

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-128576

(P2006-128576A)

(43) 公開日 平成18年5月18日(2006.5.18)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/3063 (2006.01)	HO 1 L 21/306 L	5 F O 4 3
C 2 5 F 3/00 (2006.01)	C 2 5 F 3/00 C	
HO 1 L 21/306 (2006.01)	HO 1 L 21/306 J	

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2004-318380 (P2004-318380)	(71) 出願人	000000239 株式会社荏原製作所 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
(22) 出願日	平成16年11月1日 (2004. 11. 1)	(74) 代理人	100091498 弁理士 渡邊 勇
		(74) 代理人	100092406 弁理士 堀田 信太郎
		(74) 代理人	100093942 弁理士 小杉 良二
		(74) 代理人	100109896 弁理士 森 友宏
		(74) 代理人	100118500 弁理士 廣澤 哲也

最終頁に続く

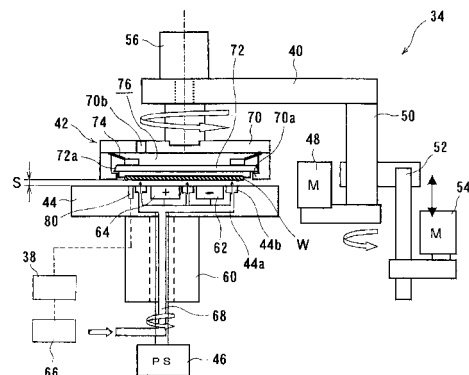
(54) 【発明の名称】 電解加工装置及び電解加工方法

(57) 【要約】

【課題】 被加工物表面の汚染や欠陥の発生を極力低減しつつ該表面をより平坦に加工できるようにする。

【解決手段】 被加工物Wに近接自在な加工電極6 2と、被加工物Wに給電する給電電極6 4と、加工電極6 2と給電電極6 4との間に電圧を印加する電源4 6と、被加工物Wと加工電極6 2または給電電極6 4の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部5 6, 6 0と、被加工物Wと加工電極6 2または給電電極6 4の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、被加工物Wと加工電極6 2または給電電極6 4の少なくとも一方との距離を検出する検出器8 0と、検出器8 0からの信号を基に被加工物Wと加工電極6 2または給電電極6 4の少なくとも一方との距離Sを1 0 0 μm以下で互いに非接触な所定値に制御する制御部3 8を有する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被加工物に近接自在な加工電極と、
 前記被加工物に給電する給電電極と、
 前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を検出する検出器と、
 前記検出器からの信号を基に前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を $100\ \mu\text{m}$ 以下で互いに非接触な所定値に制御する制御部を有することを特徴とする電解加工装置。 10

【請求項 2】

被加工物に近接自在な加工電極と、
 前記被加工物に給電する給電電極と、
 前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に配置されるイオン交換体と、
 前記被加工物と前記イオン交換体との距離を検出する検出器と、
 前記検出器からの信号を基に前記被加工物と前記イオン交換体との距離を $100\ \mu\text{m}$ 以下で互いに非接触な所定値に制御する制御部を有することを特徴とする電解加工装置。 20

【請求項 3】

前記被加工物を前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方に接離する方向に移動自在にフローティング支持する保持部を有することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の電解加工装置。 30

【請求項 4】

前記制御部は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される液体の圧力、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間の相対運動速度、または前記加工電極と前記給電電極との間に印加される電圧の少なくとも 1 つを制御することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項 5】

被加工物に近接自在な加工電極と、
 前記被加工物に給電する給電電極と、
 前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に配置される厚さが $100\ \mu\text{m}$ 以下の絶縁スペーサを有することを特徴とする電解加工装置。 40

【請求項 6】

被加工物に近接自在な加工電極と、
 前記被加工物に給電する給電電極と、 50

前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に配置されるイオン交換体と、
 前記被加工物と前記イオン交換体との間に配置される厚さが100 μm以下の絶縁スペーサを有することを特徴とする電解加工装置。

【請求項7】

前記絶縁スペーサは、多孔質材料からなることを特徴とする請求項5または6記載の電解加工装置。

【請求項8】

前記液体供給部は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に、液体の噴流が前記被加工物に衝突する方向、または側方の少なくとも一方から液体を供給することを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項9】

被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を100 μm以下で互いに非接触な所定値に保持しながら、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方を液体の存在下で相対運動させ、
 前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法。

【請求項10】

前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される液体の圧力により、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を100 μm以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項9記載の電解加工方法。

【請求項11】

前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間の相対運動で発生する液体の圧力により、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を100 μm以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項9記載の電解加工方法。

【請求項12】

被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、
 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置し、
 前記被加工物と前記イオン交換体との距離を100 μm以下で互いに非接触な所定値に保持しながら、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを液体の存在下で相対運動させ、
 前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法。

【請求項13】

前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に存在する液体の圧力により、前記被加工物と前記イオン交換体との距離を100 μm以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項12記載の電解加工方法。

【請求項14】

前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間の相対運動で発生する液体の圧力により、前記被加工物と前記イオン交換体との距離を100 μm以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項12記載の電解加工方法。

【請求項15】

前記相対運動は、回転運動、並進運動、直線運動、スクロール運動または往復運動のい

10

20

30

40

50

ずれか、またはそれらの組合せであり、相対運動速度は、 0.1 m/s 以上であることを特徴とする請求項 11 乃至 14 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 16】

被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、
前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に厚さが $100 \mu\text{m}$ 以下の絶縁スペーサを配置し、
前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを液体の存在下で前記絶縁スペーサに互いに接触させつつ相対運動させ、
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法。

【請求項 17】

被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、
前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置し、
前記被加工物と前記イオン交換体との間に厚さが $100 \mu\text{m}$ 以下の絶縁スペーサをイオン交換体に接触させて配置し、
前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方を液体の存在下で前記絶縁スペーサと前記イオン交換体に互いに接触させつつ相対運動させ、
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法。

【請求項 18】

前記絶縁スペーサは、多孔質材料からなることを特徴とする請求項 16 または 17 記載の電解加工方法。

【請求項 19】

前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に、液体の噴流が前記被加工物に衝突する方向、または側方の少なくとも一方から液体を供給することを特徴とする請求項 9 乃至 18 のいずれかに記載の電解加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電解加工装置及び電解加工方法に係り、特に半導体ウエハ等の基板の表面に形成された導電性材料を加工したり、基板の表面に付着した不純物を除去したりするのに使用される電解加工装置及び電解加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体ウエハ等の基板上に回路を形成するための配線材料として、アルミニウムまたはアルミニウム合金に代えて、電気抵抗率が低くエレクトロマイグレーション耐性が高い銅 (Cu) を用いる動きが顕著になっている。この種の銅配線は、基板の表面に設けた微細凹みの内部に銅を埋め込むことによって一般に形成される。この銅配線を形成する方法としては、化学気相成長法 (CVD)、スパッタリング及びめっきといった手法があるが、いずれにしても、基板のほぼ全表面に銅を成膜して、化学機械的研磨 (CMP) により不要の銅を除去するようにしている。

【0003】

図 1 (a) 乃至図 1 (c) は、この種の銅配線基板 W の一製造例を工程順に示す。先ず、図 1 (a) に示すように、半導体素子が形成された半導体基材 1 上の導電層 1a の上に SiO_2 からなる酸化膜や Low-k 材膜などの絶縁膜 2 が堆積され、リソグラフィ・エッチング技術によりコンタクトホール 3 と配線溝 4 が形成される。これらの上に TaN 等からなるバリア膜 5、更にその上に電解めっきの給電層としてのシード層 7 がスパッタリングや CVD 等により形成される。

【0004】

そして、基板 W の表面に銅めっきを施すことで、図 1 (b) に示すように、半導体基板 W のコンタクトホール 3 及び配線溝 4 内に銅を充填するとともに、絶縁膜 2 上に銅膜 6 を

10

20

30

40

50

堆積する。その後、化学機械的研磨（CMP）により、絶縁膜 2 上の銅膜 6、シード層 7 及びバリア膜 5 を除去して、コンタクトホール 3 及び配線溝 4 内に充填させた銅膜 6 の表面と絶縁膜 2 の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図 1（c）に示すように、絶縁膜 2 の内部に銅膜 6 からなる配線が形成される。

【0005】

最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の特性に与える影響は益々大きくなってきている。このような状況下においては、従来の機械加工のように、工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工方法では、加工によって被加工物に多くの欠陥を生み出してしまいうため、被加工物の特性が劣化してしまう。したがって、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

10

【0006】

この問題を解決する手段として開発された特殊加工法に、化学研磨や電解加工、電解研磨がある。これらの加工方法は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こすことによって、除去加工等を行うものである。したがって、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、上述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

