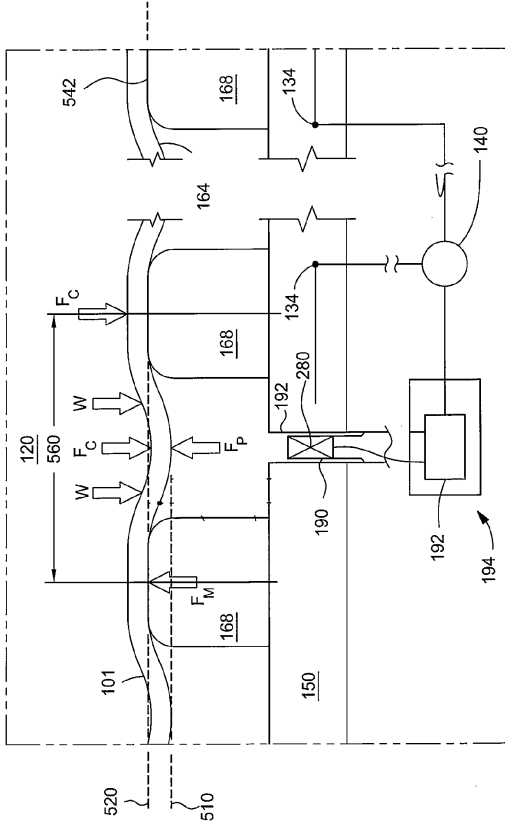


30

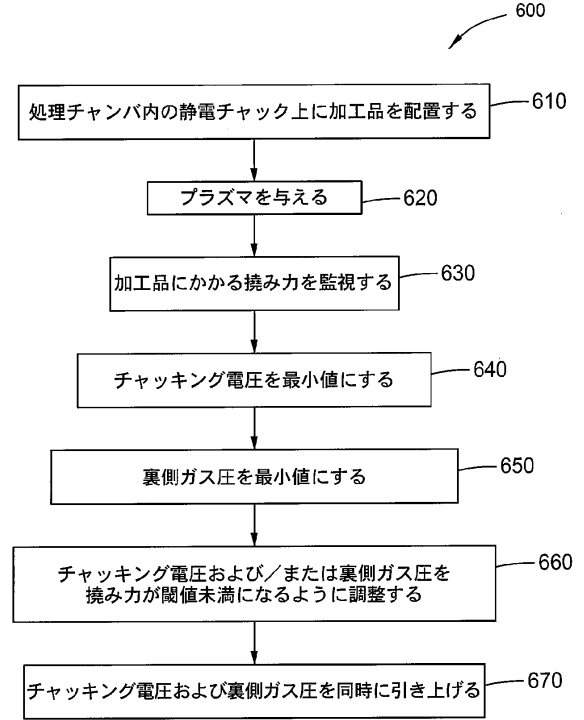
40

50

【図5】



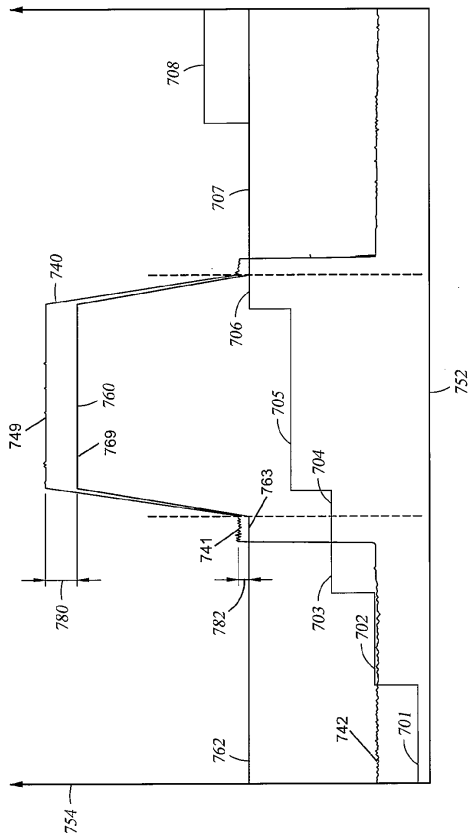
【図6】



10

20

【図7】



30

40

50

フロントページの続き

- (74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100067013
弁理士 大塚 文昭
- (74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
- (74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
- (74)代理人 100139712
弁理士 那須 威夫
- (74)代理人 100176418
弁理士 工藤 嘉晃
- (72)発明者 ウェンデル グレン ボイド ジュニア
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 3 7 モーガン ヒル モンティチェロ ウェイ 1 5 2 0 3
- (72)発明者 ヴィジャイ ディー パルケ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 5 サンノゼ ブーケ パーク レーン 4 0 5 4
- (72)発明者 マシュー ジェイムズ ブッシュ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 5 4 サンタクララ モアランド ウェイ 5 5 0 アパートメント 4 6 1 2
- (72)発明者 コンスタンティン マクラトチェフ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 6 フリーモント マンチェスター コモン 3 4 1 2
- (72)発明者 小野 真徳
千葉県船橋市みやぎ台 2 - 8 - 3
- (72)発明者 セン タック
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 8 7 ユニオン シティ ジーン ドライブ 3 2 2 5 7
- 審査官 鈴木 孝章
- (56)参考文献 特表 2 0 1 8 - 5 3 0 1 5 0 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 3 5 1 9 6 8 (J P , A)
特開平 0 4 - 2 0 6 5 4 6 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 1 3 8 6 8 7 (U S , A 1)
特開 2 0 1 6 - 1 3 9 6 4 9 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 2 1 / 6 8 3
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
H 0 1 L 2 1 / 3 1
H 0 2 N 1 3 / 0 0