

(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2004-327561

(P2004-327561A)

(43) 公開日 平成16年11月18日(2004.11.18)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/3205	HO 1 L 21/88	5 F O 3 3
HO 1 L 21/304	HO 1 L 21/304	6 2 2 X
HO 1 L 21/306	HO 1 L 21/306	M

審査請求 未請求 請求項の数 41 O L (全 73 頁)

(21) 出願番号	特願2003-117667 (P2003-117667)	(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15年4月22日 (2003. 4. 22)	(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
		(72) 発明者	廣川 一人 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

最終頁に続く

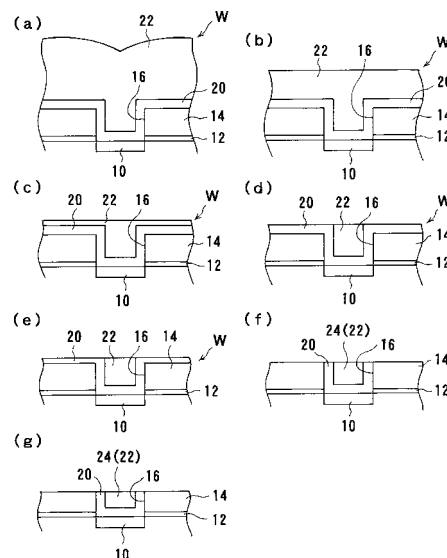
(54) 【発明の名称】 基板処理方法及び基板処理装置

(57) 【要約】

【課題】 配線形成時の平坦化及び加工性能を向上させ、欠陥のない、高い平坦性を有する埋込み配線構造が得られるようにする。

【解決手段】 配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップと、非配線部分に位置する配線材料を薄膜化するステップと、薄膜化した配線材料を除去しバリア材料を表出させるステップと、不要の配線材料とバリア材料を、非配線部分に位置するバリア材料が薄膜化するまで同時に除去するステップと、不要の配線材料及び薄膜化したバリア材料を除去し非配線部分の絶縁材料を表出させるステップを有する。

【選択図】 図 6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

絶縁材料の上面に形成し表面にバリア材料を成膜した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料及びバリア材料を除去し表面を平坦化するにあたり、前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップと、非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップと、薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工するステップと、不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分に位置する前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップと、
不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工するステップを有することを特徴とする基板処理方法。

10

【請求項 2】

不要の前記配線材料、前記バリア材料及び前記絶縁材料を同時に除去するステップを更に有することを特徴とする請求項 1 記載の基板処理方法。

【請求項 3】

絶縁材料の上面に形成し表面にバリア材料を成膜した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料及びバリア材料を除去し表面を平坦化するにあたり、前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化する第 1 ステップと、非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去する第 2 ステップと、薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工する第 3 ステップと、不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分に位置する前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去する第 4 ステップと、
不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工する第 5 ステップとを順次経ることを特徴とする基板処理方法。

20

30

【請求項 4】

不要の前記配線材料、前記バリア材料及び前記絶縁材料を同時に除去する第 6 ステップを更に有することを特徴とする請求項 3 記載の基板処理方法。

【請求項 5】

前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップを、切削または研削で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 6】

前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップを、CMPで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の基板処理方法。

40

【請求項 7】

前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップを、複合電解加工、一般の電解加工または静電気または磁気力を利用した砥粒加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 8】

前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップを、触媒を利用した電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 9】

前記非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップを、CMPで行うことを特徴

50

とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 10】

前記非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップを、複合電解加工または一般の電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 11】

前記非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップを、触媒を利用した電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 12】

前記非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップを、静電気または磁気力を利用した砥粒加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の基板処理方法。

10

【請求項 13】

前記非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップを、ドライエッチングまたはケミカルエッチングで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 14】

前記薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工するステップを、CMPで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の基板処理方法。

20

【請求項 15】

前記薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工するステップを、複合電解加工、または一般の電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 16】

前記薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工するステップを、触媒を利用した電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の基板処理方法。

30

【請求項 17】

前記薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工するステップを、ドライエッチングまたはケミカルエッチングで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 18】

前記不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分の前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップを、CMPで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 17 のいずれかに記載の基板処理方法。

40

【請求項 19】

前記不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分の前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップを、複合電解加工、または一般の電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 17 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 20】

前記不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分の前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップを、触媒を利用した電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 17 のいずれかに記載の基板処理方法。

50

【請求項 2 1】

前記不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分の前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップを、ドライエッチングまたはケミカルエッチングで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 1 7 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 2 2】

前記不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分の前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップを、前記配線材料と前記バリア材料を独立して加工することによって行うことを特徴とする請求項 1 乃至 1 7 のいずれかに記載の基板処理方法。

10

【請求項 2 3】

前記不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工するステップを、CMPで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 2 2 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 2 4】

前記不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工するステップを、複合電解加工または一般の電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 2 2 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 2 5】

前記不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工するステップを、触媒を利用した電解加工で行うことを特徴とする請求項 1 乃至 2 2 のいずれかに記載の基板処理方法。

20

【請求項 2 6】

前記不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工するステップを、ドライエッチングまたはケミカルエッチングで行うことを特徴とする請求項 1 乃至 2 2 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 2 7】

前記不要の前記配線材料、前記バリア材料及び前記絶縁材料を同時に加工するステップを、CMPで行うことを特徴とする請求項 2 または 4 記載の基板処理方法。

【請求項 2 8】

前記不要の前記配線材料、前記バリア材料及び前記絶縁材料を同時に加工するステップを、ドライエッチングまたはケミカルエッチングで行うことを特徴とする請求項 2 または 4 記載の基板処理方法。

30

【請求項 2 9】

絶縁材料の上面に形成した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料を除去し表面を平坦化するにあたり、非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または非配線部分上の該配線材料が一部残るまで前記配線材料を除去する第 1 ステップと、非配線部分の薄膜化した前記配線材料または一部残った前記配線材料を完全に除去し、非配線部分において前記配線材料の下に存在する下地表面を表出させる第 2 ステップとを有することを特徴とする基板処理方法。

40

【請求項 3 0】

前記第 1 ステップは、前記配線材料の表面の段差を解消するステップを更に含むことを特徴とする請求項 2 9 記載の基板処理方法。

【請求項 3 1】

前記第 1 ステップは、非配線部分に位置する前記配線材料の膜厚が 300 nm 以下になった時点で終了することを特徴とする請求項 2 9 または 3 0 記載の基板処理方法。

【請求項 3 2】

非配線部分に位置する前記電気導電材料の膜厚を、渦電流式または光学的式の膜厚測定手段により検知することを特徴とする請求項 2 9 乃至 3 1 のいずれかに記載の基板処理方法

50

。

【請求項 33】

前記第 2 ステップにおける前記配線材料の除去加工速度を前記第 1 ステップにおける前記配線材料の除去加工速度より遅くすることを特徴とする請求項 29 乃至 32 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 34】

前記第 2 ステップを、薬液を加えた加工液を使用して行うことを特徴とする請求項 29 乃至 33 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 35】

前記第 2 ステップを基板に圧力を加えつつ行い、前記第 1 ステップを前記第 2 ステップよりも小さい圧力を基板に加えつつ行うことを特徴とする請求項 29 乃至 34 のいずれかに記載の基板処理方法。 10

【請求項 36】

非配線部分において、前記下地を該下地の更に下の物質が露出するまで除去するステップを更に有することを特徴とする請求項 29 乃至 35 のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 37】

前記下地を除去するステップは、下地を薄膜化するか、または一部を残すまで下地を除去するステップと、非配線部分において下地の更に下に存在する材質が表出するまで該下地を除去するステップとを有することを特徴とする請求項 36 記載の基板処理方法。

【請求項 38】

表面にバリア材料を成膜した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の前記配線材料及び前記バリア材料を除去し表面を平坦化するにあたり、不要の前記配線材料及び前記バリア材料を、非配線部分に位置する前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の該バリア材料の一部が残るまで同時に除去する第 1 ステップと、不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料または一部残った前記バリア材料を除去し、非配線部分において前記バリア材料の下に存在する下地表面を表出させる第 2 ステップとを有することを特徴とする基板処理方法。 20

【請求項 39】

前記第 2 ステップを基板に圧力を加えつつ行い、前記第 1 ステップを前記第 2 ステップよりも小さい圧力を基板に加えつつ行うことを特徴とする請求項 38 記載の基板処理方法。 30

【請求項 40】

終点検知装置を備え、基板ホルダで保持した基板に電解加工を行う電解加工部と、終点検知装置を備え、基板ホルダで保持した基板に CMP を行う CMP 部と、基板を搬送する基板搬送装置とを有し、基板は、前記電解加工部と前記 CMP 部の両方で加工されることを特徴とする基板処理装置。

【請求項 41】

前記電解加工は、複合電解加工、電解液を使用した電解加工、触媒を利用した電解加工、一般の電解加工を含むことを特徴とする請求項 40 記載の基板処理装置。 40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、基板処理方法及び基板処理装置に関し、特に半導体ウエハ等の基板表面に設けた配線溝（トレンチ）や接続孔（ビアホール）等の配線用凹部内に埋込んだ銅等の電気導通材料（配線材料）の表面を平坦化して埋込み配線を形成するのに使用される基板処理方法及び基板処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体基板上に配線回路を形成するための配線材料としては、加工容易性、生産性等の観 50

点からアルミニウムまたはアルミニウム合金が一般に用いられているが、半導体デバイスの微細化・高速化が進むにつれ、近年、銅を用いる動きが顕著になってきている。これは、銅の電気抵抗率は、 $1.72 \mu\text{cm}$ とアルミニウムの電気抵抗率より40%近く低いので、信号遅延現象に対して有利となるばかりでなく、銅のエレクトロマイグレーション耐性が現用のアルミニウムより遙かに高い等の理由による。エレクトロマイグレーションとは、電流が流れることによって原子が移動し配線の断線が生じる現象である。

【0003】

しかし、従来の加工方法である化学エッチング法を銅配線形成プロセスに用いると、加工時に発生するCuCl化合物の蒸気圧が非常に低く、加工速度を向上させるためには、250~300まで昇温させる必要があって、化学的に銅を堆積させたり、化学的エッチングで銅を除去したりすることは生産性の観点から困難である。そのため、銅配線ではアルミ配線技術で広く用いられているスパッタリング法という成膜手法や、従来のエッチング技術が使えない。更に従来からのプロセス手法では、回路の短絡が発生しやすくなるといった致命的なメタル汚染問題が発生することがある。

10

【0004】

また、銅材料にあっては、隣り合う絶縁材料への拡散が容易に起こりやすく、このため、この銅拡散を防止するための拡散防止膜（銅配線プロセスの場合、一般にバリアメタル（BM）と呼ぶ）を必要とする。

【0005】

そのため、銅配線形成プロセスとして、絶縁材料の上面（内部）に形成した配線溝やビアホールの上にバリアメタル（バリア材料）を成膜（堆積）し、この配線溝やビアホールの内部に配線材料としての銅を埋込んだ後、余分な金属を化学機械研磨法（CMP法）により除去する、いわゆるデュアルダマシンプロセスと呼ばれる方法が採用される。

20

【0006】

ここで、配線材料に隣り合う絶縁材料として、高速化の観点から電気が漏れ難く、しかもデバイス構造に起因する余分な回路を形成しにくい低誘電率材料を使用することが望まれており、low-k膜またはultra low-k膜（ULK）が注目されてきている。つまり、従来のアルミ配線デバイスでは、一般に、絶縁材料としてSiO₂膜を使用していたが、SiO₂の比誘電率は4.1で、銅配線にはそれより低い比誘電率の絶縁膜を使用することが望まれている。一般に、low-k膜は、比誘電率が3.0以下の膜である。

30

【0007】

この低誘電率材料として、無機系材料と有機系材料が開発され、無機系材料としては、SiOF系FSG、SiOC系ブラックダイヤモンドBDまたはAulora等が、有機系材料としては、SiLK等が採用され始めている。更に、低誘電率化を進めるため、それらの材料のポーラス化が検討され始めている。

【0008】

デュアルダマシンプロセスによって銅配線を形成する一例を、図1を参照して説明する。まず、図1(a)に示すように、下層の完成した配線10上に積層した導電層12の上に、SiO₂からなる酸化膜やSiF、SiOH、ポーラスシリカ等のlow-k材（ULK材）膜等の絶縁膜（絶縁材料）14を堆積する。次に、図1(b)に示すように、この絶縁膜14の内部に、配線溝やビアホール等の配線用凹部（配線パターン）16をリソグラフィ及びRIEなどのエッチング法によって形成し、しかる後、図1(c)に示すように、レジスト18を除去して洗浄する。

40

【0009】

次に、図1(d)に示すように、配線溝やビアホール等の配線用凹部16の表面に、銅のシリコンへの拡散を抑える拡散防止膜としてのバリアメタル（バリア材料）20をスパッタリング法等で成膜する。そして、図1(e)に示すように、電解めっきや無電解めっき法など（銅めっき法の一つ）で、配線用凹部16の全てが埋め込まれるまでの必要厚さの銅めっきを行って、配線用凹部16の内部に、配線材料としての銅22を充填するととも

50

に、絶縁膜 14 上に銅 22 を堆積させる。その後、化学的機械的研磨 (CMP) により、絶縁膜 14 上の銅 22 及びバリアメタル 20 を除去して、配線用凹部 16 内に充填させた銅 22 の表面と絶縁膜 14 の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図 1 (f) に示すように、銅 22 からなる配線 (銅配線) 24 が形成される。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

半導体デバイスの更なる高性能化 (高集積化、高速化) を進めるため、更なる微細化構造による高性能化が要求されてきており、より小さい技術ノードで設計製造することが求められている。そのため、前述の銅配線形成後の加工面及び周辺部は、欠陥がないことが要求され、更に、上層の配線形成のための高い平坦化性能が要求されている。そのため、銅配線形成プロセスにあっては、1 種類の CMP 工程のみでは目的とする構造の加工を実現できず、2 種類の CMP 工程を行うことが提案されている。つまり、CMP 工程を、不要の銅を除去する一次研磨と、主に不要のバリアメタルを除去する二次研磨 (仕上げ研磨) に分けることにより、各材質に対して有利なケミカルを使用した研磨を可能にしている。

10

【0011】

しかし、絶縁材料として機械的強度の弱い low-k 材を使用した場合や、現状レベル以上の要求が必要になる次世代技術ノードでは、前述の銅配線形成後の加工面及び周辺部に対する要求を達成することが困難になってきている。また、従来の 2 種類の CMP 工程、つまり一次研磨と二次研磨 (仕上げ研磨) を行う場合、両研磨間における相対速度の変更や加工圧力の変更、スラリーの変更、基板洗浄、工具の洗浄または交換などを行うことで、一次研磨で得られた平坦化面を維持するよう工夫されて加工される。しかし、加工方法を CMP のみに限定しているため、CMP の欠陥の少ないといったメリットを有するものの、平坦性 (段差特性) や加工速度等に対するデメリットも有している。