【0007】

例えば、CMP工程は、一般にかなり複雑な操作が必要で、制御も複雑となり、加工時間もかなり長い。更に、研磨後の基板の後洗浄を十分に行う必要があるばかりでなく、スラリーや洗浄液の排液処理のための負荷が大きい等の課題がある。このため、CMP自体を省略もしくはこの負荷を軽減することが強く求められていた。また、今後、層間絶縁膜も誘電率の小さいLow-k材に変わると予想され、そのLow-k材は、機械的強度が弱くCMPによるストレスに耐えられなくなる。従って、基板にストレスを与えることなく、平坦化できるようにしたプロセスが望まれている。

20

【0008】

このような課題を解決する手段として、電解液として純水もしくは超純水のような電気抵抗の大きな液体を用い、電極と被加工物の間に、必要に応じて、液体中の水分子の水酸化物イオンと水素イオンへの解離反応を促進するイオン交換体を配置して加工を行うことで、被加工物に与える機械的ストレスをなくし、後洗浄も簡便な電解加工が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

30

【0009】

また、電解液を用いた電解加工（エッチング）において、被加工物と対向電極との距離を、特に10 μ m以下、例えば1 μ mに保ってエッチングを行うことで、処理後の被加工物表面の平坦性を向上させるようにしたもの（例えば、特許文献2参照）や、プラチナ電極とウエハ（基板）の表面との距離を1mm以下、好ましくは2000 μ mにし、プラチナ電極とウエハとの間に研磨パッド（厚み約200 μ m）をウエハ表面に接触させつつ介在させて、ウエハ表面を研磨するようにしたもの（例えば、特許文献3参照）等が提案されている。

40

【0010】

【特許文献1】特開2003-145354号公報

【特許文献2】特開2001-102356号公報

【特許文献3】国際公開第02/064314号パンフレット

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

半導体ウエハ等の基板の表面に形成した、表面に凹凸のある導電性膜、例えば図1（b）に示す配線溝等の内部に埋込んだ銅膜6の不要な部分を、電解液を用いた電解加工で除去するのに際し、代表的な問題に導電性膜表面の凹凸の平坦化が困難であることが挙げられる。これは、（1）被加工物と電極との間の距離が基板表面に形成した導電性膜表面の

50

凹凸段差よりも非常に大きいこと、(2)電解液の電気抵抗率が小さいこと、により導電性膜表面の凹部と凸部において、適切な加工速度差が得られないためである。また、特に基板等の被加工物と電極との間にイオン交換体が配置されている場合、一般にイオン交換体を被加工物表面に沿って摺動させながら電解加工が進行する。このため、このイオン交換体と被加工物表面との間の摺動に伴って、被加工物表面に欠陥が発生したり、イオン交換体が磨耗したりすることが問題となる。従って、電解加工を半導体ウエハ等の基板の表面に設けた導電性膜の除去に応用するには、このような問題を解決することが求められる。

【0012】

本発明は、上記事情に鑑みて為されたもので、被加工物表面の汚染や欠陥の発生を極力低減しつつ該表面をより平坦に加工できるようにした電解加工装置及び電解加工方法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0013】

請求項1に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と、前記被加工物に給電する給電電極と、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を検出する検出器と、前記検出器からの信号を基に前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に制御する制御部を有することを特徴とする電解加工装置である。

20

【0014】

被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に制御しつつ加工を行うことで、例えば半導体ウエハ等の基板の表面に形成された導電性膜の表面に、例えば段差が200nm程度の凹凸があっても、この凹凸段差の凹部と凸部で電気抵抗差、ひいては加工速度差を生じさせて、凹凸を平坦に加工することができる。この被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との距離は、50 μ m以下であることが好ましく、10 μ m以下、更には1 μ m以下であることがより好ましい。

30

【0015】

被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との距離を検出する検出器としては、例えば光学式(反射式)や渦電流式の距離センサが使用される。電解加工のエンドポイントを検出する、いわゆるエンドポイントセンサを備えている場合には、エンドポイントセンサにこの検出器としての役割を併用させても良く、この場合、導電性膜等の膜厚と、被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との距離とを単一のセンサ(エンドポイントセンサ)で同時に計測することができる。

【0016】

請求項2に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と、前記被加工物に給電する給電電極と、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に配置されるイオン交換体と、前記被加工物と前記イオン交換体との距離を検出する検出器と、前記検出器からの信号を基に前記被加工物と前記イオン交換体との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に制御する制御部を有することを特徴とする電解加工装置である。

40

【0017】

このように、イオン交換体を備えることで、液体中の水分子の水酸化物イオンと水素イオンへの解離反応を促進させることができる。また、被加工物とイオン交換体との距離を

50

100 μm以下で互いに非接触な所定値に制御しつつ加工を行うことで、例えば半導体ウエハ等の基板の表面に形成された導電性膜の表面に、例えば段差が200 nm程度の凹凸があっても、この凹凸段差の凹部と凸部で電気抵抗差、ひいては加工速度差を生じさせて凹凸を平坦化し、しかもイオン交換体と被加工物表面とを互いに摺動させることなく電解加工を行うことで、被加工物表面に欠陥が発生したり、イオン交換体が磨耗したりするのを防止することができる。この被加工物とイオン交換体との距離は、50 μm以下であることが好ましく、10 μm以下、更には1 μm以下であることがより好ましい。

【0018】

請求項3に記載の発明は、前記被加工物を前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方に接離する方向に移動自在にフローティング支持する保持部を有することを特徴とする請求項1または2記載の電解加工装置である。

10

これにより、電解加工の際に液体を介して被加工物に加えられる力の大きさに応じて、加工電極または前記給電電極の少なくとも一方に接離する方向に被加工物を容易に移動させることができる。被加工物と加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を調整することができる。

【0019】

請求項4に記載の発明は、前記制御部は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される液体の圧力、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間の相対運動速度、または前記加工電極と前記給電電極との間に印加される電圧の少なくとも1つを制御することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の電解加工装置である。

20

被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との間の相対運動速度を制御することで、この相対運動により発生するハイドロプレーニング現象による液体力(動圧)を介して、電解加工の際に液体を介して被加工物に加えられる力の大きさを制御することができる。

【0020】

イオン交換体を備えた電解加工装置で電解加工を行うと、被加工物とイオン交換体との間に吸着力が作用し、この吸着力は、加工電極と給電電極との間に印加する電圧に影響を受ける。このため、加工電極と給電電極との間に印加する電圧を制御することで、被加工物とイオン交換体との距離を、両者の間に作用する吸着力を介して制御することができる。

30

【0021】

請求項5に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と、前記被加工物に給電する給電電極と、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に配置される厚さが100 μm以下の絶縁スペーサを有することを特徴とする電解加工装置である。

【0022】

被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との間に厚さが100 μm以下の絶縁スペーサを配置することで、被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との距離を、互いに非接触な100 μm以下にすることができる。この絶縁スペーサの厚さは、50 μm以下であることが好ましく、10 μm以下、更には1 μm以下であることがより好ましい。

40

【0023】

請求項6に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と、前記被加工物に給電する給電電極と、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを相対運動させる駆動部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液

50

体供給部と、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に配置されるイオン交換体と、前記被加工物と前記イオン交換体との間に配置される厚さが100 μ m以下の絶縁スペーサを有することを特徴とする電解加工装置である。

【0024】

被加工物と加工電極または給電電極の少なくとも一方との間に配置されるイオン交換体と、被加工物との間に厚さが100 μ m以下の絶縁スペーサを配置することで、イオン交換体と被加工物との間の距離を、互いに非接触な100 μ m以下にすることができる。

【0025】

請求項7に記載の発明は、前記絶縁スペーサは、多孔質材料からなることを特徴とする請求項5または6記載の電解加工装置である。

10

これにより、絶縁スペーサの通水性を確保して、液体が絶縁スペーサ内部を流通するようにすることができる。

【0026】

請求項8に記載の発明は、前記液体供給部は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に、液体の噴流が前記被加工物に衝突する方向、または側方の少なくとも一方から液体を供給することを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載の電解加工装置である。

【0027】

前記液体は、超純水、純水または電気伝導度が500 μ S/cm以下の液体であることが好ましい。

20

超純水は、例えば電気伝導度(1atm, 25 \AA 換算、以下同じ)が0.1 μ S/cm以下の水であり、純水は、電気伝導度が10 μ S/cm以下の水である。電気伝導度が大きい液体を使用すると、距離比から生じる抵抗比は同じだが、液体の抵抗値そのものが小さくなり、このため、例えば表面に凹凸がある導電性膜における凹部と凸部での抵抗差は小さくなって、凹凸の選択性があまり得られない。一方、超純水や純水を使用すると、距離の違いによる抵抗差も大きいので、凹凸の選択性はより良くなる。このため、液体として、超純水、純水または電気伝導度が500 μ S/cm以下の液体を使用することが望ましい。

【0028】

請求項9に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に保持しながら、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方を液体の存在下で相対運動させ、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法である。

30

【0029】

請求項10に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される液体の圧力により、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項9記載の電解加工方法である。

【0030】

請求項11に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間の相対運動で発生する液体の圧力により、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項9記載の電解加工方法である。

40

【0031】

請求項12に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置し、前記被加工物と前記イオン交換体との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に保持しながら、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを液体の存在下で相対運動させ、前記加工電極と前記給電電極との間

50

に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法である。

【0032】

請求項13に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に存在する液体の圧力により、前記被加工物と前記イオン交換体との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項12記載の電解加工方法である。

【0033】

請求項14に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間の相対運動で発生する圧力により、前記被加工物と前記イオン交換体との距離を100 μ m以下で互いに非接触な所定値に保持することを特徴とする請求項13記載の電解加工方法である。

請求項15に記載の発明は、前記相対運動は、回転運動、並進運動、直線運動、スクロール運動または往復運動のいずれか、またはそれらの組合せであり、相対運動速度は、0.1m/s以上であることを特徴とする請求項11乃至14のいずれかに記載の電解加工方法である。

この相対運動速度は、1m/s以上であることが好ましく、2m/s以上であることが更に好ましい。

【0034】

請求項16に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に厚さが100 μ m以下の絶縁スペーサを配置し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方とを液体の存在下で前記絶縁スペーサに互いに接触させつつ相対運動させ、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法である。

【0035】

請求項17に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極を用意し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置し、前記被加工物と前記イオン交換体との間に厚さが100 μ m以下の絶縁スペーサをイオン交換体に接触させて配置し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方を液体の存在下で前記絶縁スペーサと前記イオン交換体に互いに接触させつつ相対運動させ、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加することを特徴とする電解加工方法である。

【0036】

請求項18に記載の発明は、前記絶縁スペーサは、多孔質材料からなることを特徴とする請求項16または17記載の電解加工方法である。

請求項19に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に、液体の噴流が前記被加工物に衝突する方向、または側方の少なくとも一方から液体を供給することを特徴とする請求項9乃至18のいずれかに記載の電解加工方法である。

【発明の効果】

【0037】

本発明によれば、例えば半導体ウエハ等の基板に設けた凹凸を有する導電性膜の表面を、該凹凸を解消しつつ平坦に加工することができる。また、特にイオン交換体を用いた場合に、イオン交換体と被加工物とを互いに摺動させることなく加工を行うことで、被加工物表面の欠陥の発生やイオン交換体の磨耗を抑制することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0038】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。なお、以下の説明では、被加工物として基板を使用し、基板の表面に形成した銅膜等の導電性膜を除去加工するようにした例を示しているが、本発明を基板以外にも適用できることは勿論である。

10

20

30

40

50

【0039】

図2は、本発明の実施の形態の電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。図2に示すように、この基板処理装置は、例えば、図1(b)に示す、表面に導電性膜(被加工部)としての銅膜6及びバリア膜5を有する基板Wを収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部30と、基板の1次洗浄を行う第1洗浄機31aと、基板の2次洗浄(仕上げ洗浄)を行う第2洗浄機31bと、基板Wを反転させる反転機32と、電解加工装置34とを備えている。これらの機器は、直列に配置されており、これらの機器の間で基板Wを搬送して授受する搬送装置としての搬送口ポット36がこれらの機器と平行に走行自在に配置されている。また、電解加工装置34を制御する制御部38がロード・アンロード部30に隣接して配置されている。

10

【0040】

図3は、電解加工装置34を模式的に示す縦断面図である。図3に示すように、電解加工装置34は、上下動可能かつ水平方向に揺動自在なアーム40と、アーム40の自由端に垂設され、表面を下向き(フェースダウン)して基板Wを着脱自在に保持する基板保持部42と、基板保持部42の下方に配置される円板状で絶縁体からなる電極部44と、電極部44の加工電極62及び給電電極64に接続される電源46を備えている。

【0041】

アーム40は、揺動用モータ48に連結された揺動軸50の上端に取付けられており、揺動用モータ48の駆動に伴って水平方向に揺動する。また、この揺動軸50は、上下方向に延びるボールねじ52に連結されており、ボールねじ52に連結された上下動用モータ54の駆動に伴ってアーム40と共に上下動する。

20

【0042】

基板保持部42は、基板保持部42で保持した基板Wと電極部44とを相対運動させる第1駆動部としての自転用モータ56に接続されており、この自転用モータ56の駆動に伴って回転(自転)する。また、上述したように、アーム40は、上下動及び水平方向に揺動可能となっており、基板保持部42は、アーム40と一体となって上下動及び水平方向に揺動する。電極部44は、基板Wと電極部44とを相対運動させる第2駆動部としての中空モータ60に接続されており、この中空モータ60の駆動に伴って、自転を行わない公転運動、いわゆるスクロール運動(並進回転運動)を行う。なお、中空モータ60の駆動に伴って、電極部44が、基板保持部42の回転中心から偏心した位置を回転中心とした回転(自転)運動を行うようにしてもよいことは勿論である。

30

【0043】

電極部44には、例えば扇状の複数の加工電極62と給電電極64が表面(上面)を露出させて交互に埋設されている。この例では、電極部44、加工電極62及び給電電極64が表面(上面)が面一となるようになっている。加工電極62は電源46の陰極に接続され、給電電極64は電源46の陽極に接続される。

【0044】

この実施の形態では、例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるので、電源46の陰極に接続した電極が加工電極62となり、電源46の陽極に接続した電極が給電電極64となって、この加工電極62と給電電極64が円周方向に沿って交互に配置されるようになっている。加工材料によっては、電源46の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極に接続される電極を加工電極としてもよい。すなわち、被加工材料が、例えば銅、モリブデンまたは鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源46の陰極に接続した電極が加工電極62となり、陽極に接続した電極が給電電極64となる。一方、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源46の陽極に接続した電極が加工電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となる。

40

【0045】

被加工部が錫酸化物やインジウム錫酸化物(ITO)などの導電性酸化物の場合には、被加工部を還元した後に、電解加工を行う。すなわち、図3において、電源46の陽極に

50

接続した電極が還元電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となるようにして、導電性酸化物の還元を行う。続いて、先程給電電極であった電極を加工電極として、還元された導電性酸化物の加工を行う。あるいは、導電性酸化物の還元時の極性を反転させることによって還元電極を加工電極にしてもよい。また被加工物を陰極にして、陽極電極を対向させることによって導電性酸化物の除去加工ができる。

【0046】

なお、この例では、基板の表面に形成した導電性膜としての銅膜6やバリア膜5を電解加工するようにしているが、基板の表面に成膜乃至付着した不要なルテニウム(Ru)膜も同様にして、すなわちルテニウム膜を陽極となし、陰極に接続した電極を加工電極として、電解加工(エッチング除去)することができる。

10

【0047】

このように、加工電極62と給電電極64とを円周方向に沿って交互に設けることで、基板Wの導電性膜(被加工部)に給電を行う給電部を設ける必要がなくなり、基板Wの全面の加工が可能となる。また、電圧、電流の印加方式としては、直流入力の他に、矩形波、パルス、サイン波入力でもよい。矩形波入力の場合、電圧、電流の入力は、正と負、正とゼロの矩形波であり、デューティ比は加工対象により任意で設定する。

【0048】

ここで、加工電極62及び給電電極64は、電解反応により、酸化または溶出が一般に問題となる。このため、電極の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的不活性な貴金属、導電性酸化物または導電性セラミックスを使用することが好ましい。この貴金属を素材とした電極としては、例えば、下地の電極素材にチタンを用い、その表面にめっきやコーティングで白金またはイリジウムを付着させ、高温で焼結して安定化と強度を保つ処理を行ったものが挙げられる。セラミックス製品は、一般に無機物質を原料として熱処理によって得られ、各種の非金属・金属の酸化物・炭化物・窒化物などを原料として、様々な特性を持つ製品が作られている。この中に導電性を持つセラミックスもある。電極が酸化すると電極の電気抵抗値が増加し、印加電圧の上昇を招くが、このように、白金などの酸化しにくい材料やイリジウムなどの導電性酸化物で電極表面を保護することで、電極素材の酸化による導電性の低下を防止することができる。

20

【0049】

電極部44の加工電極62及び給電電極64を囲む位置には、電極部44の内部に設けた液体流路44aに連通する液体供給孔44bが設けられ、液体流路44aは、ポンプ等の液体加圧部を有する液体供給源66から延び、中空モータ60の中空部の内部を貫通する液体供給管68に接続されている。これによって、液体供給源66から所定の圧力で供給される液体、好ましくは純水、更に好ましくは超純水を、液体供給管68及び液体流路44aを通過させ、液体供給孔44bから上方に向けて噴出して、液体を電極部44の上面の基板保持部42で保持した基板Wとの間に供給する液体供給部が構成されている。なお、本発明における加工液は、図示されるように複数の電極の間に設けられた供給孔から供給する場合や、電極自体に設けられた供給孔から供給する場合、電極部外から供給する場合などもある。

30

【0050】

基板保持部42は、下方に開口した円筒状のハウジング70と、基板Wを吸着等で着脱自在に保持する円板状のチャッキングプレート72を有している。このチャッキングプレート72は、この下面に基板Wを保持した時、この基板Wの下面がハウジング70の下面がなす平面より下方に位置するようにハウジング70の内部に収納されている。そして、ハウジング70の下端には内方に突出する爪部70aが、チャッキングプレート72の上部には大径のフランジ部72aがそれぞれ設けられ、このフランジ部72aを爪部70aに係止させることで、チャッキングプレート72のハウジング70からの脱出が防止される。