20

【0012】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、半導体デバイスの構造や、化学機械的研磨 (CMP) 及びその他の特殊加工方法の特長を生かして、配線形成時の平坦化及び加工性能を向上させ、欠陥のない、高い平坦性を有する埋込み配線構造が得られるようにした基板処理方法及び基板処理装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の基板処理装置は、絶縁材料の上面に形成し表面にバリア材料を成膜した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料及びバリア材料を除去し表面を平坦化するにあたり、前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップと、非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップと、薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工するステップと、不要の前記配線材料及び前記バリア材料を、非配線部分に位置する前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップと、不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工するステップを有することを特徴とする。

30

40

【0014】

ここで、バリア材料は、電気導通材料からなる配線材料の絶縁部への拡散を防止する目的で使用され、配線溝やビアホール等の配線用凹部の表面に堆積される、例えばバリアメタル等の薄い層に用いる材料であり、単一または複数の電気導通材料や、単一または複数の電気導通材料と絶縁材料で形成される。例えば、配線材料として銅を使用する場合、前述のバリア材料としては、電氣的、応力的、熱的拡散防止の観点から Ta 系材料が一般に使用されている。今後、銅の電氣的、応力的、熱的拡散防止だけでなく、低抵抗化、隣り合う配線間の電流リーク (界面のリーク) 防止や配線形成上の形状維持の観点から、異種材

50

料との密着性が重要になっていくと考えられる。そのため、バリア材料として、W系材料、Ru系材料、更にはジルコニアなどのセラミックスなどの絶縁材料（例えばジルコニア）の適用性が検討され始めている。

【0015】

配線材料とバリア材料は、一般に異なる電氣的機械的性質を有しており、このため、今後、要求レベルが益々厳しくなる平坦化を実現する観点から、それぞれの材料に適した加工方法、加工条件を採用することが望まれる。

【0016】

つまり、先ず、最表層にあって段差を有する配線材料を加工する際には、この配線材料に適した加工方法、加工条件で加工を行うことが段差をなくし平坦面を創出することや加工速度の点で望ましい。しかし、配線材料を加工し、配線材料の加工が進むにつれてバリア材料が表出し始めるため、その後の加工において、表層の配線材料に適した加工方法、加工条件のまま加工を継続すると、バリア材料に対しては、異常加工または非効率的な加工となり、平坦化された加工面が崩れ、加工完了した時の最終的な加工形状は凹凸のある、または表面粗れが生じた望ましくない形状、性状となってしまうと考えられる。このため、配線材料を加工して表面の段差を解消する際、配線材料を速い加工速度で均一に加工する条件で加工して、バリア材料が表出する前に加工を一旦停止し、その後、バリア材料が表出した場合でも平坦化面を維持可能な別の条件で加工することで、このような弊害を防止することができる。つまり、このような分割した加工ステップを採用することで、段差を解消したステップ後の高品位な平坦面を維持することが可能となる。

10

20

【0017】

更に、近年、配線材料に用いられている銅材料は、腐食速度が速い特徴があり、加工が終了した直後の銅配線の表面は不安定である。このため、銅配線の腐食を防止する観点から、平坦化加工後に銅配線の表面を保護膜（キャップ膜）で保護することが行われている。この保護膜は、一般にSiCやSiN、SiCN等を加工面の全面にプラズマCVDなどで数十nmの厚みで成膜することで形成される。更に平坦化加工直後、例えば研磨が終了し洗浄した後、基板をカセットに戻さずに、直ちに保護膜を成膜することは非常に有効であり、CMP装置や、本発明で述べている他の平坦化加工装置とキャップ膜成膜装置を同一装置上に配置することは有効な解決手段である。また、カセットに基板を戻しても直ぐ取出し、保護膜の成膜を行ってもよい。

30

また、銅表面の変質、またはパーティクル付着などの汚染を防ぐため、本発明で行う各加工ステップ間で、銅を乾かすことなく、連続して加工条件を換えて加工することも有効である。

【0018】

異なる加工方法を採用する場合、同一装置内に異種の加工方法を行う加工ユニットが装着されていることが望ましく、基板を前の加工ステップの保持部材で保持したまま次の加工ステップに移行したり、その場で加工工具を交換して対応したりすることが好ましい。また、前述の本発明の各ステップ間や基板を他の加工ユニットに移動する際には、銅を乾かさないう工夫として、高分子材料、特に親水性の高分子材料を添加した薬液などを使用して保水性を向上させることが有効である。ここで、加工工具の交換とは、例えば同じ加工テーブル（研磨テーブル）上で、固定砥粒を、イオン交換膜を備えた電解加工用工具に交換することが例示される。高分子を添加した薬液は、ステップ間における基板の洗浄時の薬液として用いたり、CMP加工の仕上げである水ポリッシング（加工テーブル上に水を供給して低圧力で異物を除去する）時に添加したりすることができる。この時、基板をトップリングにチャッキングしたまま次工程に進むことも有効である（トップリング共用）。

40

【0019】

また、同一の工具を使用する場合、クロスコンタミネーションを防止したり、プロセスの阻害となってしまうことを防止したりする観点から、必要に応じて、薬液の置換を目的とする基板や工具の洗浄をステップ間に行うことが有効である。その際にも基板を乾かすことなく、湿潤状態で保管することが望まれる。特に、CMPの異なるステップを行う場合

50

に、薬液またはスラリーの供給をやめ、研磨テーブルに純水のみを供給してポリッシング動作を行う純水ポリッシングを行うことは、基板及び研磨テーブルの純水置換の手段として非常に有効であり、本発明のステップ間に、このような純水ポリッシングを行うことは、スループットを高める上で大いにメリットがある。

【0020】

なお、請求項1に係る発明では、各ステップを有することが特徴で、各ステップの順番はこれに限られない。例えば、加工対象となる基板に形成した配線材料の初期段差が小さく、配線材料が厚い場合には、先にある程度の膜厚を高速で除去してから、配線材料の段差解消と薄膜化を同時に行うようにしてもよい。

不要の前記配線材料、前記バリア材料及び前記絶縁材料を同時に除去するステップを更に有するようにしてもよい。 10

【0021】

本発明の他の基板処理装置は、絶縁材料の上面に形成し表面にバリア材料を成膜した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料及びバリア材料を除去し表面を平坦化するにあたり、前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化する第1ステップと、非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去する第2ステップと、薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工する第3ステップと、不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分に位置する前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去する第4ステップと、不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工する第5ステップとを順次経ることを特徴とする。 20

【0022】

第1ステップ（段差解消ステップ）は、工具の加工作用面を転写するか、または工具の運動面を転写するようにすることが望ましく、高いヤング率の工具や強力なケミカル作用を有する薬液による加工が望ましい。そのため、加工後の被加工面に物理的、化学的ダメージを受けやすく、段差は解消可能であるがダメージのない高品位な加工面を得にくい。このため、本加工ステップ組合せの前半、特に最初に、つまり第1ステップとして、この段差解消ステップを行うことが望ましい。これにより、以降の加工ステップにおける加工方法の選択肢が広がり、性能のみならずコストやスループットをも考慮に入れた選択が可能となる。 30

【0023】

また、第2ステップ（配線材料（銅）の一部残しステップ）は、配線材料のみを加工対象とするため、バリア材料を意識することなく、均一性及び高速加工を有する加工方法を選択できる。一方、第3ステップでは、加工中にバリア材料が表出してくるため、配線材料とバリア材料の双方の材料を意識した加工が必要であり、第1ステップで得られた平坦性を維持しながら、2つの異種材料（配線材料とバリア材料）とを加工することになる。このため、電氣的に（または磁氣的または静電氣的に）、または化学的または機械的に調整を行い、2つの材料の加工速度が同程度になる条件や加工方法を選択する必要がある。 40

【0024】

更に、第4ステップ（配線材料及びバリア材料の同時除去ステップ）では、配線材料とバリア材料の2種類の材料の同時加工であり、第5ステップでは、更に絶縁材料が加わる3種類の材料の同時加工となる。このため、第2ステップと第3ステップの場合と同様に、平坦性維持の観点から、加工方法及び加工条件を慎重に選ぶ必要がある。

不要の前記配線材料、前記バリア材料及び前記絶縁材料を同時に除去する第6ステップを更に有するようにしてもよい。

【0025】

前記配線材料の表面の段差を解消して該表面を平坦化するステップ（第1ステップ）は、下記の図6（a）～（b）に示す加工ステップであり、このステップを、例えば 1 切 50

削または研削、 2 CMP、 3 複合電解加工、 4 一般の電解加工、 5 静電気または磁気力を利用した砥粒加工、 6 触媒を利用した電解加工の少なくとも一つの加工法で行うことが望ましい。このステップの終点検出 (EPD) には、配線材料 (電気導通材料) の膜厚を計測可能な渦電流式や光学式による方法が使用できる。

【0026】

ここで、 1 切削または研削は、工具の加工作用面を転写するか、または工具の運動面を転写する加工法である。 2 CMPには、通常の研磨パッドと砥粒含有スラリーの組合せによるCMPの他に、固定砥粒CMPやアブレッシブフリー薬液によるCMPが含まれる。ここで固定砥粒CMPとは、樹脂粒子または砥粒入り樹脂などの研磨パッド上にスラリーまたは薬液等の研磨液を供給し、基板を前記研磨パッドに押圧することによって除去する加工法である。アブレッシブフリー薬液によるCMPとは、薬液による酸化、錯体化後、研磨パッドとの接触 (機械的作用) で錯体を除去する加工法である。このアブレッシブフリー薬液によるCMPは、固定砥粒CMPと同様に、硬質パッドを用い、更に接触点を弾性変形のない平坦面のみで行うことで除去することで、機械的に作用する箇所を平面に限定でき、凸部のみを選択的に除去加工することができる。また、絶縁材料が低誘電率素材になると、低圧化条件での加工が求められることから、4 psi以下、好ましくは2 psi以下で加工するのが望ましい。低圧条件で加工すると、研磨パッドの弾性変形の影響を少なくでき、研磨パッドが基板の凹凸に倣わずに凸部のみを優先的に加工できて段差解消がし易くなる。

10

【0027】

3 複合電解加工とは、金属表面を酸化及びキレート化 (錯体化) させることにより金属表面を脆弱化し、接触部材との機械的接触によりスクラブ除去する加工法である。キレート化させるために、電解液にキレート剤を添加する。電解液としては、硫酸銅、硫酸アンモニウムなどの電解質を含む電解液が例示できる。電解液に砥粒またはスラリーを加えて機械的研磨作用を増やしてもよい。

20

接触部材としては、研磨パッドやスクラブ部材等が一般に用いられる。接触部材としては、材料自体に通液性を有しているか、または多数の細孔を設けて通液性を持たせたもの、更には、基板と密着性を保つため、また基板を傷つけないために、弾性を有するものが好ましい。導電性、もしくはイオンの交換が可能なものであれば、更に好ましい。接触部材の具体例としては、発泡ポリウレタンなどの多孔質高分子、不織布などの繊維状のもの、各種研磨パッド、スクラブ洗浄部材等が挙げられる。砥粒やスラリーを外部から供給せずに、砥粒を含有した研磨パッドを用いてもよい。

30

【0028】

4 一般の電解加工は、基板と加工電極の間に電解液を供給して、両者の間に電圧を印加することにより、基板表面から金属を溶解除去する加工法である。特に、表面調整剤などの添加剤を添加することにより、基板の凸部のみを選択的に除去することができる。この一般の電解加工は、非接触で加工を行っても、接触部材と接触させてもよい。接触部材としては、前述の複合電解加工で用いられるものと同じものが適用できる。この際にも前述と同様に基板と加工電極の間に砥粒又はスラリーを供給してもよい。

【0029】

5 磁気力を利用した砥粒加工方法は、磁極間に配置された工具と基板に対し、磁性砥粒を有するスラリーを介在させると、前記磁極間に形成された磁界内において磁性砥粒が磁力線に沿って並列されて基板と砥粒が接触し、更に基板を工具に対して相対運動を与えると、砥粒と基板の間に摩擦力が発生し、これによって、砥粒による加工が進む原理を利用した加工法である。同様にして、静電気力を利用する場合には、磁気を静電気に置き換え、電極間に電場を掛け、帯電砥粒、または樹脂等の絶縁体粒子を作用させることもできる。これらの加工方法は、基板に薬液、電磁気力、熱などによる電気化学的变化を与える、与えないに関わらず、機械的作用により加工できるため、ほとんどのステップで使用可能である。更に、電気力も静電気力も、工具と基板との距離の2乗に反比例した力が働くため、大きな段差の解消には有利であると同時に、段差解消後は均一な加工が可能である

40

50

。また、基板側から電場、磁場を制御することにより、配線溝やビアホール等の形状パターンや半導体構造に応じた様々な加工も可能である。

【0030】

静電気または磁気力を利用した砥粒加工の場合、例えば工具側に電場また磁場センサを一つないし複数設置し、その信号をPCなどで処理し、電場または磁場が均一になる様に電場磁場のかけ方を工夫することで、段差を解消する加工が可能となる。また、複数の微細な電極や磁極を基板保持部または工具側に設け、前記PCで処理した信号に応じて電氣的に電極または磁極に作用させることにより均一な加工が可能となる。更に、エンドポイント検知機構を利用することも有効である。

【0031】

6 触媒を利用した電解加工は、純水、好ましくは超純水または電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体を基板と電極の間に供給し、触媒としてのイオン交換体を基板と電極の間に介在させ、基板と電極の間に電界をかけることにより、イオン交換体により電離されたイオンで基板表面の除去を行うものである。段差解消の目的のためには、 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体が適するが、更に電気導電率が高い液体を利用することで加工速度を高めることができる。

【0032】

ここで用いられるCMPや、複合電解加工（研磨）や一般の電解加工や触媒を利用した電解加工等では、研磨テーブル（加工工具）等として、ロータリー式、リニア式、スクロール式、ベルト式、ローラ式など様々な相対運動の与える方式を採用したものが、その運動方式の利点や欠点などを考慮し選択して使用できる。また、加工対象である基板に対し、サイズの大きい工具を使用することが一般的であるが、装置小型化のメリットがある小型（小径）工具（ペンシル型）や、小型ローラ型（前記ローラ式でローラの長さを基板よりも小さくし、縦横スキャンするもの）を選択して使用するようにしてもよい。更に、工具形状に関しても、加工平面を有する円盤型や加工平面を有する矩形型を含むウェブ（Web）型、カップ型、加工曲面を有する円筒型（前出のロール型など）など必要に応じて使用できる。