40

【0051】

チャッキングプレート72の上面周縁部には、一端をハウジング70の内周面に気密的

50

に固着した円錐状のゴム等からなる弾性体 74 の他端が気密的に固着され、これによって、ハウジング 70、チャッキングプレート 72 及び弾性体 74 で囲まれた空気室 76 が区画形成されている。ハウジング 70 の天井壁には、空気室 76 内に空気を導入する空気導入孔 70b が設けられている。これによって、チャッキングプレート 72 は、空気室 76 内に導入された空気圧によって下方に押圧され、この状態で、チャッキングプレート 72 で保持した基板 W に基板 W を上方へ浮上させる浮上力が作用し、この浮上力がチャッキングプレート 72 を下方に押圧する押圧力より大きくなると、チャッキングプレート 72 のフランジ部 72a がハウジング 70 の爪部 70a を離されて、チャッキングプレート 72 はフローティングした状態となる。しかもこのチャッキングプレート 72 の浮上位置は、基板 W を上方へ浮上させる浮上力の大きさに応じて上下動する。

10

【0052】

電極部 44 の内部に位置して、基板保持部 42 で保持した基板 W の表面（下面）と電極部 44 内に埋設した加工電極 62 及び給電電極 64 の表面（上面）との距離 S を検出する検出器 80 が設けられている。この検出器 80 としては、例えば基板 W の表面で反射するレーザ光を受光して基板 W との距離を検出する光学式（反射式）の距離センサや、基板 W の表面（導電性膜）に渦電流を生じさせて基板 W との距離を検出する渦電流式の距離センサが使用される。

【0053】

なお、電解加工の際のエンドポイントを検出する、いわゆるエンドポイントセンサを備えている場合には、エンドポイントセンサに検出器 80 としての役割を併用させても良い。この場合、導電性膜等の膜厚と、基板保持部 42 で保持した基板 W の下面と加工電極 62 及び給電電極 64 の上面との距離 S とを単一のセンサ（エンドポイントセンサ）で同時に計測することができる。

20

【0054】

この検出器 80 からの出力は制御部 38 に入力され、この制御部 38 からの出力は、液体供給源 66 に入力されて液体供給源 66 のポンプ等の液体加圧部がフィードバック制御される。この例では、電解加工中に、液体供給源 66 から電極部 44 と基板保持部 42 で保持した基板 W との間に供給される液体の圧力を調整することで、加工電極 62 及び給電電極 64 の上面と基板保持部 42 で保持した基板 W との距離 S が、互いに非接触で 100 μm 以下の所定値となるようにしている。この距離 S は、50 μm 以下であることが好ましく、10 μm 以下、更には 1 μm 以下であることがより好ましい。

30

【0055】

つまり、電極部 44 と基板保持部 42 のチャッキングプレート 72 で保持した基板 W との間に所定の圧力の液体を供給しつつ電解加工を行いながら、基板 W の下面と加工電極 62 及び給電電極 64 の上面との距離 S を検出器 80 で検出する。そして、この距離 S が、例えば 1 μm 以下の所定値より小さい場合には、液体供給源 66 から供給される液体の圧力を増大させてチャッキングプレート 72 のフローティング位置を上昇させ、大きい場合には、液体供給源 66 から供給される液体の圧力を減少させてチャッキングプレート 72 のフローティング位置を下降させる。これによって、電解加工中、基板 W の下面と加工電極 62 及び給電電極 64 の上面との距離 S が、常に、例えば 1 μm 以下の所定値となるようにする。

40

【0056】

次に、この基板処理装置を用いた基板処理（電解加工）について説明する。まず、例えば、図 1（b）に示すように、表面に導電性膜（被加工部）として銅膜 6 及びシード層 7 を形成した基板 W を収納したカセットをロード・アンロード部 30 にセットし、このカセットから 1 枚の基板 W を搬送口ポット 36 で取出す。搬送口ポット 36 は、取出した基板 W を必要に応じて反転機 32 に搬送し、基板 W の導電性膜（銅膜 6）を形成した表面が下を向くように反転させる。

【0057】

搬送口ポット 36 は、反転させた基板 W を受け取って電解加工装置 34 に搬送し、基板

50

保持部 4 2 のチャッキングプレート 7 2 により保持させる。この時、基板保持部 4 2 の空気室 7 6 内に、所定の圧力の空気を導入して封入し、これによって、チャッキングプレート 7 2 を所定の圧力で下方に押圧する。この状態で、アーム 4 0 を移動させて基板 W を保持した基板保持部 4 2 を電極部 4 4 の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ 5 4 を駆動して基板保持部 4 2 を下降させ、このチャッキングプレート 7 2 で保持した基板 W を加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 の表面に接触乃至近接させる。

【 0 0 5 8 】

次に、液体供給源 6 6 から所定の圧力の液体を電極部 4 4 と基板 W との間に供給し、この時に液体供給孔 4 4 b から基板 W に向けて噴出され基板 W に作用する液体の圧力でチャッキングプレート 7 2 をフローティングさせながら、基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 との距離 S を検出器 8 0 で検出し、この距離 S が、例えば 1 μ m 以下の所定値となるように、液体供給源 6 6 から供給される液体の圧力を調整する。

10

【 0 0 5 9 】

基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 との距離 S を、例えば 1 μ m 以下の所定値とした状態で、必要に応じて、自転用モータ 5 6 を駆動して基板 W を回転させ、同時に中空モータ 6 0 を駆動して電極部 4 4 をスクロール運動させることで、基板保持部 4 2 で保持した基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 とを相対運動させ、同時に、電源 4 6 により加工電極 6 2 と給電電極 6 4 との間に所定の電圧を印加する。これによって、液体中の水分子の解離によって生じた水酸化物イオンまたは水素イオンによって、加工電極（陰極）6 2 において、基板 W の表面の導電性膜（銅膜 6）の電解加工を行う。電解加工中、基板 W の下面と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 の上面との距離 S を検出器 8 0 で検出し、この距離 S が、常に、例えば 1 μ m 以下の所定値となるように、液体供給源 6 6 から供給される液体の圧力を調整する。

20

【 0 0 6 0 】

ここで、図 4 に示すように、基板保持部 4 2 で保持した基板 W を、加工電極 6 2 との距離 S が 10 μ m 以下、好ましくは、数 μ m ~ 数百 nm オーダとなるまで、可能な限り加工電極 6 2 に接触させることなく近接させた状態で電解加工を行うことが、基板 W の表面の、銅膜 6（図 1（b）参照）等の導電性膜表面の段差を解消する上で好ましい。すなわち、例えば、図 1（b）に示す、半導体ウエハ等の基板 W の表面に形成した導電性膜として銅膜 6 の表面には、図 4 に示すように、通常 200 nm 程度の数百 nm オーダの凹凸段差 T がある。このため、例えば銅膜 6 の表面と加工電極 6 2 との距離 S が、例えば 1 mm 程度であると、凹凸段差 T に対して極端に大きくなり、電気抵抗は距離に比例するが、銅膜 6 の表面の凹部底部から加工電極 6 2 までの距離 R_1 と、凸部頂端から加工電極 6 2 までの距離 R_2 が実質的に同じになってしまい、銅膜 6 の凸部のみを優先的に除去することが困難となる。しかし、銅膜 6 の表面と加工電極 6 2 との距離 S が、例えば 1 μ m の場合には、凹凸段差 T に対して小さくなり、銅膜 6 の凸部先端を優先的に加工し、加工量の増加に伴って残留段差をより小さくして、銅膜 6 の表面をより平坦に加工することができる。

30

【 0 0 6 1 】

図 5 は、被加工物（基板）と電極（加工電極）との距離 S を、50 μ m、10 μ m、1 μ m 及び 1 mm と変化させ、液体として超純水を使用して電解加工（研磨）を行った時の、残留段差と加工量の関係を示す。この図 5 から、被加工物（基板）と電極（加工電極）との距離 S が 1 mm の時は初期凹凸が殆ど解消されず、この距離 S を 50 μ m とすることで、初期凹凸を解消する効果が現れ、この距離 S を 1 μ m とすることで、理想直線に近づくことが判る。

40

【 0 0 6 2 】

一般的に、銅配線を形成するために半導体ウエハ等の基板に成膜した銅膜表面の初期凹凸段差は、200 nm 前後であることが多いので、上記の考察及び実験から、銅膜 6 の表面と加工電極 6 2 の距離 S は、一般には 100 μ m 程度で、50 μ m 以下であることが好ましく、10 μ m 以下、更には 1 μ m 以下であることがより好ましい。

【 0 0 6 3 】

50

この時、加工電極 6 2 と給電電極 6 4 との間に印加する電圧、またはこの間を流れる電流を制御部 3 8 でモニタして、エンドポイント（加工終点）を検知する。つまり、同じ電圧（電流）を印加した状態で電解加工を行うと、材料によって流れる電流（印加される電圧）に違いが生じる。例えば、図 6（a）に示すように、表面に材料 B と材料 A とを順次成膜した基板 W の該表面に電解加工を施した時に流れる電流をモニタすると、材料 A を電解加工している間は一定の電流が流れるが、異なる材料 B の加工に移行する時点で流れる電流が変化する。同様に、加工電極 6 2 と給電電極 6 4 との間に印加される電圧にあっても、図 6（b）に示すように、材料 A を電解加工している間は一定の電圧が印加されるが、異なる材料 B の加工に移行する時点で印加される電圧が変化する。なお、図 6（a）は、材料 B を電解加工する時の方が、材料 A を電解加工する時よりも電流が流れにくくなる場合を、図 6（b）は、材料 B を電解加工する時の方が、材料 A を電解加工するときよりも電圧が高くなる場合の例を示している。これにより、この電流または電圧の変化をモニタすることでエンドポイントを確実に検知することができる。

10

20

30

40

【0064】

なお、この例では、制御部 3 8 で加工電極 6 2 と給電電極 6 4 との間に印加する電圧、またはこの間を流れる電流をモニタして加工終点を検知するようにした例を示しているが、この制御部 3 8 で、加工中の基板の状態の変化をモニタして、任意に設定した加工終点を検知するようにしてもよい。この場合、加工終点は、被加工面の指定した部位について、所望の加工量に達した時点、若しくは加工量と相関関係を有するパラメータついて、所望の加工量に相当する量に達した時点を目指す。このように、加工の途中においても、加工終点を任意に設定して検知できるようにすることで、多段プロセスでの電解加工が可能となる。

【0065】

例えば、基板が異材料に達したときに生じる摩擦係数の違いによる摩擦力の変化や、基板の表面の凹凸を平坦化する際、凹凸を除去したことにより生じる摩擦力の変化等を検出することで加工量を判断し、加工終点を検出することとしてもよい。また、被加工面の電気抵抗による発熱や、加工面と被加工面との間に液体（純水）の中を移動するイオンと水分子の衝突による発熱が生じ、例えば基板の表面に堆積した銅膜を定電圧制御で電解研磨する際には、電解加工が進み、バリア膜や絶縁膜が露出するのに伴って、電気抵抗が大きくなり電流値が小さくなって発熱量が順に減少する。したがって、この発熱量の変化を検出することで加工量を判断し、加工終点を検出することとしてもよい。あるいは、異材料に達した時に生じる反射率の違いによる反射光の強度の変化を検出して、基板上の被加工膜の膜厚を検知し、これにより加工終点を検出してもよい。

【0066】

また、銅膜等の導電性膜の内部に渦電流を発生させ、基板の内部を流れる渦電流をモニタし、例えば周波数やインピーダンスの変化を検出して、基板上の被加工膜の膜厚を検知し、これにより加工終点を検出してもよい。更に、電解加工にあっては、加工電極と給電電極との間を流れる電流値で加工レートが決まり、加工量は、この電流値と加工時間の積で求められる電気量に比例する。したがって、電流値と加工時間の積で求められる電気量を積算し、この積算値が所定の値に達したことを検出することで加工量を判断し、加工終点を検出してもよい。

【0067】

電解加工完了後、電源 4 6 と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 との接続を切り、基板保持部 4 2 と電極部 4 4 の回転を停止させ、更に、電極部 4 4 と基板 W との間への液体の供給を停止する。しかる後、基板保持部 4 2 を上昇させ、アーム 4 0 を移動させて基板 W を搬送口ポット 3 6 に受渡す。基板 W を受け取った搬送口ポット 3 6 は、必要に応じて反転機 3 2 に搬送して反転させ、第 1 洗浄機 3 1 a に搬送して基板の 1 次洗浄を、第 2 洗浄機 3 1 b に搬送して基板の 2 次洗浄（仕上げ洗浄）を、順次行って乾燥させ、乾燥後の基板 W をロード・アンロード部 3 0 のカセットに戻す。

【0068】

50

ここで、電解加工中に基板Wと電極部44との間に供給する液体として、電気伝導度が大き過ぎるものを使用すると、距離比から生じる抵抗比は同じであるものの、抵抗値そのものが小さくなる。このため、距離の違いによる抵抗差は小さくなり、例えば凹凸を有する導電性膜の表面を、該凹凸を解消しつつ平坦に加工することが困難となる。このため、この液体として、純水または超純水を使用することが好ましい。純水は、例えば電気伝導度が $10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水または超純水を使用して電解加工を行うことで、基板Wの表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。しかも、液体として、電気伝導度が小さい純水または超純水を使用することで、距離の違いによる抵抗差を大きくして、例えば凹凸を有する導電性膜の表面を、該凹凸を解消しつつ平坦に加工することができる。

10

【0069】

純水または超純水の代わりに、電気伝導度 $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体、例えば純水または超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。電解液を使用することで、電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。この電解液としては、例えば、 NaCl や Na_2SO_4 等の中性塩、 HCl や H_2SO_4 等の酸、更には、アンモニア等のアルカリなどの溶液を使用することができ、被加工物の特性によって適宜選択して使用することができる。

【0070】

更に、純水または超純水の代わりに、純水または超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10\ \text{M}\cdot\text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよい。このように、純水または超純水に界面活性剤を添加することで、基板Wと加工電極62の界面にイオンの移動を防ぐ様な抑制作用を有する層を形成し、これによって、イオン交換（金属の溶解）の集中を緩和して被加工面の平坦性を向上させることができる。ここで、界面活性剤濃度は、 $100\ \text{ppm}$ 以下が好ましい。

20

【0071】

図7は、本発明の他の実施の形態の電解加工装置34aを示す。図7に示す電解加工装置34aの図4に示す電解加工装置34と異なる点は、以下の通りである。すなわち、図7に示す電解加工装置34aは、液体供給部として、電極部44の上方に配置され、基板保持部42の側方から電極部44と基板保持部42で保持した基板Wとの間に液体を供給する液体供給ノズル82を備えたものを使用している。そして、検出器80から制御部38に入力された信号を自転用モータ56及び中空モータ60にフィードバックして自転用モータ56及び中空モータ60の回転速度を制御し、これによって、基板保持部42で保持した基板Wと電極部44に埋設した加工電極62及び給電電極64の相対運動速度を調整するようにしている。自転用モータ56及び中空モータ60の回転速度の一方のみを制御するようにしてもよい。

30

【0072】

この例は、電極部44と基板保持部42で保持した基板Wとの間の相対運動によって、この間に存在する液体に発生するハイドロプレーニング現象による液体力（動圧）を介して、つまり、電極部44と基板保持部42で保持した基板Wとの間の相対運動速度を変えることによって、電解加工の際に液体を介して基板Wに加えられる力の大きさを調整するようにしている。

40

【0073】

つまり、電極部44と基板保持部42のチャッキングプレート72で保持した基板Wとの間に液体供給ノズル（液体供給部）82から液体を供給しつつ両者を相対運動させて電解加工を行いながら、基板Wの下面と加工電極62及び給電電極64の上面との距離Sを検出器80で検出する。そして、この距離Sが、例えば $1\ \mu\text{m}$ 以下の所定値より小さい場合には、電極部44と基板Wとの相対運動速度を増大させてチャッキングプレート72のフローティング位置を上昇させ、大きい場合には、電極部44と基板Wとの相対運動速

50

度を減少させてチャッキングプレート72のフローティング位置を下降させる。これによって、電解加工中、基板Wの下面と加工電極62及び給電電極64の上面との距離Sが、常に、例えば1 μ m以下の所定値となるようにする。

【0074】

この例にあっては、前述と同様に、チャッキングプレート72で保持した基板Wを加工電極62及び給電電極64の表面に接触乃至近接させる。この時、電極部44と基板Wとの間への液体供給ノズル(液体供給部)82からの液体の供給を開始する。そして、自転用モータ56及び中空モータ60を回転させて電極部44と基板Wとを相対運動させ、この時に基板Wに作用する液体圧(動圧)でチャッキングプレート72をフローティングさせながら、基板Wと加工電極62及び給電電極64との距離Sを検出器80で検出し、この距離Sが、例えば1 μ m以下の所定値となるように、自転用モータ56及び中空モータ60の回転速度を調整する。

10

【0075】

基板Wと加工電極62及び給電電極64との距離Sを、例えば1 μ m以下の所定値とした状態で、電源46により加工電極62と給電電極64との間に所定の電圧を印加する。これによって、液体中の水分子の解離によって生じた水酸化物イオンまたは水素イオンによって、加工電極(陰極)62において、基板Wの表面の導電性膜(銅膜6)の電解加工を行う。電解加工中、基板Wの下面と加工電極62及び給電電極64の上面との距離Sを検出器80で検出し、この距離Sが、常に、例えば1 μ m以下の所定値となるように、自転用モータ56及び中空モータ60の回転速度を調整する。