【0033】

前述の加工方法のうち、研磨パッドとスラリーによるCMP、固定砥粒CMP、アブレッションフリー薬液によるCMP、複合電解加工の一般的な加工原理は、配線材料の表面を外部から供給されるスラリー中のケミカル成分により酸化させて配線材料のキレート膜（不動態化膜）を形成し、配線材料の凹凸に応じた前記キレート膜の凸部分を、外部から供給されるスラリー中の砥粒成分と、研磨パッドと基板の相対運動により選択的に除去し、このキレート膜を形成する工程とキレート膜を除去する工程とを繰り返し行って、前記配線材料の凸部を平坦化するものである。

【0034】

このステップ（第1ステップ）は、段差解消を目的とするため、研削や研削など加工方法の選択肢が広がる。また、切削や研削においても、薬液の添加により一般的な加工原理が適用可能である。

【0035】

一般に切削や研削方法は、平坦な加工面を得るために使用されることが多いが、高い加工圧力で加工を行うと、加工単位が大きいと、加工ひずみやクラックが発生し易く、このため半導体ウエハの加工にはあまり用いられていない。しかし、近年、MEMS技術が発達し、微細構造物の製作が容易になり、微細加工工具の製作が可能になってきている。そのため、最近用いられているULK（超低誘電率）材料の機械的耐性を加味すると、微細バイトのアレー構造といった微細化加工工具が使用可能になり、この微細加工工具と 3psi 以下の面積平均押圧圧力といった低圧の加工圧力で加工することで、ダメージのない高品位の段差解消プロセスが可能である。

【0036】

研削についても同様に、近年、超微細砥粒の製作が容易となり、更に砥粒を結合するため

10

20

30

40

50

のバインダとして水溶性バインダや常温付近を T_g とする熱可塑性樹脂を使用した砥石工具が製作されるようになり、微細砥粒の含有率の高い工具の採用や低圧加工によってダメージのない加工が可能となっている。更に、切削や研削方法では、冷却用の液体の存在下で加工することが望ましく、切削の場合には、加工面の荒れを防止したり、加工を促進したり、更にはバイトを保護したりするための薬液や（電流電解をアシストするための）電解液などを加えても良く、また、研削の場合には、加工作用面に残存する古い砥粒の自生を促進したり、自生後の分散性を促進したりするための薬液や（電流電解をアシストするための）電解液などを加えても良い。

【0037】

このステップ（第1ステップ）では、仮に配線材料にダメージが発生しても、微小な加工ひずみやクラック、スクラッチなどのダメージ（表面欠陥）であれば、その後の加工ステップで欠陥の除去が可能である。このため、微小欠陥の発生確率が高い切削や研削でも使用可能である。更に切削や研削は、運動転写技術であり、精密機械技術を駆使し、高速運動することによって、工具の運動面を安定化させ、バイトや砥粒ひとつの加工機会を増やすことによるダメージの微小化、平均化を図ることによって、高品位に段差を解消した加工が可能である。

10

【0038】

CMP法の場合、通常使用されている高い押圧力（5～7 psi）と低い相対運動（0.1～0.4 m/sec）では、その工具の加工作用面に弾性変形による歪みが生じ、段差を解消することは困難であるが、高いヤング率の工具、または低い圧力（0.1～3 psi程度）、高い相対速度（0.5～10 m/sec）の条件で加工することで段差解消を実現出来る。現状の加工圧力は、6 psi付近で使用していることが多いCMPであるが、ULK材料の保護や、配線材料の剥離やクラッキング防止のため、及び加工速度の観点など実用的観点からも、CMPの場合は、0.1～3 psi程度の加工圧力で加工を行うことが望ましい。つまり、図2に示すように、プレストンの式（加工速度 加工圧力×相対速度）からも分かるように、低圧加工時にあっても、工具または砥粒は高い相対速度を与えることで高速加工が可能である。

20

【0039】

複合電解加工（研磨）法は、配線材料（電気導通材料）の表面を酸化し、かつ当該酸化された配線材料のキレート膜（不動態化膜）を形成するキレート膜形成工程と、配線材料の凹凸に応じて前記キレート膜の凸部分を選択的に除去し、当該凸部分の配線材料を表面に露出させるキレート膜除去工程と、配線材料の凸部が平坦化されるまで、前記キレート膜形成工程と前記キレート膜除去工程とを繰り返し行うようにした加工方法である（例えば、特開2001-326204号公報参照）。場合によってはスラリーまたは砥粒を介在させてもよい。

30

【0040】

この加工方法は、前述のCMPと加工原理はほぼ同様であるが、配線材料の表面酸化を電気力でアシストし、加工表面を機械的に弱い酸化膜（不動態化膜）で覆って、工具と接触する加工表面のみを加工でき、段差解消方法として使用することが出来る。更に酸化膜厚を制御可能であるため、速い平坦加速度を実現可能である。更に、工具と基板の加工圧力を0.1以上3 psi以下に抑えることにより、欠陥のない加工が可能である。

40

【0041】

触媒を利用した電解加工としては、工具として、触媒作用を行うイオン交換体を使用し、使用する液体（環境）として純水、好ましくは超純水、もしくは電気伝導度が500 $\mu S/cm$ 以下の液体を使用したものが開発されている。めっき後の基板は、その表面（被めっき面）に微小な凹凸を有しており、この電解加工方法では、液体として純水を使用した場合、基板表面の凹部の内部にも純水が存在し、純水そのものはほとんど電離されていないため、凹部内の純水と接している部分では基板の除去加工はほとんど進行しない。従って、イオンが豊富に存在するイオン交換体と接する部分のみで除去加工が進んでいき、通常の電解液を用いた電解加工方法よりも平坦化性能に優れているという利点がある。

50

【0042】

この触媒を利用した電解加工の加工原理は、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。従って、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、配線材料の特性を損なわずに加工を行うといった特徴がある。この加工方法は、イオンを解離する触媒であるイオン交換膜を基板の被加工面に接触させることにより、接触部を選択的に電気化学的に加工可能にする加工方法であるため、加工圧力を非常に低圧（0.1以上3psi以下の押圧圧力）にコントロールしても高い加工速度を得ることが可能である。しかも、同時に高い段差特性（段差解消性が高い）を有しており、非常に有効な加工方法である。段差解消の目的のためには、500μS/cm以下の液体が適するが、更に電気導電率が高い液体を利用することで加工速度を高めることができる。 10

【0043】

前記非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または該配線材料の一部が前記バリア材料の上に残るまで前記配線材料を除去するステップ（第2ステップ）は、下記の図6（b）～（c）に示す加工ステップであり、このステップを、例えば 1 CMP、2 複合電解加工、3 触媒を利用した電解加工、4 一般の電解加工、5 静電気または磁気力を利用した砥粒加工、6 ドライエッチングまたはケミカルエッチングの少なくとも一つの加工法で行うことが好ましい。このステップ（第2ステップ）は、平坦化が行われた配線材料を、その表面の平坦性を維持したまま、残膜厚が数～数百nmとなるまで薄膜化するか、または一部をバリア材料の上に残すまで除去加工するステップであり、そのため、均一な加工を行うことができ、且つ配線材料の堆積量が大きい場合には、高速で加工可能な加工方法を使用することが望ましい。なお、この 1 CMPには、前述と同様に、通常の研磨パッドと砥粒含有スラリーの組合せによるCMPの他に、固定砥粒CMPやアブレッシブフリー薬液を使用したCMPが含まれる。このことは、以下の各ステップにおいても同様である。 20

【0044】

特に、電気力を使用した加工方法は、その制御性から高速な加工を実現可能である。また、等方性の優れたケミカル作用による加工も有効である。更に、配線材料が粒界などを含む場合、ケミカルのみでは等方性を維持できない場合があるため、ドライエッチングも有効である。ドライエッチングを利用できる場合、更に上層の配線も形成できる。ただし、配線材料として銅を用いるデバイスの場合、銅は前述のようにエッチングが困難であるため、使用できない。 30

【0045】

また、切削や研削方法等の大きな加工ひずみやクラック、スクラッチなどのダメージ（表面欠陥）を残しやすい加工方法は、このステップ終了後の加工すべき深さ（次ステップ以降の加工完了までの加工代）が数～百nm程度であるため、その後のステップで欠陥除去が不可能なほど大きな欠陥が発生する可能性が高く、好ましくない。

【0046】

このステップ（第2ステップ）は、従来のプロセスと異なり、異種材料であるバリア材料が加工面に現れる前に加工ステップを終了するため、簡略化された加工系で加工が実現でき、高品位の加工が可能である。バリア材料が表出せず導電性配線材料の加工なので、電解加工、複合電解加工のような電気力を利用した加工方法、または一般の電解エッチングや超純水電解加工など電気力を利用した加工方法で安定した均一性の高い加工が可能となる。 40

更に目標とする膜厚で加工を終了するため、膜厚検知装置などの終点検知装置（EPD）を備えた装置で行うことが望ましい。配線材料が銅の場合は、渦電流による膜厚検知が適している。渦電流以外にも、光学的に膜厚を検知するようにしてもよい。

【0047】

一般に、CMPでこのステップ（第2ステップ）の加工を行う場合、段差解消と同じプロセスで行うことが提案されている。しかし、段差解消ステップ（第1ステップ）とは独立 50

させて、平坦化面を均一に加工し、薄膜化するステップに特化することにより、高速で且つ均一加工に有利なプロセス条件で加工することが可能になる。もし、前述のステップ（第1ステップ）とこのステップ（第2ステップ）を同じ加工工具を用いて行う場合、このステップ（第2ステップ）では、前述のステップ（第1ステップ）よりも加工圧力を高くしたり、相対速度を高めたりして、平坦化後の削り増しを高速で行うことが望ましい。

【0048】

複合電解加工は、前述と同様に、電解による配線材料表面の陽極酸化とキレート化、及び機械的接触による研磨を組み合わせた加工方法であり、例えば電解液を含むスラリーまたは電解液を含む薬液を外部から供給しながら基板の電極の間に研磨パッド等を接触させ、同時に基板の電極の間に電界をかけることにより加工が進行する。化学研磨や電解加工、複合電解加工、電解研磨など、電気力を利用した物理的加工や、電気化学による加工を使用するプロセスを使うことにより、従来の物理的な加工がメインの加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こさせることで非常に弱い物理力によって除去加工を行い、これにより、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥が発生することを防止して、材料の特性を損なわずに加工を行うことが出来る。更に、電気力を使用するプロセスは、加工速度の制御が容易であるばかりでなく、高速加工を実現可能である。

【0049】

現状のめっきによる配線材料の埋込みプロセスは、その低い被覆性、埋込み性のために、配線材料をある程度厚く堆積する必要があり、堆積プロセスで発生する段差ばかりでなく、余分の堆積を除去するプロセスが必要となっている。堆積方法や堆積材料によっては、このステップでの加工代が厚い場合があり、スクラッチの発生が少なく、しかも高速で加工可能な電気力を使用したプロセスを採用することが有効である。

【0050】

なお、段差解消性の優れた加工方法をこのステップ（第2ステップ）にも採用可能である。すなわち、例えば複合電解加工では、前述の段差解消ステップ（第1ステップ）とこのステップ（第2ステップ）を分けることなく併合させても、もしくは連続して行うことも可能である。

【0051】

このステップに、触媒を利用した電解加工を適用し、更に流体として純水、好ましくは超純水を使用することにより、汚染のない高品位な加工が実現可能である。更に、この加工方法は、電気化学力による加工のため、欠陥のない高速な加工が実現可能である。段差解消性の優れた触媒を利用した電解加工方法をこのステップにも採用する場合は、前述と同様に、前述の段差解消ステップ（第1ステップ）とこのステップ（第2ステップ）を併合して、同一条件で連続して行うことも可能である。または、第1ステップで500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体を供給して加工を行い、続く第2ステップで供給する液体を電解液に換えることにより、平坦化後の高速加工が可能である。

【0052】

一般の電解加工（例えば、電解液に被加工物を浸漬させる形態）によれば、物理的欠陥がない高品位な加工面が得られると同時に、高速で均一な加工が可能であり、このため、一般の電解加工は、このステップに有効な加工方法である。

【0053】

ケミカルエッチングは、等方的であり且つ高速な加工原理からこのステップに有効な加工方法である。更に、平坦化特性に有利なスラリーや薬液（ H_2O_2 などの酸化剤やBTAなどの防腐剤）の高速相対速度を利用したエッチングも有効である。例えば、他工程で使用されるスピンコーターと同様の装置を使用し、基板の被加工面に対し、スラリーまたは薬液をほぼ並行に基板に向けて噴射すること、またはそれら液体を高速に流すことの可能な水槽に、流れに対して加工面が水平となるように基板を配置するなどして加工できる。この方法は、前述の段差解消ステップ（第1ステップ）にも使用できる。

【0054】

更に、導電性材料が粒界などを含む場合には、ケミカルエッチングのみでは等方性を維持

10

20

30

40

50

できない場合があるが、このような場合に、R I Eなどのドライエッチングも使用できる。

第2ステップでは、渦電流センサや光学的膜厚検知手段等により非配線部の配線材料の膜厚を検知し、例えば300nm以下、好ましくは100nm以下、より好ましくは50nm以下になったら第2ステップを終了する。時間管理で第2ステップを終了してもよい。

【0055】

前記薄膜化した前記配線材料またはバリア材料の上に一部残った前記配線材料を除去し、前記バリア材料を表出させるか、または加工するステップ(第3ステップ)は、下記の図6(c)~(d)に示す加工ステップであり、このステップを、例えば1 CMP、2 複合電解加工、3 一般の電解加工、4 触媒を利用した電解加工、5 ドライエッチングまたはケミカルエッチングの少なくとも一つの加工法で行うことが好ましい。このステップ(第3ステップ)は、前述した配線材料を薄膜化するステップ(第2ステップ)と同様に、同材質を加工するステップであるが、加工ステップ終了時に、バリア材料が表出するステップであるため、加工終了を適切に判断し、また配線材料とバリア材料の加工選択比を1付近にした加工を行う必要がある。更に加工量は、数~数百nmと非常に少なく、加工速度が要求されないが、その代わりに、異種材質であるバリア材料が表出するため、選択比の調整が必要であると同時に、配線材料とバリア材料に大きなダメージを残存させないプロセスが要求される。

10

【0056】

ここで言う選択比とは、材料間の加工速度比の意味であり、例えば、2つの材料の加工で選択比1:1とは、同じ加工速度で加工できることを意味する。よって、平坦性の優れた機械的作用を含む加工方法を選択することが望ましいが、機械的作用を含む加工方法の場合、バリア材料の表出と同時にバリア材料の同時加工が行われてしまう。そのため、加工速度を同程度にする(選択比1付近)加工環境、加工条件を調整することでこのステップ(第3ステップ)を実現できる。この場合、特に固定砥粒CMPやアブレッシブフリー薬液によるCMPや複合電解加工が有効である。