20

【0076】

この基板Wと加工電極62及び給電電極64との相対運動速度は、一般的には0.1m/s以上で、1m/s以上であることが好ましく、2m/s以上であることが更に好ましい。

【0077】

図8は、本発明の更に他の実施の形態の電解加工装置34bを示す。この図8に示す電解加工装置34bの図3に示す電解加工装置34と異なる点は、電極部44の表面に、加工電極62及び給電電極64の表面を一体に覆う膜状のイオン交換体84を取付け、電解加工中に、検出器80でイオン交換体84の表面(上面)と基板Wの表面(下面)との距離Sを検出して、このイオン交換体84と基板Wとの距離Sを調整するようにした点にある。このイオン交換体84の各液体供給孔44bに対応する位置には、各液体供給孔44bから噴出される液体の流れが基板Wに直接当たるように、貫通孔が設けられている。

30

【0078】

このように、基板Wと加工電極62及び給電電極64との間にイオン交換体84を位置させることで、加工速度を大幅に向上させることができる。つまり、液体として超純水を使用した超純水電気化学的加工は、超純水中の水酸化物イオンと被加工材料との化学的相互作用によるものである。しかし、超純水中に含まれる反応種である水酸化物イオン濃度は、常温・常圧状態で 10^{-7} mol/Lと微量であるため、除去加工反応以外の反応(酸化膜形成等)による除去加工効率の低下が考えられる。このため、除去加工反応を高効率で行うためには、水酸化物イオンを増加させる必要がある。そこで、水酸化物イオンを増加させる方法として、触媒材料により超純水の解離反応を促進させる方法があり、その有力な触媒材料としてイオン交換体が挙げられる。具体的には、イオン交換体中の官能基と水分子との相互作用により水分子の解離反応に関する活性化エネルギーを低下させる。これによって、水の解離を促進させて、加工速度を向上させることができる。

40

【0079】

ここで、イオン交換体84としては、通水性に優れたものを使用することがより好ましい。純水や超純水等をイオン交換体84内を通過するように流すことで、水の解離反応を促進させる官能基(強酸性陽イオン交換材料ではスルホン酸基)に十分な水を供給して水分子の解離量を増加させ、水酸化物イオン(もしくはOHラジカル)との反応により発生した加工生成物(ガスも含む)を水の流れにより除去して、加工効率を高めることができ

50

る。

【0080】

イオン交換体84は、例えば、アニオン交換基またはカチオン交換基を付与した不織布等で構成することができる。カチオン交換基は、好ましくは強酸性カチオン交換基（スルホン酸基）を担持したものであるが、弱酸性カチオン交換基（カルボキシル基）を担持したものでよい。また、アニオン交換基は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（4級アンモニウム基）を担持したものであるが、弱塩基性アニオン交換基（3級以下のアミノ基）を担持したものでよい。

【0081】

ここで、例えば強塩基アニオン交換基を付与した不織布は、繊維径20～50μmで空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖をアミノ化して第4級アンモニウム基を導入して作製される。導入されるイオン交換基の容量は、導入するグラフト鎖の量により決定される。グラフト重合を行うためには、例えばアクリル酸、スチレン、メタクリル酸グリシジル、更にはスチレンスルホン酸ナトリウム、クロロメチルスチレン等のモノマーを用い、これらのモノマー濃度、反応温度及び反応時間を制御することで、重合するグラフト量を制御することができる。したがって、グラフト重合前の素材の重量に対し、グラフト重合後の重量の比をグラフト率と呼ぶが、このグラフト率は、最大で500%が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で5meq/gが可能である。

【0082】

強酸性カチオン交換基を付与した不織布は、上記強塩基性アニオン交換基を付与する方法と同様に、繊維径20～50μmで空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖を、例えば加熱した硫酸で処理してスルホン酸基を導入して作製される。また、加熱したリン酸で処理すればリン酸基が導入できる。ここでグラフト率は、最大で500%が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で5meq/gが可能である。

【0083】

なお、イオン交換体84の素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、またはその他、ポリウレタン等の有機高分子が挙げられる。また素材形態としては、不織布の他に、織布、シート、多孔質材、短繊維等が挙げられる。ここで、ポリエチレンやポリプロピレンは、放射線（線と電子線）を先に素材に照射する（前照射）ことで、素材にラジカルを発生させ、次にモノマーと反応させてグラフト重合することができる。これにより、均一性が高く、不純物が少ないグラフト鎖ができる。一方、その他の有機高分子は、モノマーを含浸させ、そこに放射線（線、電子線、紫外線）を照射（同時照射）することで、ラジカル重合することができる。この場合、均一性に欠けるが、ほとんどの素材に適用できる。

【0084】

このように、イオン交換体84をアニオン交換基またはカチオン交換基を付与した不織布で構成することで、純水または超純水や電解液等の液体が不織布の内部を自由に移動して、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することが可能となって、多くの水分子が水素イオンと水酸化物イオンに解離される。更に、解離によって生成した水酸化物イオンが純水または超純水や電解液等の液体の移動に伴って効率良く運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

【0085】

ここで、イオン交換体84をアニオン交換基またはカチオン交換基の一方を付与したもののみで構成すると、電解加工できる被加工材料が制限されるばかりでなく、極性により不純物が生成しやすくなる。そこで、アニオン交換基を有するアニオン交換体とカチオン交換基を有するカチオン交換体とを重ね合わせたり、イオン交換基自体にアニオン交換

10

20

30

40

50

基とカチオン交換基の双方の交換基を付与するようにしたりしてもよく、これにより、被加工材料の範囲を拡げるとともに、不純物を生成しにくくすることができる。

【0086】

この例にあっては、電解加工中に、液体供給源66から電極部44と基板保持部42で保持した基板Wとの間に供給される液体の圧力を調整することで、イオン交換体84の上面と基板保持部42で保持した基板Wとの距離Sが、互いに非接触で100 μ m以下の所定値となるようにする。この距離Sは、50 μ m以下であることが好ましく、10 μ m以下、更には1 μ m以下であることがより好ましい。

【0087】

これにより、例えば半導体ウエハ等の基板の表面に形成された導電性膜の表面に、例えば段差が200nm程度の凹凸があっても、この凹凸段差の凹部と凸部で電気抵抗差、ひいては加工速度差を生じさせて凹凸を平坦化し、しかもイオン交換体84と基板Wの表面とを互いに摺動させることなく電解加工を行うことで、基板Wの表面に欠陥が発生したり、イオン交換体84が磨耗したりするのを防止することができる。

【0088】

図9は、本発明の他の実施の形態の電解加工装置34cを示す。この図9に示す電解加工装置34cの図7に示す電解加工装置34aと異なる点は、電極部44の表面に、加工電極62及び給電電極64の表面を一体に覆う膜状のイオン交換体84を取付け、電解加工中に、検出器80でイオン交換体84の表面(上面)と基板Wの表面(下面)との距離Sを検出して、このイオン交換体84と基板Wとの距離Sを調整するようにした点にある。

【0089】

つまり、この例にあっては、電解加工中に、自転用モータ56及び中空モータ60の少なくとも一方の回転速度を調整し、基板保持部42で保持した基板Wと電極部44に埋設した加工電極62及び給電電極64との相対運速度を調整することで、イオン交換体84の上面と基板保持部42で保持した基板Wとの距離Sが、互いに非接触で100 μ m以下の所定値となるようにする。この距離Sは、50 μ m以下であることが好ましく、10 μ m以下、更には1 μ m以下であることがより好ましい。

【0090】

図8及び図9に示す例のように、基板Wと加工電極62及び給電電極64との間にイオン交換体84を配置して電解加工を行うと、基板Wとイオン交換体84との間に吸着力が作用し、この吸着力は、加工電極62と給電電極64との間に印加する電圧に影響を受ける。このため、液体供給源66から電極部44と基板保持部42で保持した基板Wとの間に供給される液体の圧力を調整したり、基板保持部42で保持した基板Wと電極部44に埋設した加工電極62及び給電電極64との相対運速度を調整したりすることに代えて、またはこれらと併用して、加工電極62と給電電極64との間に印加する電圧を制御することで、イオン交換体84の上面と基板保持部42で保持した基板Wとの距離Sが、互いに非接触で100 μ m以下の所定値となるようにしてもよい。この距離Sは、50 μ m以下であることが好ましく、10 μ m以下、更には1 μ m以下であることがより好ましい。被加工物とイオン交換体との距離を制御することができる。

【0091】

上記の各例にあっては、基板Wと加工電極62及び給電電極64との距離S、または基板Wと加工電極62及び給電電極64の表面を覆うイオン交換体84との距離Sを検出器80で検出するようにしているが、事前に校正曲線を作っておくことにより、検出器を不要となすようにしてもよい。この場合、基板と加工電極及び給電電極との距離、または基板とイオン交換体との距離は、基板に作用する液体圧または相対運動によって液体に発生する動圧から、基板の自重及び基板保持部の自重を差し引き、必要に応じて、基板Wとイオン交換体との間に作用する吸着力を更に差し引くことによって求められる。