20

【0057】

一般に、配線材料は、結晶粒界が存在するため、一般的なCMP法では加工異方性が存在し、平坦な加工が困難である。更に欠陥の発生に対してもプロセスを調整する必要がある。そのため、固定砥粒など高ヤング率の工具を使用し且つ弾性変形を抑えることで対応が可能である。その際、前述の欠陥対策にも注意が必要であり、より低圧で加工することが望ましい。望ましい圧力としては、加工対象材料やデバイス構造などにもよるが、現状で使用されている5~7psiより低圧な0.1~3psi程度が望ましい。また、前述のステップ(第2ステップ)よりも低圧にすることが望ましい。

30

【0058】

または、バリア材料を殆ど加工しない条件で、且つバリア材料が表出した直後に配線材料の加工を停止することが可能な、特殊なプロセスを使用するようにしてもよい。この場合、高度にケミカル調整したCMPや、触媒を利用した(純水)電解加工方法などが使用できる。配線材料に銅以外のエッチング可能な材質を使用する場合には、工具接触のない電解加工、ドライエッチング、ケミカルエッチングなども使用できる。

40

【0059】

また、このステップ(第3ステップ)にあつては、異種材料であるバリア材料が完全に表出したことを感知して、加工を終了することが平坦化を維持するためには重要である。配線材料が銅である場合、この終点検知装置として、渦電流式の膜厚検知センサが使用出来る。また、配線材料とバリア材料における光等の透過率、屈折率、反射率が異なる場合には、終点検知装置として、光学式の膜厚検知センサ(光学式センサ)も利用でき、反射率の違いを検知することが可能な光学式センサ(エンドポイントディテクター)の使用が実用上望ましい。

さらに、光学的膜厚検知センサではバリア層の一部露出と完全露出が判断しにくい場合は、バリア層の露出を光学的センサで検知した後、所定時間加工を続行しその後終了する、

50

という膜厚検知手段と時間管理を組み合わせることが望ましい。

【0060】

前記不要の前記配線材料と前記バリア材料を、非配線部分の前記バリア材料が薄膜化する
か、または非配線部分の前記バリア材料の一部が残るまで同時に除去するステップ（第4
ステップ）は、下記の図6（d）～（e）に示す加工ステップであり、このステップを、
例えば 1 CMP、 2 複合電解加工、 3 一般の電解加工、 4 触媒を利用し
た電解加工、 5 ドライエッチングまたはケミカルエッチング、 6 配線材料とバリア
材料の独立した加工の少なくとも一つの加工法で行うことが好ましい。このステップ（
第4ステップ）は、薄膜化した配線材料を除去し、配線溝やビアホールを覆うよう
に堆積（成膜）したバリア材料も同時に除去するステップであるため、必ず異種材料（配
線材料とバリア材料）を同時に加工するステップとなる。また、前述の各ステップより欠
陥制御性に優れ、欠陥の発生をより確実に防止した加工方法及び加工条件を必要とする。
つまり、前述のプロセスで得られた表面の平坦性を維持しながら、異種材料である配線材
料とバリア材料を同時に加工するため、化学的または電気化学的加工方法では高度に制御
された加工条件が必要となる。

10

【0061】

バリア材料が電気導電材料の場合、配線材料としての電気導通材料とバリア材料としての
電気導通材料の加工速度比（選択比）を1付近に調整した加工条件が必要であり、この条
件に合致するようにケミカル調整された電解液（ H_2O_2 などの酸化剤やBTAなどの防
腐剤を添加したもの）や薬液を供給しながら電気化学加工することにより、この要求を満
たすことができる。なお、このステップの処理時間や次ステップの加工精度にもよるが、
選択比（バリア材料に対する配線材料の加工速度比）を0.25～4.0程度にすることが
望ましい。

20

【0062】

また、同様に、選択比を1付近に調整したケミカル条件（研磨液に H_2O_2 などの酸化剤
やBTAなどの防腐剤を添加したもの）や低い押圧圧力、高速相対速度で加工する条件
下で、樹脂または砥粒入り樹脂などの研磨パッド上にスラリーまたは薬液を供給し、基板を
前記研磨パッドに押圧することによって加工する固定砥粒CMPやアブレッシブフリー薬
液によるCMPを含むCMPを用いることにより、この加工ステップを実現可能である。

【0063】

また、機械的加工を利用しているCMP法や複合電解加工では、高速相対運動を利用する
ことにより選択性を調整可能であり、且つ低い押圧圧力で欠陥の少ない加工を実現可能
である。更に、触媒を利用した（純水）電解加工法では、接触部を優先的に加工できるこ
とから、表面の平坦性を維持しつつ加工することが可能である。

30

除去するバリア材料が少ない場合には、選択比を1に近づけなくても、例えばバリア材料
を優先的に除去する条件で、先にバリア材料の加工を優先的に進めた後、配線材料を優先
的に除去する条件で、配線材料の加工を優先的に進めるようにしてもよい。

【0064】

また、バリア材料が絶縁材料の場合には、このステップの加工方法として、化学的機械的
加工（CMP）が利用でき、一般的な研磨パッドと砥粒含有スラリーによるCMPの他に
、前述と同様にして樹脂粒子または砥粒入り樹脂などの研磨パッド上にスラリーまたは薬
液を供給し、基板を前記パッドに押圧することによって加工する固定砥粒CMPまたはア
ブレッシブフリー薬液によるCMPを含むCMPが利用できる。

40

【0065】

選択比をケミカル制御された場合には、ケミカルエッチングでも加工できる。また、平坦
化特性に有利なスラリーや薬液の高速相対速度を利用したエッチングも利用できる。
更に、バリア材料が難加工材料の場合、配線材料の加工とバリア材料の加工を独立に行っ
てもよい。その場合、配線材料にフォトレジストによるマスクを行いドライエッチングで
バリア材料を加工することが出来る。

【0066】

50

前記不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料を除去し、非配線部分の前記絶縁材料を表出させるか、または加工するステップ（第5ステップ）は、下記の図6（e）～（f）に示す加工ステップであり、このステップを、例えば 1 CMP、2 複合電解加工、3 一般の電解加工、4 触媒を利用した電解加工、5 ドライエッチングまたはケミカルエッチングの少なくとも一つの加工法で行うことが好ましい。このステップ（第5ステップ）は、前述した配線材料とバリア材料を薄膜化するステップ（第4ステップ）と同様に、同材質を加工するステップであるが、加工ステップ終了時に、絶縁材料が表出するステップであるため、加工終了を適切に判断し、配線材料とバリア材料と絶縁材料の加工選択比を1：1：1付近にした加工を行う必要がある。更に加工量は、数nm～数十nmと非常に少なく、加工速度を要求されないが、その代わりに、異種材質としての絶縁材料が表出するため、選択比の調整が必要であると同時に、配線材料、バリア材料及び絶縁材料の表面に小さなダメージも残存させないプロセスが要求される。

10

【0067】

よって、平坦性に優れ、且つ欠陥発生の少ない、機械的作用を含む加工方法を選択することが望ましいが、機械的作用を含む加工方法の場合、絶縁材料が表出と同時に、絶縁材料が同時に加工されてしまう。そのため、加工速度を同程度にする（選択比1：1：1付近）ような加工環境、加工条件を調整することでこのステップを実現できる。この場合、固定砥粒CMP、アプレッシュフリー薬液によるCMPや複合電解加工が有効である。

【0068】

ただし、加工終了面までの深さが数nm程度と浅いため、特に前述の欠陥対策にも注意が必要であり、より低圧で加工することが望ましい。CMPにおける望ましい圧力としては、加工対象材料やデバイス構造などにもよるが、現状使用されている5～7psiより低圧な0.1～3psiが望ましく、前述の第4ステップよりも更に低圧にすることが望ましい。

20

【0069】

または、絶縁材料を殆ど加工しない条件で、且つ絶縁材料が表出した直後に、配線材料及びバリア材料の加工をストップ可能な、特殊なプロセスを使用するようにしてもよい。この場合、非常に高度にケミカル調整したCMPや触媒を利用した（純水）電解加工方法などが使用できる。また、工具接触のない電解加工、ドライエッチング、ケミカルエッチングなども適宜利用できる。

30

【0070】

また、異種材料が表出することを感知し、加工を終了することが、表面の平坦化を維持するために重要である。配線材料が銅である場合、もしくはバリア層が導電性部材の場合、終点検知装置として、渦電流式の膜厚検知センサが使用出来る。また、バリア材料と絶縁材料の光等の反射率が異なる場合には、終点検知装置として、光学式センサも利用できる。

今後、技術ノードが小さくなるとバリア材料の薄膜化が進み、このステップ（第5ステップ）は、前後の第4ステップや第6ステップと同じ条件で加工を行っても、即ち、第4ステップと第5ステップ、第5ステップと第6ステップ、もしくは第4ステップ、第5ステップ、第6ステップを分けずに1つのステップとしても、表面の平坦化が崩れることなく、加工できる場合があると考えられる。

40

【0071】

前記不要の前記配線材料、前記バリア材料及び前記絶縁材料を同時に加工するステップ（第6ステップ）は、図6（f）～（g）に示す加工ステップであり、このステップを、例えば 1 CMP、2 ドライエッチングまたはケミカルエッチングの少なくとも一方を有する加工法で行うことが好ましい。このステップ（第6ステップ）は、配線部や絶縁部の加工が終了し、加工後の加工面がそのままデバイス性能に影響することから、欠陥の発生を制御したり、表面の平坦性を確保したりする上で重要な加工プロセスである。このステップは、必要に応じて行われるもので、このステップの以前に行ったステップで発生した欠陥を除去することを目的とする。そのため、欠陥の発生しない加工方法を選定する

50

ことが望ましい。

【0072】

このステップでは、加工対象に電気化学的に安定であることが要求される絶縁材料が含まれることから、電解液を含むスラリーまたは薬液を外部から供給しながら研磨パッドの加工面と基板の間に電解をかけることにより配線材料を加工する複合電解加工、触媒を利用した電解加工方法、工具接触のない電解加工などは好ましい加工方法でない。つまり、このステップに有効な加工方法は、樹脂または砥粒入り樹脂などの樹脂パッド上にスラリーまたは薬液を供給し、基板を前記研磨パッドに押圧することによって加工する固定砥粒CMPまたはアブレッシブフリー薬液によるCMPを含むCMP、またはドライエッチングやケミカルエッチングなどであり、更に好ましくは、弱い物理的作用を伴う加工方法であることが望ましい。更に、例えば3psi以下の低圧で加工することで、欠陥のない加工を実現できる。

10

【0073】

例えば、CMPの場合、非常に微細な砥粒、樹脂粒子、樹脂粒子や界面活性剤を核とした砥粒担持複合砥粒、砥粒の周りに界面活性剤や高分子などの保護膜をもち、押圧力によって保護膜から突出した砥粒部分のみで加工できる複合粒子など特殊な砥粒を含有したスラリーを使用することで、この加工を実現できる。また、ケミカルで絶縁材料の最表面を軟化または脆性化し、その変質部分を加工する、光による最表面変質化（光触媒の併用も可能）など特殊なケミカル調整を行うことでも、この加工を実現できる。

【0074】

本発明の更に他の基板処理方法は、絶縁材料の上面に形成した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料を除去し表面を平坦化するにあたり、非配線部分に位置する前記配線材料を薄膜化するか、または非配線部分上の該配線材料が一部残るまで前記配線材料を除去する第1ステップと、非配線部分の薄膜化した前記配線材料または一部残った前記配線材料を完全に除去し、非配線部分において前記配線材料の下に存在する下地表面を表出させる第2ステップとを有することを特徴とする。

20

前記第1ステップを、前記配線材料の表面の段差を解消するステップを更に含むようにしてもよく、また非配線部分に位置する前記配線材料の膜厚が300nm以下になった時点で終了するようにしてもよい。この場合、非配線部分に位置する前記配線材料の膜厚を、渦電流式または光学式の膜厚測定手段により検知することが好ましい。

30

【0075】

前記第2ステップにおける前記配線材料の加工速度を、前記第1ステップにおける前記配線材料の加工速度より遅くすることが好ましい。また、前記第2ステップを、薬液を加えた加工液を使用して行うようにしてもよい。

前記第2ステップを基板に圧力を加えつつ行い、前記第1ステップを前記第1ステップよりも小さい圧力を基板に加えつつ行うようにしてもよい。

【0076】

非配線部分において、前記下地を該下地の更に下の物質が露出するまで除去するステップを更に有するようにしてもよい。この場合、前記下地を除去するステップは、下地を薄膜化するか、または一部を残すまで下地を除去するステップと、非配線部分において下地の更に下に存在する材質が表出するまで該下地を除去するステップとを有するようにしてもよい。

40

【0077】

本発明の更に他の基板処理方法は、表面にバリア材料を成膜した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の前記配線材料及び前記バリア材料を除去し表面を平坦化するにあたり、不要の前記配線材料及び前記バリア材料を、非配線部分に位置する前記バリア材料が薄膜化するか、または非配線部分の該バリア材料の一部が残るまで同時に除去する第1ステップと、不要の前記配線材料及び薄膜化した前記バリア材料または一部残った前記バリア材料を除去し、非配線部分において前記バリア材料の下に存在する下地表面を表出させる第2ステップとを有することを特徴とする。

50

【0078】

前記第2ステップを基板に圧力を加えつつ行い、前記第1ステップを前記第2ステップよりも小さい圧力を基板に加えつつ行うようにしてもよい。一般に、第2ステップは、第1ステップより低圧で加工することでスクラッチフリーを実現容易であるが、工具の硬度や弾性係数を変えることで、段差解消、高速加工性を実現できる。そのため、条件によっては、第1ステップを第2ステップよりも小さい圧力で加工することでも対応可能である。

【0079】

本発明の基板処理装置は、終点検知装置を備え、基板ホルダで保持した基板に電解加工を行う電解加工部と、終点検知装置を備え、基板ホルダで保持した基板にCMPを行うCMP部と、基板を搬送する基板搬送装置とを有し、基板は、前記電解加工部と前記CMP部の両方で加工されることを特徴とする。

10

前記電解加工には、複合電解加工、電解液を使用した電解加工、触媒を利用した電解加工、一般の電解加工等が含まれる。

【0080】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

図3は、本発明の実施の形態における基板処理装置の全体を示す。図3に示すように、この基板処理装置は、多数の半導体ウエハ等の基板をストックする基板カセット30を載置するロード・アンロードステージ32を4つ備えている。ロード・アンロードステージ32上の各基板カセット30に到達可能となるように、走行機構34の上に2つのハンドを有する第1搬送口ポット36が配置されている。走行機構34には、リニアモータからなる走行機構が採用されている。リニアモータからなる走行機構34を採用することにより、基板が大口径化し重量が増した場合であっても、基板を高速且つ安定して搬送することができる。