【0092】

図10は、本発明の更に他の実施の形態の電解加工装置34dを示す。この実施の形態

の電解加工装置 3 4 d の図 7 に示す電解加工装置 3 4 a と異なる点は、基板保持部 4 2 として、チャッキングプレート等を使用することなく、その下面で基板 W を直接的に吸着等で保持するようにしたものを使用し、更に、電極部 4 4 の表面に、加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 を一体に覆う、厚さ t が $100\ \mu\text{m}$ 以下の絶縁スペーサ 8 6 を取付けることによって、自転用モータ 5 6 や中空モータ 6 0 の回転速度の制御等を行わないようにした点にある。この絶縁スペーサ 8 6 の厚さ t は、 $50\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $10\ \mu\text{m}$ 以下、更には $1\ \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。

【0093】

この例にあっては、基板保持部 4 2 で保持した基板 W の表面（下面）を絶縁スペーサ 8 6 の表面（上面）に常に接触させた状態で、電極部 4 4 と基板 W との間に液体を供給しつつ、自転用モータ 5 6 及び中空モータ 6 0 を駆動して基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 とを相対運動させ、更に加工電極 6 2 と給電電極 6 4 との間に電圧を印加して電解加工を行う。これにより、基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 との距離 S が、自転用モータ 5 6 や中空モータ 6 0 の回転速度の制御等を行うことなく、常に絶縁スペーサ 8 6 の厚さ t と等しく（ $t = S$ ）、 $100\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $50\ \mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $10\ \mu\text{m}$ 以下、更には $1\ \mu\text{m}$ 以下となる。

10

【0094】

このように、基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 との距離 S を $100\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $50\ \mu\text{m}$ 以下、更には好ましくは $10\ \mu\text{m}$ 以下、更には $1\ \mu\text{m}$ 以下とすることで、例えば半導体ウエハ等の基板に設けた凹凸を有する導電性膜の表面を、該凹凸を解消しつつ平坦に加工することができる。

20

【0095】

絶縁スペーサ 8 6 は、多孔質材料からなることが好ましく、これにより、絶縁スペーサ 8 6 の通水性を確保して、超純水や純水等の液体が絶縁スペーサ 8 6 の内部を流通するようにすることができる。

【0096】

図 1 1 は、本発明の更に他の実施の形態の電解加工装置 3 4 e を示す。この実施の形態の電解加工装置 3 4 e の図 1 0 に示す電解加工装置 3 4 d と異なる点は、電極部 4 4 の表面に、加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 を一体に覆うイオン交換体 8 4 を取付け、このイオン交換体 8 4 の表面（上面）に絶縁スペーサ 8 6 を取付けた点にある。

30

【0097】

この例にあっては、基板保持部 4 2 で保持した基板 W の表面（下面）を絶縁スペーサ 8 6 の表面（上面）に常に接触させた状態で、電極部 4 4 と基板 W との間に液体を供給しつつ、自転用モータ 5 6 及び中空モータ 6 0 を駆動して基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 とを相対運動させ、更に加工電極 6 2 と給電電極 6 4 との間に電圧を印加して電解加工を行う。これにより、基板 W とイオン交換体 8 4 との距離 S が、自転用モータ 5 6 や中空モータ 6 0 の回転速度の制御等を行うことなく、常に絶縁スペーサ 8 6 の厚さ t と等しく（ $t = S$ ）、 $100\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $50\ \mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $10\ \mu\text{m}$ 以下、更には $1\ \mu\text{m}$ 以下となる。

【0098】

このように、基板 W とイオン交換体 8 4 との距離 S を $100\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $50\ \mu\text{m}$ 以下、更には好ましくは $10\ \mu\text{m}$ 以下、更には $1\ \mu\text{m}$ 以下とすることで、例えば半導体ウエハ等の基板に設けた凹凸を有する導電性膜の表面を、該凹凸を解消しつつ平坦に加工し、しかも、しかもイオン交換体 8 4 と基板 W の表面とを互いに摺動させることなく電解加工を行うことで、基板 W の表面に欠陥が発生したり、イオン交換体 8 4 が磨耗したりするのを防止することができる。

40

【0099】

なお、上記各実施の形態では、基板保持部 4 2 を回転させ、同時に電極部 4 4 をスクロール運動させることで、基板 W と加工電極 6 2 及び給電電極 6 4 とを相対運動させて加工を行うようにしているが、基板 W と電極部 4 4 との相対運動はこの限りではなく、少なく

50

とも一方が回転、偏心回転、並進、往復、スクロール運動するようにしてもよい。

【0100】

また、電極部44に加工電極62と給電電極64とを埋設して、加工電極62と給電電極64が互いに相対移動しないようにした例を示しているが、加工電極と給電電極とを別体に構成して、両者が相対的に移動するようにしてもよい。この場合、加工電極と給電電極の少なくとも一方と基板との間に液体を供給しつつ、両者を相対運動させ、かつ両者の距離を100 μ m以下の所定値に制御して電解加工を行うようにしてもよい。また、加工電極と給電電極の少なくとも一方にイオン交換体を取付け、このイオン交換体を取付けた電極と基板との間に液体を供給しつつ、両者を相対運動させ、かつイオン交換体と基板との距離を100 μ m以下の所定値に制御して電解加工を行うようにしてもよい。

10

【図面の簡単な説明】

【0101】

【図1】銅配線基板の一製造例を工程順に示す図である。

【図2】本発明の実施の形態における電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。

【図3】図2に示す電解加工装置を模式的に示す縦断正面図である。

【図4】加工中における加工電極と被加工物（基板）との関係を示す図である。

【図5】被加工物（基板）と電極（加工電極）間の距離を変更して電解加工を行った場合における、導電性膜表面の残留段差と加工量の関係を示す図である。

【図6】(a)は、異なる材料を成膜した基板の表面に電解加工を施したときに流れる電流と時間の関係を、(b)は、同じく印加される電圧と時間の関係をそれぞれ示すグラフである。

20

【図7】本発明の他の実施の形態の電解加工装置を模式的に示す縦断正面図である。

【図8】本発明の更に他の実施の形態の電解加工装置を模式的に示す縦断正面図である。

【図9】本発明の更に他の実施の形態の電解加工装置を模式的に示す縦断正面図である。

【図10】本発明の更に他の実施の形態の電解加工装置を模式的に示す縦断正面図である。

【図11】本発明の更に他の実施の形態の電解加工装置を模式的に示す縦断正面図である。

【符号の説明】

30

【0102】

30 ロード・アンロード部

31 a, 31 b 洗浄機

32 反転機

34, 34 a, 34 b, 34 c, 34 d, 34 e 電解加工装置

36 搬送口ポット

38 制御部

40 アーム

42 基板保持部

44 電極部

40

44 a 液体流路

44 b 液体供給孔

46 電源

56 自転用モータ

60 中空モータ

62 加工電極

64 給電電極

66 液体供給源

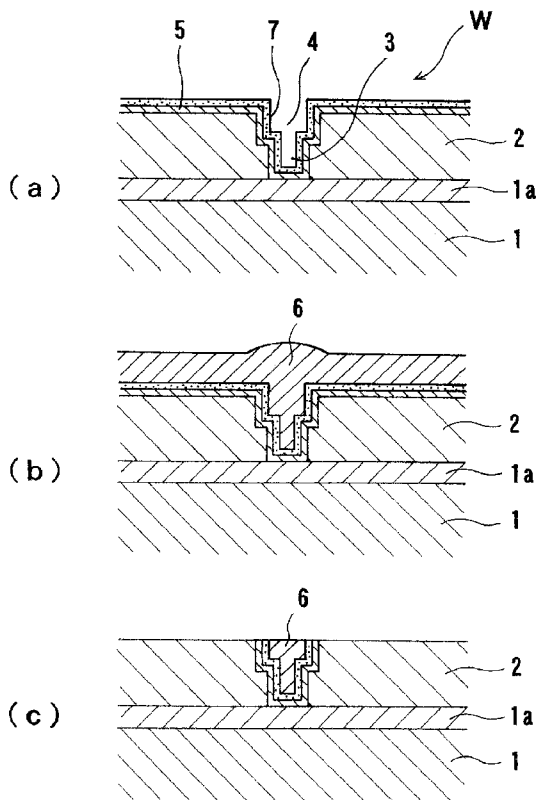
68 液体供給管

70 ハウジング

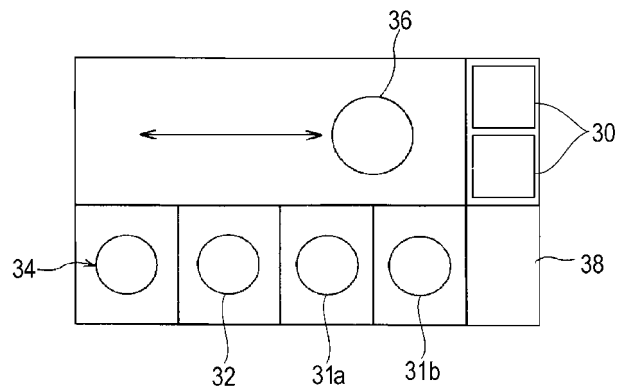
50

- 7 2 チャッキングプレート
- 7 4 弾性体
- 7 6 空気室
- 8 0 検出器
- 8 2 液体供給ノズル
- 8 4 イオン交換体
- 8 6 絶縁スペーサ