20

【0081】

この例は、基板カセット30を載置するロード・アンロードステージ32として、SMIF(Standard Manufacturing Interface)ポッド、もしくはFOUP(Front Opening Unified Pod)を用い、ロード・アンロードステージ32が外付けされた例を示している。SMIF、FOUPは、中に基板カセット30を収納し、隔壁で覆うことにより、外部空間とは独立した環境を保つことができる密閉容器である。SMIFもしくはFOUPを、基板処理装置のロード・アンロードステージ32に設置した場合、基板処理装置側のハウジング38に設けられたシャッタ40、及びSMIFもしくはFOUP側のシャッタが開くことにより、基板処理装置と基板カセット30側が一体化する。SMIFもしくはFOUPは、基板処理工程が終わると、シャッタを閉じ、基板処理装置と分離し、別の処理工程へ自動もしくは手動で搬送されるため、その内部雰囲気は清浄に保っておく必要がある。

30

【0082】

そのため、基板が基板カセットに戻る直前に通る領域Aの上部には、ケミカルフィルタを通して清浄な空気のダウンフローが形成されている。また、第1搬送口ポット36の移動にリニアモータを用いているため、発塵が抑えられ、領域Aの雰囲気をより正常に保つことができる。

40

なお、基板カセット30内の基板を清浄に保つために、SMIFやFOUPの様な密閉容器にケミカルフィルタ、ファンを内蔵し、自らクリーン度を維持するクリーンボックスを用いるようにしてもよい。

【0083】

第1搬送口ポット36の走行機構34を対称軸に、ロード・アンロードステージ32とは反対側に、一对の洗浄機42が配置されている。各洗浄機42は、第1搬送口ポット36のハンドが到達可能な位置に配置されている。また一对の洗浄機42の間で、第1搬送口ポット36のハンドが到達可能な位置に、4つの基板載置台44を備えた基板ステーション46が配置されている。

50

【0084】

前記洗浄機42と基板ステーション46が配置されている領域Bと、前記基板カセット30と第1搬送口ポット36が配置されている領域Aのクリーン度を分けるために隔壁48が配置され、互いの領域A、Bの間で基板を搬送するため、隔壁48には、開閉自在なシャッタ50が設けられている。洗浄機42と基板ステーション46に到達可能な位置に、一对の第2搬送口ポット52が配置されている。更に、前記洗浄機42と隣接するように、第2搬送口ポット52のハンドが到達可能な位置に、一对の洗浄機54が配置されている。

【0085】

前記洗浄機42、54と基板ステーション46と第2搬送口ポット52は、全て領域Bの中に配置されていて、この領域Bは、領域A内の気圧よりも低い気圧に調整されている。前記洗浄機54は、例えば両面洗浄可能な洗浄機である。

【0086】

この基板処理装置は、各機器を囲むようにハウジング(図示せず)を有しており、前記ハウジング内は、前記隔壁48及び一对の隔壁56により複数の部屋(領域A、領域Bを含む)に区画されている。つまり、一对の隔壁56によって、領域Bと区分された2つの基板処理室が形成される2つの領域CとDに区分されている。ここで、各領域C、D内の構成は同じであるので、以下、領域Cについてのみ説明する。

【0087】

領域Cには、1枚の基板を着脱自在に保持する基板ホルダ(トップリング)60と、この基板ホルダ60で保持した基板にCMP(化学機械的研磨)を行うCMP部62と、同じく、触媒としてのイオン交換体を利用した電解加工を行う電解加工部64が配置されている。ここで、CMP部62は、表面(上面)に樹脂または砥粒入りの樹脂などの研磨パッド66を設けた、回転(自転)自在な研磨テーブル68と、この研磨テーブル68の側方に位置して、研磨パッド66の上面にスラリーや薬液等の液体(研磨液)を供給する液体供給ノズル70と、研磨パッド66のドレッシングを行うためのドレッサ72とを有している。一方、電解加工部64は、表面(上面)にイオン交換体74を貼着した、この例では、いわゆるスクロール運動(並進回転運動)を行う加工テーブル76を有している。

【0088】

CMP部62は、機械的ドレッサ72の他に、流体圧によるドレッサとして、アトマイザー78を備えている。アトマイザーとは、液体(例えば純水)と気体(例えば窒素)の混合流体を霧状にして、複数のノズルから研磨面に噴射するものである。アトマイザーの主な目的は、研磨面上に堆積、目詰まりした研磨カス、スラリー粒子を洗い流すことである。アトマイザーの流体圧による研磨面の浄化と、機械的接触であるドレッサ72による研磨面の目立て作業により、より望ましいドレッシング、即ち研磨面の再生を達成することができる。

【0089】

図4は、基板ホルダ60とCMP部62及び電解加工部64との関係を示す図である。図4に示すように、基板ホルダ60は、回転可能な駆動軸80によって基板ヘッド82から吊下げ支持されている。基板ヘッド82は、位置決め可能な揺動軸84の上端に連結されており、基板ホルダ60は、CMP部62の研磨テーブル68と電解加工部64の加工テーブル76にアクセス可能になっている。また、ドレッサ72は、回転可能な駆動軸86によってドレッサヘッド88から吊下げ支持されている。ドレッサヘッド88は、位置決め可能な揺動軸90の上端に連結されており、ドレッサ72は、待機位置と研磨テーブル68上のドレッサ位置との間を移動可能になっている。

【0090】

電解加工部64には、加工テーブル76の側方に位置して、イオン交換体74を再生する再生部92が備えられている。この再生部92は、待機位置と加工テーブル76の再生位置との間を揺動自在な揺動アーム94と、この揺動アーム94の自由端に保持した再生ヘッド96とを有している。この再生ヘッド96は、加工テーブル76の直径よりも長い長

10

20

30

40

50

尺状の形状を成している。そして、電源108(図5参照)を介して、イオン交換体74に加工時とは逆の電位を与えつつ、再生ヘッド96を車のワイパーの様に揺動させ、イオン交換体74に蓄積した銅等を再生ヘッド96側に移動させることで、イオン交換体74を再生できるようになっている。この場合、再生されたイオン交換体74は、加工テーブル76の上面に供給される純水または超純水でリンスされる。

なお、図示しないが、このCMP部62の研磨テーブル68には、基板ホルダ60で保持した基板Wの銅22(図6(a)参照)等の膜厚を、渦電流式または光学式、更にはこれらを複合した方式で検知する膜厚検知センサが取付けられている。

【0091】

図5は、電解加工部64の詳細を示す。図5に示すように、電解加工部64は、中空モータ100に直結され該中空モータ100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)を行う加工テーブル76を有している。この加工テーブル76は、絶縁体から構成されており、この加工テーブル76の上面に、扇状の加工電極102と給電電極104とが円周方向に沿って所定間隔離間して交互に埋設され、この加工電極102と給電電極104の上面にイオン交換体74が配置されている。更に、中空モータ100の内部には、外部から延びる純水供給管105が配置され、加工テーブル76の中心部には、この純水供給管105と連通して加工テーブル76の上面で開口する貫通孔76aが設けられている。これによって、この純水供給管105と連通孔76aを通過して、純水、好ましくは超純水が加工テーブル76の上面のイオン交換体74に供給されるようになっている。

10

20

【0092】

ここで、純水は、例えば電気伝導度が $10\mu\text{S}/\text{cm}$ (1atm、25換算、以下同じ)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。なお、純水、好ましくは超純水の代わりに、電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液を使用し、または酸化防止剤(例えばBTA;ベンゾトリアゾール)を添加してもよい。加工中に電解液を供給、または酸化防止剤(例えばBTA;ベンゾトリアゾール)を添加することにより、加工生成物、気体発生等による加工不安定性を除去でき、均一な、再現性のよい加工が得られる。BTAは、各種金属の表面に薄い皮膜(不溶性錯体)を形成する。本発明による電解加工では形成された皮膜をイオン交換体74のスクラブ効果により取除くことができ、露出した酸化膜の形成されていない金属表面を加工電極102もしくは加工電極102の上のイオン交換体74と接触させることができる。

30

【0093】

この例では、加工テーブル76の上面に複数の扇状の電極板106を円周方向に沿って配置し、この電極板106に電源108の陰極と陽極とを交互に接続することで、電源108の陰極と接続した電極板106が加工電極102となり、陽極と接続した電極板106が給電電極104となるようにしている。この場合、陰極と陽極の間には絶縁体を介在させる。これは、例えば銅にあっては、陰極側に電解加工作用が生じるからであり、被加工材料によっては、陰極側が給電電極となり、陽極側が加工電極となるようにしてもよい。つまり、被加工材料が、例えば銅、モリブデンまたは鉄にあっては、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源108の陰極と接続した電極板106が加工電極102となり、陽極と接続した電極板106が給電電極104となるようにする。一方、例えばアルミニウムやシリコンにあっては、陽極側で電解加工作用が生じるため、電極の陽極に接続した電極を加工電極となし、陰極側を給電電極とすることができる。

40

【0094】

電極の配置は、上記の例に限られない。加工テーブル76上に多数の陰極と陽極とを絶縁体を介して点在させる構成としてもよい。基板ホルダ側から基板ベベル部に給電し、加工テーブル76の上面は加工電極のみとしてもよい。

電解加工部64の加工テーブル76には、基板ホルダ60で保持した基板Wの銅22(図6(a)参照)等の膜厚を、渦電流式または光学式、更にはこれらを複合した方式で検知する膜厚検知センサ109(図3参照)が取付けられている。

50

【0095】

イオン交換体74は、例えば、アニオン交換能またはカチオン交換能を付与した不織布で構成されている。カチオン交換体は、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）を担持したものでもよい。また、アニオン交換体は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（第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（第3級以下のアミノ基）を担持したものでもよい。

【0096】

ここで、例えば強塩基アニオン交換能を付与した不織布は、繊維径20～50 μ mで空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行う所謂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。従って、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5 meq/gが可能である。

【0097】

強酸性カチオン交換能を付与した不織布は、前記強塩基性アニオン交換能を付与する方法と同様に、繊維径20～50 μ mで空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行う所謂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5 meq/gが可能である。

【0098】

なお、イオン交換体74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、ネット、短繊維等が挙げられる。

【0099】

ここで、ポリエチレンやポリプロピレンは、放射線（ γ 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（ γ 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。

【0100】

このように、イオン交換体74をアニオン交換能またはカチオン交換能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つて、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。さらに、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加工電極102の表面に運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

【0101】

図3に示すように、隔壁56によって領域Bとは仕切られた領域Cの中であつて、第2搬送口ポット52のハンドが到達可能な位置に、基板を反転させる反転機110が配置されている。領域Bと領域Cを仕切る隔壁56の反転機110に対向する位置には、基板搬送用の開口部が設けられ、これらの各開口部には、シャッタ112が設けられている。

10

20

30

40

50

【0102】

前記反転機110は、基板をチャックするチャック機構と、基板を180°を鉛直方向に反転させる反転機構と、基板を前記チャック機構によりチャックしているかどうかを確認する基板有無検知センサとを備えている。また、反転機110には、第2搬送口ポット52によって基板が移送される。

【0103】

領域C内には、反転機110と基板ホルダ60との間で基板を移送するための搬送口ポットを構成するリニアトランスポート114が配置されている。このリニアトランスポート114は、直線往復移動する2個のステージ116, 118を備えており、リニアトランスポート114と基板ホルダ60または反転機110との間で基板を受け渡しする場合に、基板トレイを介して行うように構成されている。 10

【0104】

図4の右側部分には、リニアトランスポート114とリフタ120とプッシャー122との関係が示されている。図4に示すように、リニアトランスポート114の下方にリフタ120とプッシャー122とが配置されている。またリニアトランスポート114の上方に反転機110が配置されている。そして、一方のステージ116をリフタ120の上方に、他方のステージ118をプッシャー122の上方にそれぞれ位置させた後に、両ステージ116, 118を同時に移動させずれ違わせた後に、ステージ116をプッシャー122の上方に、ステージ118をリフタ120の上方にそれぞれ位置させることができるようになっている。また、基板ホルダ60は、揺動してプッシャー122およびリニアトランスポート114の上方に位置できるようになっている。 20

【0105】

次に、図3乃至図5に示す基板処理装置における基板処理工程の概略を、更に図6を参照して説明する。なお、この例は、図1(e)及び図6(a)に示すように、表面に銅めっきを施して、配線用凹部16の内部に配線材料としての銅22を充填するとともに、絶縁膜14上に銅22を堆積させた基板Wを用意し、この絶縁膜14上の銅22及びバリアメタル20を除去して、銅22の表面と絶縁膜14の表面とをほぼ同一平面にして、銅22からなる配線(銅配線)24を形成する例を説明する。

【0106】

先ず、前述のように、表面に配線材料としての銅22を形成した基板Wを収納し、ロード・アンロードステージ32にセットした基板カセット30から、1枚の基板Wを第1搬送口ポット36で取出し、この基板Wを、基板ステーション46の基板載置台44を経由して、第2搬送口ポット52で反転機110に搬送して反転させ、基板Wの銅22を形成した表面が下を向くようにする。次に、この反転後の基板Wを第2搬送口ポット52でリニアトランスポート114に搬送する。そして、基板ヘッド82を揺動させて、基板ホルダ60をリフタ120の直上方に移動させ、リフタ120を上昇させて、リニアトランスポート114からリフタ120で受け取って上昇させた基板Wを基板ホルダ60で吸着保持する。 30

【0107】

次に、基板ホルダ60で基板Wを保持したまま、基板ヘッド82を揺動させて、基板ホルダ60を加工テーブル76の上方に移動させる。しかる後、基板ホルダ60を下降させて、基板ホルダ60で保持した基板Wを加工テーブル76のイオン交換体74に接触させ、この状態で、加工テーブル76と基板ホルダ60とを回転させ、同時に純水、好ましくは超純水を加工テーブル76の上面のイオン交換体74に供給しながら、加工電極102と給電電極104との間に電圧を印加して、基板の表面(下面)の電解加工(第1ステップ)を行う。 40

【0108】

つまり、イオン交換体74により生成された水素イオンまたは水酸化物イオンによって、基板Wに設けられた銅22の電解加工を行うのであり、純水、好ましくは超純水がイオン交換体74の内部を流れるようにすることで、水素イオンまたは水酸化物イオンを多量に 50

生成し、これを基板Wの表面に供給することで、効率のよい電解加工を行うことができる。

【0109】

この電解加工方法では、液体として純水を使用した場合、基板表面の凹部の内部にも純水が存在し、純水そのものはほとんど電離されていないため、凹部内の純水と接している部分では基板の除去加工はほとんど進行しない。従って、イオンが豊富に存在するイオン交換体と接する部分のみで除去加工が進んでいき、通常の電解液を用いた電解加工方法よりも平坦化性能に優れているという利点がある。