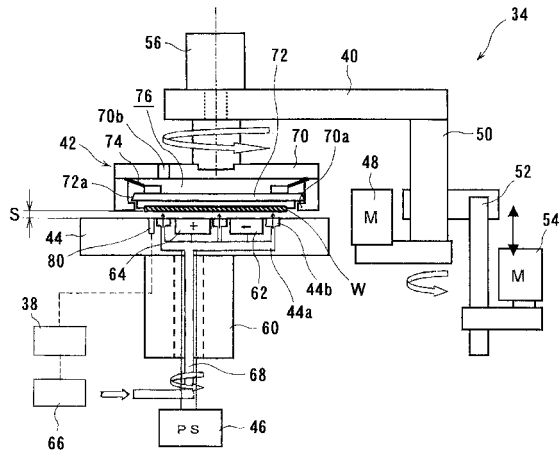
【図 1】



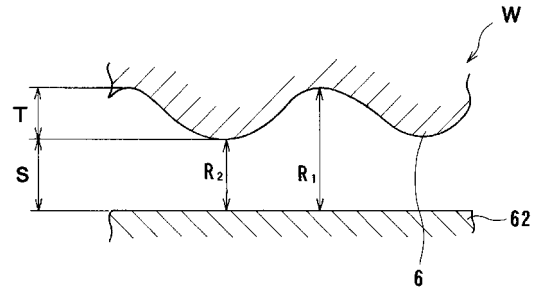
【図 2】



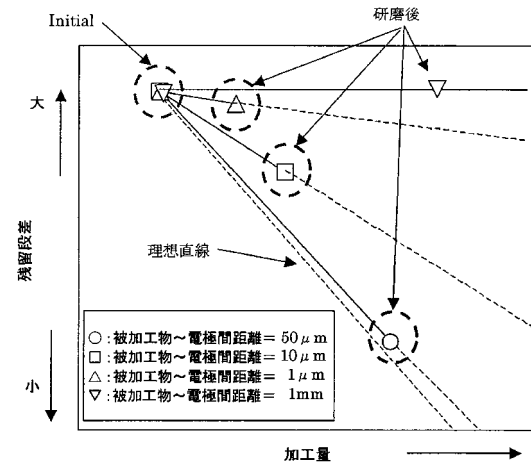
【 図 3 】



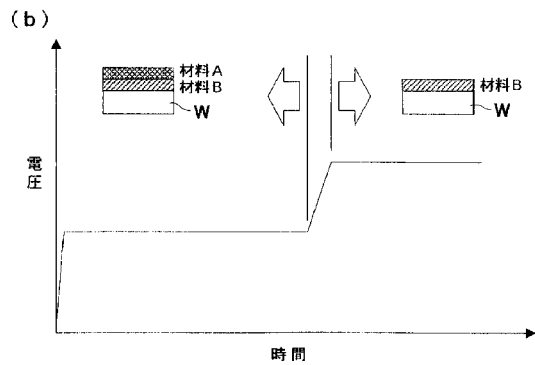
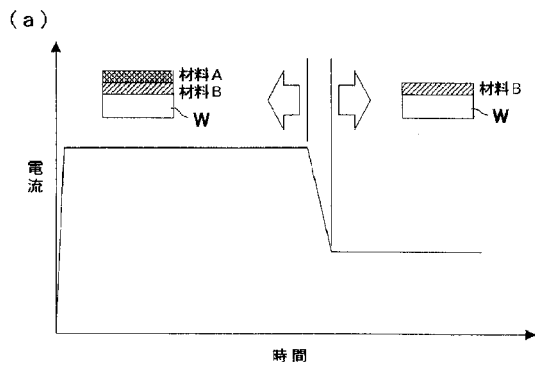
【 図 4 】



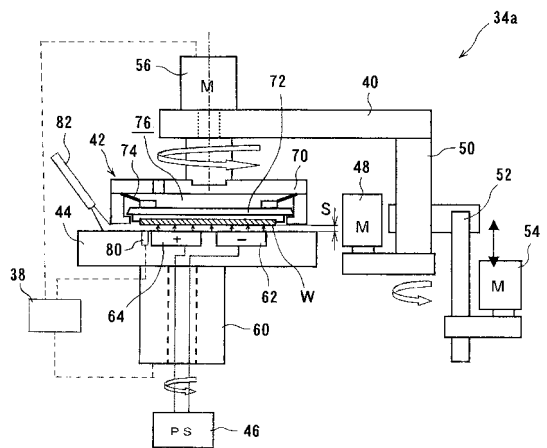
【 図 5 】



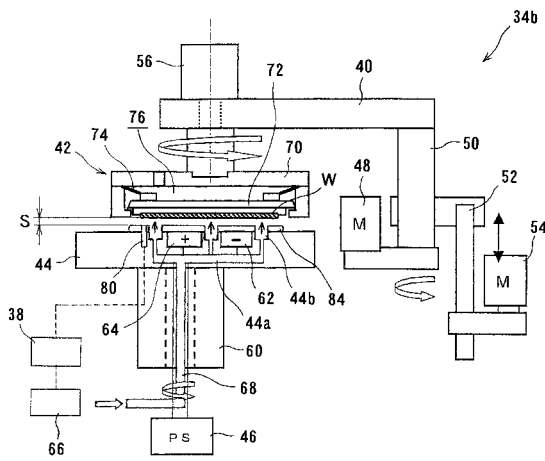
【 図 6 】



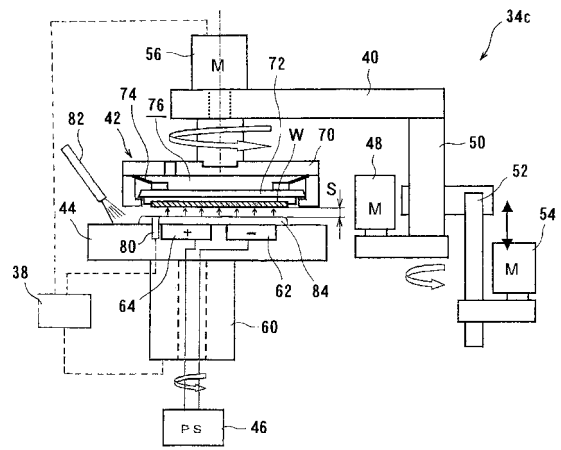
【 図 7 】



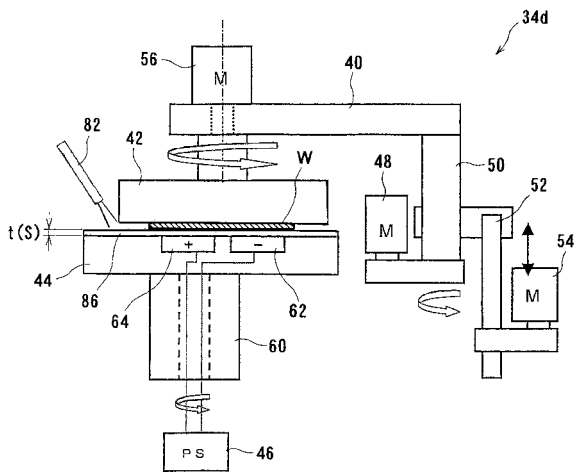
【 図 8 】



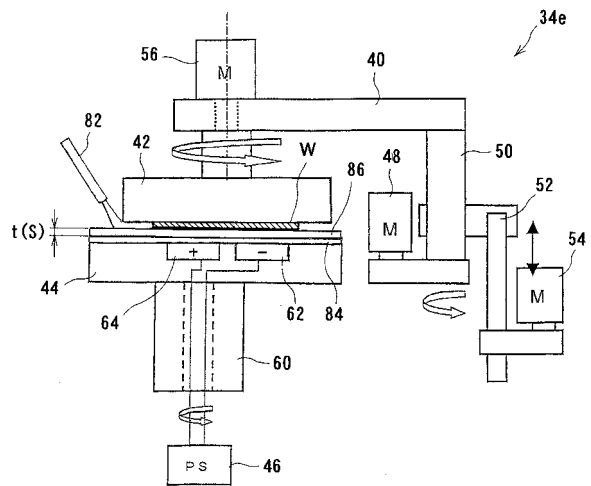
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

- (72)発明者 和田 雄高
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内
- (72)発明者 小畠 巖貴
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内
- (72)発明者 檜山 浩国
神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社荏原総合研究所内
- (72)発明者 斎藤 孝行
神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社荏原総合研究所内
- (72)発明者 當間 康
神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社荏原総合研究所内
- (72)発明者 鈴木 作
神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社荏原総合研究所内
- (72)発明者 小寺 章
神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社荏原総合研究所内
- F ターム(参考) 5F043 AA26 EE08 EE14 EE21 FF07