【0110】

ここで、純水、好ましくは超純水がイオン交換体74の内部を流れるようにすることで、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る。従って、純水、好ましくは超純水の流れは必要で、また純水、好ましくは超純水の流れとしては、一様かつ均一であることが望ましく、一様かつ均一な流れとすることで、イオンの供給及び加工生成物の除去の一様性及び均一性、ひいては加工効率の一様性及び均一性を図ることができる。

10

【0111】

この時、加工電極102と給電電極104との間に印加する電圧、またはこの間に供給する電流を制御して加工レートを最適に調整するとともに、この時の電流値と加工時間の積から電気量を求め、この電気量が所定の値に達した時に、第1ステップとしての電解加工を終了する。なお、加工テーブル76に取付けた膜厚検知センサ109で銅22の膜厚を測定し、この膜厚が所定の値に達した時に、第1ステップとしての電解加工を終了するようにしてもよい。

20

【0112】

この第1ステップとしての電解加工は、図6(a)に示す、段差を有する銅22の表面を除去加工して、図6(b)に示すように、銅22の表面を平坦化する加工である。つまり、この電解加工は、銅22の凹凸面の凸部のみを選択的に、または優先的に除去加工して段差を解消する加工である。このため、基板Wと接触するイオン交換体74として、硬質のものを使用して、イオン交換体74の弾性変形による影響を少なくすることが好ましい。このように、イオン交換体74として、硬質のものを使用すると、段差解消特性に優れているものの、加工後の被加工面に物理的、化学的ダメージを受けやすく、段差は解消可能であるがダメージのない高品位な加工面を得にくい。しかし、仮に銅22の表面にダメージが発生しても、微小な加工ひずみやクラック、スクラッチなどのダメージ（表面欠陥）であれば、その後の加工ステップで欠陥の除去が可能である。このため、加工ステップ組合せの前半、特に最初に、つまり第1ステップとして、この段差解消ステップを行うことが望ましく、これにより、以降の加工ステップにおける加工方法の選択肢が広がり、性能のみならずコストやスループットをも考慮に入れた選択が可能となる。

30

【0113】

なお、この第1ステップ（段差解消ステップ）を、切削や研削で行ってもよく、また、CMP法で行ってもよい。CMP法の場合、通常使用されている高い押圧力（5～7psi）と低い相対運動（0.1～0.4m/sec）では、その工具の加工作用面に弾性変形による歪みが生じ、段差を解消することは困難であるが、高いヤング率の工具、または低い圧力（0.1～3psi程度）、高い相対速度（0.5～10m/sec）の条件で加工することで段差解消を実現出来る。

40

【0114】

第1ステップは、更に、銅の表面を酸化し、かつ当該酸化された銅のキレート膜（不動態化膜）を形成するキレート膜形成工程と、銅の凹凸に応じて前記キレート膜の凸部分を選択的にスクラブ除去し、当該凸部分の銅を表面に露出させるキレート膜除去工程と、銅の凸部が平坦化されるまで、前記キレート膜形成工程と前記キレート膜除去工程とを繰り返

50

し行うようにした複合電解加工方法で行うようにしてもよい。この加工方法は、CMPと加工原理はほぼ同様であるが、銅の表面酸化を電気力でアシストし、被加工表面を機械的に弱い酸化膜で覆って、工具と接触する加工表面のみを加工でき、段差解消方法として使用することが出来る。更に酸化膜厚を制御可能であるため、速い平坦加速度を実現可能である。更に、工具と基板の加工圧力を0.1以上3psi以下に抑えることにより、欠陥のない加工が可能である。

【0115】

装置形態としては、前述の図5に基づいたものを用い、図5で配置したイオン交換体74の代わりに、通液性をもたせた研磨パッド等を装着させる。この時、使用する電解液に砥粒を含有させる、もしくは電解液とは別にスラリーを供給することによって、機械的作用を強め、複合電解加工方法としてもよい。

10

【0116】

次に、前述の同様に、基板ホルダ60で保持した基板Wを加工テーブル76のイオン交換体74に接触させ、この状態で、加工テーブル76と基板ホルダ60とを回転させ、同時に純水、好ましくは超純水を加工テーブル76の上面のイオン交換体74に供給しながら、加工電極102と給電電極104との間に電圧を印加して、基板の表面(下面)の電解加工(第2ステップ)を行う。つまり、この第2ステップの電解加工では、第1ステップと同じ電解加工であっても、加工条件を変更して、加工レートを上げ、これによって、スループットを向上させる。

【0117】

この第2ステップとしての電解加工は、図6(b)に示す、平坦化した銅22の表面を均一に除去加工して、図6(c)に示すように、例えば非配線部分に位置するバリアメタル20上に銅22の膜厚が、例えば数~数百nmとなるまで薄膜化するか、または一部を非配線部のバリアメタル20の上に残すまで銅22を除去加工するステップであり、例えば渦電流式や光学式の膜厚検知センサ109で銅22の膜厚を測定して、この膜厚が所定の値に達した時に、このステップを終了する。このため、この第2ステップは、均一な銅22の除去加工を行うことができ、且つ銅22の堆積量が大きい場合には、高速で加工可能な加工方法を使用することが望ましい。

20

【0118】

この第2ステップは、バリアメタル20が加工面に現れる前に加工ステップを終了するため、非常に簡略化された加工系で加工が実現でき、高品位の加工が可能である。バリアメタル20が表出しないため、前述の電解加工の他に、複合電解加工のような電気力を利用した加工方法、または一般の電解エッチングなどの加工方法で安定した均一性の高い加工が可能となる。

30

【0119】

一般に、CMPでこの第2ステップの加工を行う場合、段差解消と同じプロセスで行うことが提案されている。しかし、段差解消ステップ(第1ステップ)とは独立させて、平坦化面を均一に加工し、薄膜化するステップに特化することにより、高速で且つ均一加工に有利なプロセス条件で加工することが可能になる。もし、前述のステップ(第1ステップ)とこのステップ(第2ステップ)を同じ加工工具を用いて行う場合、このステップ(第2ステップ)では、前述のステップ(第1ステップ)よりも加工圧力を高くしたり、相対速度を高めたりして、平坦化後の削り増しを高速で行うことが望ましい。

40

【0120】

複合電解加工は、前述と同様に、電解による配線材料表面の陽極酸化とキレート化と、接触部材との接触によるスクラブ研磨を組み合わせた加工方法であり、例えば電解液を含むスラリーまたは電解液を含む薬液を外部から供給しながら、研磨パッド加工面と基板の間に電界をかけつつ、スクラブ除去することにより加工が進行する。化学研磨や電解加工、複合電解加工、電解研磨など、電気力を利用した物理的加工や、電気化学による加工を使用するプロセスを使うことにより、従来物理的な加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こす非常に弱い物理力によって除去加工を行い、これにより、塑性変形による加工変質

50

層や転位等の欠陥が発生することを防止して、材料の特性を損なわずに加工を行うことが出来る。更に、電気力を使用するプロセスは、加工速度の制御が容易であるばかりでなく、高速加工を実現可能である。

【0121】

なお、例えば、段差解消性の優れ、純水、好ましく超純水を使用して汚染のない電解加工方法をこのステップ（第2ステップ）にも採用し、前述の段差解消ステップ（第1ステップ）とこのステップ（第2ステップ）を同じ条件で連続して行うことで、スループットを向上させることができる。

【0122】

なお、この第2ステップを、一般の電解加工で行うこともでき、この種の電解加工によれば、物理的欠陥がない高品位な加工面が得られると同時に、高速な均一な加工が可能である。更に、ケミカルエッチングで行うこともできる。ケミカルエッチングは、等方的であり且つ高速な加工原理からこの第2ステップに有効な加工方法である。更に、平坦化特性に有利なスラリーや薬液（ H_2O_2 などの酸化剤やBTAなどの防腐剤）の高速相対速度を利用したエッチングも有効である。例えば、他工程で使用されるスピコートと同様の装置を使用し、基板の被加工面に対し、スラリーまたは薬液をほぼ並行に基板に向けて噴射すること、またはそれら液体を高速に流すことの可能な水槽に、流れに対して加工面が水平となるように基板を配置するなどして加工できる。この方法は、前述の段差解消ステップ（第1ステップ）にも使用できる。

【0123】

更に、導電性材料が粒界などを含む場合には、ケミカルエッチングのみでは等方性を維持できない場合があるが、このような場合に、RIEなどのドライエッチングも使用できる。

【0124】

なお、この第2ステップは、非配線部分の銅22の膜厚が、例えば300nm以下になったところで終了する。第2ステップを電解加工で行う場合は、電解加工ではピットが生じることがあり、最大のピット深度を多めに考慮した場合は、銅22の膜厚が400nm以下になった時点で第2ステップを終了するようにしてもよいが、電解加工の高速研磨のメリットを生かすために、通常は300nm以下、もしくは200nm以下、好ましくは100nm以下、更に好ましくは50nm以下になるまで電解加工（第2ステップ）を行うようにすることが好ましい。

そして、電解加工（第1ステップ及び第2ステップ）完了後、電源の接続を切り、基板ホルダ60を上昇させて、加工テーブル76と基板ホルダ60の回転を停止させる。

【0125】

次に、基板ホルダ60で基板Wを保持した状態で、基板ヘッド82を揺動させて、基板ホルダ60を研磨テーブル68の直上方に移動させる。しかる後、基板ホルダ60を下降させ、基板ホルダ60で保持した基板Wを研磨テーブル68の研磨パッド66に所定の押圧力で押圧する。この状態で、研磨テーブル68と基板ホルダ60とを回転させ、同時に液体供給ノズル70から研磨パッド66に液体（研磨液）を供給して、基板Wの表面（下面）の第3ステップとしての第1CMP（化学機械的研磨）を行う。

【0126】

この第3ステップは、図6(c)に示す、薄膜化した銅22またはバリアメタル20の上に一部残った銅22を除去し、図6(d)に示すように、バリアメタル20を表出させるか、または加工するステップであり、例えば、加工テーブル68に備えられた膜厚検知センサからの信号及び/または時間管理によって、この加工を終了する。つまり、この第3ステップは、銅22を薄膜化するステップ（第2ステップ）と同様に、銅22のみを加工するステップであるが、加工ステップ終了時に、バリアメタル20が表出するステップであるため、加工終了を適切に判断し、また銅22とバリアメタル20の加工選択比を1付近にした加工を行う必要がある。更に加工量は、数nm～数十nmと非常に少なく、加工速度が要求されないが、その代わりに、バリアメタル20が表出するため、選択比の調整

10

20

30

40

50

が必要であると同時に、銅 22 とバリアメタル 20 の表面に大きなダメージを残存させないプロセスが要求される。

【0127】

このため、この第3ステップは、この例のように、CMP に行う場合には、研磨速度を遅く、かつ基板 W を研磨パッド 66 に低圧で押し付ける、精密な加工を行う。また、銅 22 とバリアメタル 20 の加工速度を同程度にする（選択比 1 付近）ように加工環境、加工条件を調整する。

【0128】

つまり、一般に、配線材料としての銅は、結晶粒界が存在するため、一般的な CMP 法では加工異方性が存在し、平坦な加工が困難である。更に欠陥の発生に対してもプロセスを調整する必要がある。そのため、固定砥粒など高ヤング率の研磨パッド（工具）66 を使用し且つ弾性変形を抑えることで対応が可能である。その際、欠陥対策にも注意が必要であり、より低圧で加工することが望ましい。望ましい圧力としては、加工対象材料やデバイス構造などにもよるが、現状の CMP で一般に使用されている 5 ~ 7 p s i より低圧な 0 . 1 ~ 3 p s i 程度が望ましい。また、前述のステップ（第2ステップ）よりも低圧にすることが望ましい。

10

【0129】

または、バリアメタル 20 を殆ど加工しない条件で、且つバリアメタル 20 が表出した直後に銅 22 の加工を停止することが可能な、特殊なプロセスを使用するようにしてもよい。この場合、高度にケミカル調整した CMP や触媒を利用した（純水）電解加工方法などが使用できる。配線材料に銅以外のエッチング可能な材質を使用する場合には、工具接触のない電解加工、ドライエッチング、ケミカルエッチングなども使用できる。

20

【0130】

また、この第3ステップにあっては、異種材料であるバリアメタル 20 が表出したことを感知して、加工を終了することが平坦化を維持するためには重要である。配線材料が銅である場合、この終点検知装置として、渦電流式の膜厚検知センサが使用出来る。また、配線材料とバリア材料における光等の透過率、屈折率、反射率が異なる場合には、終点検知装置として、光学式の膜厚検知センサ（光学式センサ）も利用でき、反射率の違いを検知することが可能な光学式センサ（エンドポイントディテクター）の使用が実用上望ましい。

30

【0131】

第3ステップの加工方法としては、各種電解加工なども適用可能であるが、銅が徐々に少なくなってくるので、砥粒を使用する機械的研磨を含む加工方法が適する。そして、この第3ステップ終了後、必要に応じて、研磨テーブル 68 上に純水または水を供給し、更に基板への押圧力を低くして、異物を除去する水ポリッシングを行う。

【0132】

次に、前述と同様に、基板ホルダ 60 で保持した基板 W を研磨テーブル 68 の研磨パッド 66 に所定の押圧力で押圧し、この状態で、研磨テーブル 68 と基板ホルダ 60 とを回転させ、同時に液体供給ノズル 70 から研磨パッド 66 に液体（研磨液）を供給して、基板 W の表面（下面）の第4ステップとしての第2 CMP（化学機械的研磨）を行う。

40

【0133】

この第4ステップは、図 6（d）に示す、バリアメタル 20 が表出した基板の該バリアメタル 20 と配線部の銅 22 を同時に研磨して、図 6（e）に示すように、非配線部分のバリアメタル 20 が薄膜化するまでバリアメタル 20 と銅 22 を同時に除去するステップであり、バリアメタル 20 の膜厚を研磨テーブル 68 に備えられた膜厚検知センサで測定し、この膜厚が所定の値に達した時に、この加工を終了する。つまり、この第4ステップは、配線部の銅 22 を除去し、配線溝やビアホールを覆うように堆積（成膜）したバリアメタル 20 も同時に除去するステップであるため、必ず異種材料（配線材料とバリア材料）を同時に加工するステップとなる。また、前述の各ステップより欠陥制御性に優れ、欠陥の発生をより確実に防止した加工方法及び加工条件を必要とする。つまり、前述の

50

プロセスで得られた平坦化面を維持しながら、異種材料（配線材料とバリア材料）を同時に加工するため、化学的または電気化学的加工方法では高度に制御された加工条件が必要となる。

【0134】

ここで、この例のように、バリア材料が電気導電材料（バリアメタル）の場合、配線材料としての電気導通材料とバリアメタルとしての電気導通材料の加工速度比（選択比）を1付近に調整した加工条件が必要であり、この条件に合致するようにケミカル調整された電解液（ H_2O_2 などの酸化剤やBTAなどの防腐剤を添加したもの）や薬液を供給しながら電気化学加工することにより、この要求を満たすことができる。なお、このステップの処理時間や次ステップの加工精度にもよるが、選択比（バリアメタルに対する配線材料の加工速度比）を0.25～4.0程度、好ましくは0.5～2.0程度にすることが望ましい。

10

【0135】

また、同様に、選択比を1付近に調整したケミカル条件（研磨液に H_2O_2 などの酸化剤やBTAなどの防腐剤を添加したもの）や低い押圧圧力、高速相対速度で加工する条件下で、樹脂または砥粒入り樹脂などの研磨パッド66上にスラリーまたは薬液を供給し、基板Wを前記研磨パッド66に押圧することによって加工する固定砥粒CMPや、下記のようなアブレッシブフリー薬液によるCMPを含むCMPを用いることにより、第4ステップ加工を実現可能である。

【0136】

また、機械的加工を利用しているCMP法や複合電解加工では、高速相対運動を利用することにより選択性を調整可能であり、且つ低い押圧圧力で欠陥の少ない加工を実現可能である。更に、この第4ステップを、触媒を利用した（純水）電解加工法で行ってもよく、この方法では、接触部を優先的に加工できることから、平坦性を維持しつつ加工することが可能である。

20

【0137】

また、バリア材料が絶縁材料の場合にも、この第4ステップの加工方法として、化学的機械的加工（CMP）が利用でき、前述と同様にして樹脂または砥粒入り樹脂などの研磨パッド上にスラリーまたは薬液を供給し、基板を前記研磨パッドに押圧することによって加工する固定砥粒CMPまたはアブレッシブフリー薬液によるCMPを含むCMPが利用で

30

きる。選択比をケミカル制御された場合には、ケミカルエッチングでも加工できる。また、平坦化特性に有利なスラリーや薬液の高速相対速度を利用したエッチングも利用できる。

【0138】

更に、バリア材料が難加工材料の場合、配線材料の加工とバリア材料の加工を独立に行ってもよい。その場合、配線材料にフォトレジストによるマスクを行いドライエッチングでバリア材料を加工することが出来る。

そして、この第4ステップ終了後、必要に応じて、研磨テーブル68上に水を供給して低圧力で異物を除去する水ポリッシングを行う。

【0139】

次に、前述と同様に、基板ホルダ60で保持した基板Wを研磨テーブル68の研磨パッド66に所定の押圧力で押圧し、この状態で、研磨テーブル68と基板ホルダ60とを回転させ、同時に液体供給ノズル70から研磨パッド66に液体（研磨液）を供給して、基板Wの表面（下面）の第5ステップとしての第3CMP（化学機械的研磨）を行う。

40

【0140】

この第5ステップは、図6（e）に示す、銅22及び薄膜化したバリアメタル20を同時に除去し、図6（f）に示すように、非配線部分の絶縁膜14を表出させるか、または加工するステップであり、例えば、研磨テーブル68に備えられた膜厚検知センサからの信号と時間管理によって、この加工を終了する。つまり、この第5ステップは、前述した銅22とバリアメタル20を除去してバリアメタル20を薄膜化する第4ステップと同様に

50

、同材質を加工するステップであるが、加工ステップ終了時に、絶縁膜 14 が表出するステップであるため、加工終了を適切に判断し、銅 22 とバリアメタル 20 と絶縁膜 14 の加工選択比を 1 : 1 : 1 付近にした加工を行う必要がある。更に加工量は、数 nm ~ 数十 nm と非常に少なく、加工速度を要求されないが、その代わりに、異種材質としての絶縁膜 14 が表出するため、選択比の調整が必要であると同時に、銅 22、バリアメタル 20 及び絶縁膜 14 の表面に小さなダメージも残存させないプロセスが要求される。

【0141】

よって、平坦性に優れ、且つ欠陥発生が少ない、機械的作用を含む加工方法を選択することが望ましいが、機械的作用を含む加工方法の場合、絶縁膜 14 が表出と同時に、絶縁膜 14 が同時に加工されてしまう。そのため、銅 22、バリアメタル 20 及び絶縁膜 14 の加工速度を同程度にする（選択比 1 : 1 : 1 付近）ような加工環境、加工条件を調整することでこのステップを実現できる。

10

【0142】

ただし、加工終了面までの深さが数 nm 程度と浅いため、特に欠陥対策にも注意が必要であり、より低圧で加工することが望ましい。つまり、この例のように、この第 5 ステップを、固定砥粒 CMP で行う場合には、この第 5 ステップは、最終的な仕上げに当たり、また絶縁膜 14 として、ULK（超低誘電率素材）を使用した場合に、このULKが露出するため、各ステップ中最も精密に低圧で加工することが求められる。このCMPによる第 5 ステップにおける望ましい圧力としては、加工対象材料やデバイス構造などにもよるが、現状のCMPで一般に使用されている 5 ~ 7 psi より低圧な 0.1 ~ 3 psi が望ましく、前述の第 4 ステップよりも更に低圧な、1 psi 以下であることが更に好ましい。また、基板 W と研磨パッド 66 との相対速度を第 4 ステップよりも上昇させるとよい。更に、より低圧にして、基板 W と研磨パッド 66 との間の液体によるハイドロプレーニング研磨を行ってもよい。

20

【0143】

または、絶縁膜 14 を殆ど加工しない条件で、且つ絶縁膜 14 が表出した直後に、銅 22 及びバリアメタル 20 の加工をストップ可能な、特殊なプロセスを使用するようにしてもよい。この場合、非常に高度にケミカル調整したCMPや触媒を利用した（純水）電解加工方法などが使用できる。また、工具接触のない電解加工、ドライエッチング、ケミカルエッチングなども適宜利用できる。

30

【0144】

また、絶縁膜 14 が表出することを感知し、加工を終了することが平坦化を維持するために重要である。配線材料が銅である場合、終点検知装置として、渦電流式の膜厚検知センサが使用出来る。また、バリア材料と絶縁材料の光等の反射率が異なる場合には、終点検知装置として、光学式センサも利用できる。

今後、技術ノードが小さくなるとバリア材料の薄膜化が進み、このステップ（第 5 ステップ）は、前後ステップと同様のステップで加工を行っても、すなわち、第 4 ステップと第 5 ステップを併合させても、平坦化が崩れることなく、加工できる場合があると考えられる。

そして、この第 5 ステップ終了後、必要に応じて、研磨テーブル 68 上に水を供給しつつ基板押圧力を下げて低圧力で異物を除去する水ポリッシングを行う。

40

【0145】

次に、必要に応じて、前述と同様に、基板ホルダ 60 で保持した基板 W を研磨テーブル 68 の研磨パッド 66 に所定の押圧力で押圧し、この状態で、研磨テーブル 68 と基板ホルダ 60 とを回転させ、同時に液体供給ノズル 70 から研磨パッド 66 に液体（研磨液）を供給して、基板 W の表面（下面）の第 6 ステップとしての第 4 CMP（化学機械的研磨）を行う。

【0146】

この第 6 ステップは、図 6 (f) に示す、銅 22 及びバリアメタル 20 を除去して絶縁膜 14 を表出させた基板 W の表面を更に研磨して、図 6 (g) に示すように、銅 22、バリ

50

アマタル 20 及び絶縁膜 14 の削り込みを行うステップであり、そのため、銅 22、バリアマタル 20 及び絶縁膜 14 の加工速度を同程度にする（選択比 1 : 1 : 1 付近）ような加工環境、加工条件を調整することでこのステップを実現でき、例えば、研磨テーブル 68 に備えられた膜厚検知センサからの信号と時間管理によって、この加工を終了する。この第 6 ステップは、配線部や絶縁部の加工が終了し、加工後の加工面がそのままデバイス性能に影響することから、欠陥の発生を制御したり、平坦性を確保したりする上で重要な加工プロセスである。この第 6 ステップは、必要に応じて行われるもので、この第 6 ステップの以前に行ったステップで発生した欠陥を除去することを目的とする。そのため、欠陥の発生しない加工方法を選定することが望ましい。

【0147】

この第 6 ステップは、加工対象に電気化学的安定であることが要求される絶縁膜（絶縁材料）14 が含まれることから、樹脂（粒子）または砥粒入り樹脂などの研磨パッド上にスラリーまたは薬液を供給し、基板を前記研磨パッドに押圧することによって加工する固定砥粒 CMP またはアプレッシブフリー薬液による CMP を含む CMP、またはドライエッチングやケミカルエッチングなどが好ましく、更に好ましくは、弱い物理的作用を伴う加工方法であることが望ましい。更に、例えば 3 p s i 以下の低圧で加工することで、欠陥のない加工を実現できる。

【0148】

例えば、CMP の場合、非常に微細な砥粒、樹脂粒子、樹脂粒子や界面活性剤を核とした砥粒担持複合砥粒、砥粒の周りに界面活性剤や高分子などの保護膜をもち、押圧力によって保護膜から突出した砥粒部分のみで加工できる複合粒子など特殊な砥粒を含有したスラリーを使用することで、この加工を実現できる。また、ケミカルで絶縁材料の最表面を軟化または脆性化し、その変質部分を加工する、光による最表面変質化（光触媒の併用も可能）など特殊なケミカル調整を行うことでも、この加工を実現できる。

そして、この第 6 ステップ終了後、必要に応じて、研磨テーブル 68 上に水を供給して低圧力で異物を除去する水ポリッシングを行う。

次に、基板ホルダ 60 を上昇させ、研磨テーブル 68 と基板ホルダ 60 の回転を停止し、更に液体の供給を停止して化学機械的研磨を終了する。

【0149】

この研磨終了後、基板ヘッド 82 を揺動させて、基板 W を、プッシャー 122 を介してリニアトランスポータ 114 に受け渡す。第 2 搬送口ボット 52 は、このリニアトランスポータ 114 から基板 W を受取り、必要に応じて反転機 110 に搬送して反転させ、更に洗浄機 54 に搬送して第 1 次洗浄を行い、更に洗浄機 42 に搬送して仕上げ洗浄・スピン乾燥を行う。しかる後、この乾燥後の基板を第 1 搬送口ボット 36 でロード・アンロードステージ 32 の基板カセット 30 に戻す。

【0150】

なお、上記例では、電解加工部 64 に純水、好ましくは超純水を供給した例を示している。このように電解質を含まない純水、好ましく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。更に、電解によって溶解した銅イオン等が、イオン交換体 74 にイオン交換反応で即座に捕捉されるため、溶解した銅イオン等が基板 W の他の部分に再度析出したり、酸化されて微粒子となり基板 W の表面を汚染したりすることがない。

【0151】

ここで、超純水は、比抵抗が大きく電流が流れ難いため、電極と被加工物との距離を極力短くしたり、電極と被加工物との間にイオン交換体を挟むことで電気抵抗を低減したりしているが、さらに電解液を組み合わせることで、更に電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。なお、電解液による加工では、被加工物の加工される部分が加工電極よりやや広い範囲に及ぶが、超純水とイオン交換体の組合せでは、超純水にほとんど電流が流れないため、被加工物の加工電極とイオン交換体が投影された範囲内のみが加工されることになる。

10

20

30

40

50

【0152】

また、純水または超純水の代わりに、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、さらに電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。また、被加工物の除去加工速度が上昇する。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が使用でき、被加工物の特性によって適宜選択して使用すればよい。

【0153】

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とイオン交換体74の界面にイオンの移動を防ぐ一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、 $100\ \text{ppm}$ 以下が望ましい。なお、電気伝導度の値があまり高いと電流効率が下がり、加工速度が遅くなるが、 $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の電気伝導度を有する液体を使用することで、所望の加工速度を得ることができる。

【0154】

また、電解加工部64では、基板Wと加工電極102及び給電電極104との間にイオン交換体74を挟むことで、加工速度を大幅に向上させることができる。つまり、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 $10^{-7}\ \text{mol}/\text{L}$ 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。

【0155】

ここで、例えばイオン交換体74としてカチオン交換基を付与したものを使用して銅の電解加工を行うと、加工終了後に銅がイオン交換体（カチオン交換体）74のイオン交換基を飽和しており、次の加工を行う時の加工効率が悪くなる。また、イオン交換体74としてアニオン交換基を付与したものを使用して銅の電解加工を行うと、イオン交換体（アニオン交換体）74の表面に銅の酸化物の微粒子が生成されて付着し、次の処理基板の表面を汚染するおそれがある。

【0156】

そこで、このような場合に、揺動アーム94に取付けた再生ヘッド96を加工テーブル76のイオン交換体74に近接乃至接触させ、この状態で、電源108を介してイオン交換体74に加工時とは逆の電位を与え、イオン交換体74に付着した銅等の付着物の溶解を促進させることで、加工中にイオン交換体74を再生する。この場合、再生されたイオン交換体74は、加工テーブル76の上面に供給される純水または超純水でリンスされる。

【0157】

上記の例では、第6ステップ終了後、基板Wを洗浄・乾燥させて基板Wを基板カセット30に戻すようにしているが、例えば一对の洗浄機42または一对の洗浄機54の少なくとも一つを無電解めっき装置に置換え、この無電解めっき装置で、図7に示すように、配線24の露出表面に、Co合金やNi合金等からなる保護膜26を選択的に形成し、この保護膜26によって、配線24の表面を保護するようにしてもよい。つまり、例えば、配線24をCMP等で露出させ、洗浄した後、直ちに配線24の露出表面を保護膜26で覆っ

10

20

30

40

50

て保護することで、銅配線の腐食を防止することができる。配線部を保護膜26で覆った後、基板を洗浄機で洗浄し乾燥させて、カセット30に戻す。

【0158】

図8は、この無電解めっき装置の一例を示す。この無電解めっき装置は、基板Wをその上面に保持する保持手段911と、保持手段911に保持された基板Wの被めっき面(上面)の周縁部に当接して該周縁部をシールする堰部材931と、堰部材931でその周縁部をシールされた基板Wの被めっき面にめっき液を供給するシャワーヘッド941を備えている。無電解めっき装置は、さらに保持手段911の上部外周近傍に設置されて基板Wの被めっき面に洗浄液を供給する洗浄液供給手段951と、排出された洗浄液等(めっき廃液)を回収する回収容器961と、基板W上に保持しためっき液を吸引して回収するめっき液回収ノズル965と、保持手段911を回転駆動するモータMとを備えている。

10

【0159】

保持手段911は、その上面に基板Wを載置して保持する基板載置部913を有している。この基板載置部913は、基板Wを載置して固定するように構成されており、具体的には基板Wをその裏面側に真空吸着する図示しない真空吸着機構を有している。一方、基板載置部913の裏面側には、面状であって基板Wの被めっき面を下面側から暖めて保温する裏面ヒータ915が設置されている。この裏面ヒータ915は、例えばラバーヒータによって構成されている。この保持手段911は、モータMによって回転駆動されると共に、図示しない昇降手段によって上下動できるように構成されている。

堰部材931は、筒状であってその下部に基板Wの外周縁をシールするシール部933を有し、図示の位置から上下動しないようになっている。

20

【0160】

シャワーヘッド941は、先端に多数のノズルを設けることで、供給されためっき液をシャワー状に分散して基板Wの被めっき面に略均一に供給する構造のものである。また洗浄液供給手段951は、ノズル953から洗浄液を噴出する構造である。めっき液回収ノズル965は、上下動且つ回転でき、その先端が基板Wの上面周縁部の堰部材931の内側に下降して基板W上のめっき液を吸引するように構成されている。

【0161】

次に、この無電解めっき装置の動作を説明する。まず図示の状態よりも保持手段911を下降させて堰部材931との間に所定寸法の隙間を設け、基板載置部913に基板Wを載置・固定する。

30

次に、保持手段911を上昇させて、図示のようにその上面を堰部材931の下面に当接させ、同時に基板Wの外周を堰部材931のシール部933によってシールする。このとき基板Wの表面は開放された状態となっている。

【0162】

次に、裏面ヒータ915によって基板W自体を直接加熱して、シャワーヘッド941から、例えば50に加熱されためっき液を噴出して基板Wの表面の略全体にめっき液を降り注ぐ。基板Wの表面は、堰部材931によって囲まれているので、注入しためっき液は全て基板Wの表面に保持される。供給するめっき液の量は、基板Wの表面に1mm厚(約30ml)となる程度の少量で良い。なお被めっき面上に保持するめっき液の深さは10mm以下であれば良く、この例のように1mmでも良い。この例のように供給するめっき液が少量で済めばこれを加熱する加熱装置も小型のもので良くなる。

40

【0163】

このように基板W自体を加熱するように構成すれば、加熱するのに大きな消費電力の必要なめっき液の温度をそれほど高く昇温しなくても良いので、消費電力の低減化やめっき液の材質変化の防止が図れ、好適である。なお基板W自体の加熱のための消費電力は小さくて良く、また基板W上に溜めるめっき液の量は少ないので、裏面ヒータ915による基板Wの保温は容易に行え、裏面ヒータ915の容量は小さくて良く装置のコンパクト化を図ることができる。また基板W自体を直接冷却する手段を用いれば、めっき中に加熱・冷却を切替えてめっき条件を変化させることも可能である。半導体基板上に保持されているめ

50

つき液は少量なので、感度良く温度制御が行える。

【0164】

そして、モータMによって基板Wを瞬時回転させて被めつき面の均一な液濡れを行い、その後基板Wを静止した状態で被めつき面のめつきを行う。具体的には、基板Wを1secだけ100rpm以下で回転して基板Wの被めつき面上をめつき液で均一に濡らし、その後静止させて1min間無電解めつきを行わせる。なお瞬時回転時間は長くても10sec以下とする。

【0165】

上記めつき処理が完了した後、めつき液回収ノズル965の先端を基板Wの表面周縁部の堰部材931の内側近傍に下降させ、めつき液を吸い込む。このとき基板Wを例えば100rpm以下の回転速度で回転させれば、基板W上に残っためつき液を遠心力で基板Wの周縁部の堰部材931の部分に集めることができ、効率良く、且つ高い回収率でめつき液の回収ができる。そして保持手段911を下降させて基板Wを堰部材931から離し、基板Wの回転を開始して洗浄液供給手段951のノズル953から洗浄液(超純水)を基板Wの被めつき面に噴射して被めつき面を冷却すると同時に希釈化・洗浄することで無電解めつき反応を停止させる。このときノズル953から噴射される洗浄液を堰部材931にも当てることで堰部材931の洗浄を同時に行っても良い。このときのめつき廃液は、回収容器961に回収され、廃棄される。

【0166】

なお、一度使用しためつき液は再利用せず、使い捨てとする。前述のようにこの装置において使用されるめつき液の量は従来に比べて非常に少なくできるので、再利用しなくても廃棄するめつき液の量は少ない。なお場合によってはめつき液回収ノズル965を設置しないで、使用後のめつき液も洗浄液と共にめつき廃液として回収容器961に回収しても良い。

そしてモータMによって基板Wを高速回転してスピン乾燥した後、保持手段911から取出す。

【0167】

図9は、他の無電解めつき装置の概略構成図である。図9において、前記の図8に示す例と相違する点は、保持手段911内に裏面ヒータ915を設ける代わりに、保持手段911の上方にランプヒータ(加熱手段)917を設置し、このランプヒータ917とシャワーヘッド941-2とを一体化した点である。即ち、例えば複数の半径の異なるリング状のランプヒータ917を同心円状に設置し、ランプヒータ917の間の隙間からシャワーヘッド941-2の多数のノズル943-2をリング状に開口させている。なおランプヒータ917としては、渦巻状の一本のランプヒータで構成しても良いし、さらにそれ以外の各種構造・配置のランプヒータで構成しても良い。

【0168】

このように構成しても、めつき液は、各ノズル943-2から基板Wの被めつき面上にシャワー状に略均等に供給でき、またランプヒータ917によって基板Wの加熱・保温も直接均一に行える。ランプヒータ917の場合、基板Wとめつき液の他に、その周囲の空気をも加熱するので基板Wの保温効果もある。

【0169】

なおランプヒータ917によって基板Wを直接加熱するには、比較的大きい消費電力のランプヒータ917が必要になるので、その代わりに比較的小さい消費電力のランプヒータ917と前記図8に示す裏面ヒータ915とを併用して、基板Wは主として裏面ヒータ915によって加熱し、めつき液と周囲の空気の保温は主としてランプヒータ917によって行うようにしても良い。また、基板Wを直接、または間接的に冷却する手段をも設けて、温度制御を行っても良い。

【0170】

図10乃至図15は、更に他の無電解めつき装置を示す。この無電解めつき装置は、めつき槽200と、このめつき槽200の上方に配置されて基板Wを着脱自在に保持する基板

10

20

30

40

50

ヘッド204を有している。

【0171】

基板ヘッド204は、図10に詳細に示すように、ハウジング部230とヘッド部232とを有し、このヘッド部232は、吸着ヘッド234と該吸着ヘッド234の周囲を圍繞する基板受け236から主に構成されている。そして、ハウジング部230の内部には、基板回転用モータ238と基板受け駆動用シリンダ240が収納され、この基板回転用モータ238の出力軸(中空軸)242の上端はロータリジョイント244に、下端はヘッド部232の吸着ヘッド234にそれぞれ連結され、基板受け駆動用シリンダ240のロッドは、ヘッド部232の基板受け236に連結されている。更に、ハウジング部230の内部には、基板受け236の上昇を機械的に規制するストッパ246が設けられている。

10

【0172】

ここで、吸着ヘッド234と基板受け236との間には、同様なスプライン構造を採用しており、基板受け駆動用シリンダ240の作動に伴って基板受け236は吸着ヘッド234と相対的に上下動するが、基板回転用モータ238の駆動によって出力軸242が回転すると、この出力軸242の回転に伴って、吸着ヘッド234と基板受け236が一体に回転するように構成されている。

【0173】

吸着ヘッド234の下面周縁部には、図11乃至図13に詳細に示すように、下面をシール面として基板Wを吸着保持する吸着リング250が押えリング251を介して取付けられ、この吸着リング250の下面に円周方向に連続させて設けた凹状部250aと吸着ヘッド234内を延びる真空ライン252とが吸着リング250に設けた連通孔250bを介して互いに連通するようになっている。これにより、凹状部250a内を真空引きすることで、基板Wを吸着保持するのであり、このように、小さな幅(径方向)で円周状に真空引きして基板Wを保持することで、真空による基板Wへの影響(たわみ等)を最小限に抑え、しかも吸着リング250をめっき液(処理液)中に浸すことで、基板Wの表面(下面)のみならず、エッジについても、全てめっき液に浸すことが可能となる。基板Wのリリースは、真空ライン252にN₂を供給して行う。

20

【0174】

一方、基板受け236は、下方に開口した有底円筒状に形成され、その周壁には、基板Wを内部に挿入する基板挿入窓236aが設けられ、下端には、内方に突出する円板状の爪部254が設けられている。更に、この爪部254の上部には、基板Wの案内となるテーパ面256aを内周面に有する突起片256が備えられている。

30

【0175】

これにより、図11に示すように、基板受け236を下降させた状態で、基板Wを基板挿入窓236aから基板受け236の内部に挿入する。すると、この基板Wは、突起片256のテーパ面256aに案内され、位置決めされて爪部254の上面の所定位置に載置保持される。この状態で、基板受け236を上昇させ、図12に示すように、この基板受け236の爪部254上に載置保持した基板Wの上面を吸着ヘッド234の吸着リング250に当接させる。次に、真空ライン252を通して吸着リング250の凹状部250aを真空引きすることで、基板Wの上面の周縁部を該吸着リング250の下面にシールしながら基板Wを吸着保持する。そして、めっき処理を行う際には、図13に示すように、基板受け236を数mm下降させ、基板Wを爪部254から離して、吸着リング250のみで吸着保持した状態となす。これにより、基板Wの表面(下面)の周縁部が、爪部254の存在によってめっきされなくなることを防止することができる。

40

【0176】

図14は、めっき槽200の詳細を示す。このめっき槽200は、底部において、めっき液供給管(図示せず)に接続され、周壁部にめっき液回収溝260が設けられている。めっき槽200の内部には、ここを上方に向かって流れるめっき液の流れを安定させる2枚の整流板262, 264が配置され、更に底部には、めっき槽200の内部に導入される

50

めっき液の液温を測定する温度測定器 266 が設置されている。また、めっき槽 200 の周壁外周面のめっき槽 200 で保持しためっき液の液面よりやや上方に位置して、直径方向のやや斜め上方に向けてめっき槽 200 の内部に、pH が 6 ~ 7.5 の中性液からなる停止液、例えば純水を噴射する噴射ノズル 268 が設置されている。これにより、めっき終了後、ヘッド部 232 で保持した基板 W をめっき液の液面よりやや上方まで引き上げて一旦停止させ、この状態で、基板 W に向けて噴射ノズル 268 から純水（停止液）を噴射して基板 W を直ちに冷却し、これによって、基板 W に残っためっき液によってめっきが進行してしまうことを防止することができる。

【0177】

更に、めっき槽 200 の上端開口部には、アイドリング時等のめっき処理の行われていない時に、めっき槽 200 の上端開口部を閉じて該めっき槽 200 からのめっき液の無駄な蒸発を防止するめっき槽カバー 270 が開閉自在に設置されている。

10

【0178】

図 15 は、めっき槽 200 の側方に付設されている洗浄槽 202 の詳細を示す。この洗浄槽 202 の底部には、純水等のリンス液を上方に向けて噴射する複数の噴射ノズル 280 がノズル板 282 に取付けられて配置され、このノズル板 282 は、ノズル上下軸 284 の上端に連結されている。更に、このノズル上下軸 284 は、ノズル位置調整用ねじ 287 と該ねじ 287 と螺合するナット 288 との螺合位置を変えることで上下動し、これによって、噴射ノズル 280 と該噴射ノズル 280 の上方に配置される基板 W との距離を最適に調整できるようになっている。

20

【0179】

更に、洗浄槽 202 の周壁外周面の噴射ノズル 280 より上方に位置して、直径方向のやや斜め下方に向けて洗浄槽 202 の内部に純水等の洗浄液を噴射して、基板ヘッド 204 のヘッド部 232 の、少なくともめっき液に接液する部分に洗浄液を吹き付けるヘッド洗浄ノズル 286 が設置されている。

【0180】

この洗浄槽 202 にあっては、基板ヘッド 204 のヘッド部 232 で保持した基板 W を洗浄槽 202 内の所定の位置に配置し、噴射ノズル 280 から純水等の洗浄液（リンス液）を噴射して基板 W を洗浄（リンス）するのであり、この時、ヘッド洗浄ノズル 286 から純水等の洗浄液を同時に噴射して、基板ヘッド 204 のヘッド部 232 の、少なくともめ

30

【0181】

この無電解めっき装置にあっては、基板ヘッド 204 を上昇させた位置で、前述のようにして、基板ヘッド 204 のヘッド部 232 で基板 W を吸着保持し、めっき槽 200 のめっき液を循環させておく。

そして、めっき処理を行うときには、めっき槽 200 のめっき槽カバー 270 を開き、基板ヘッド 204 を回転させながら下降させ、ヘッド部 232 で保持した基板 W をめっき槽 200 内のめっき液に浸漬させる。

【0182】

そして、基板 W を所定時間めっき液中に浸漬させた後、基板ヘッド 204 を上昇させて、基板 W をめっき槽 200 内のめっき液から引き上げ、必要に応じて、前述のように、基板 W に向けて噴射ノズル 268 から純水（停止液）を噴射して基板 W を直ちに冷却し、更に基板ヘッド 204 を上昇させて基板 W をめっき槽 200 の上方位置まで引き上げて、基板ヘッド 204 の回転を停止させる。

40

【0183】

次に、基板ヘッド 204 のヘッド部 232 で基板 W を吸着保持したまま、基板ヘッド 204 を洗浄槽 202 の直上方位置に移動させる。そして、基板ヘッド 204 を回転させながら洗浄槽 202 内の所定の位置まで下降させ、噴射ノズル 280 から純水等の洗浄液（リンス液）を噴射して基板 W を洗浄（リンス）し、同時に、ヘッド洗浄ノズル 286 から純

50

水等の洗浄液を噴射して、基板ヘッド204のヘッド部232の、少なくともめっき液に接液する部分を該洗浄液で洗浄する。

この基板Wの洗浄が終了した後、基板ヘッド204の回転を停止させ、基板ヘッド204を上昇させて基板Wを洗浄槽202の上方位置まで引き上げ、しかる後、この基板Wを受渡して次工程に搬送する。

【0184】

なお、前記実施の形態では、第2ステップと第3ステップ、第4ステップと第5ステップなど、各工程を分けるようにした例を示しているが、それに限られないことは勿論であり、種々の加工手段、搬送ロボット、及びエンドポイント検知手段を備えることにより、それらを組合せ、複数の異種材料を含む加工対象である半導体デバイスの平坦化に適する研磨方法を選択し、実現することができる。

10

【0185】

現在、主にTaやTaNなどTa系材料が使用されるバリア材料の形成方法として、一般にスパッタリング法が採用されており、カバレッジ性の観点から、その厚みは、60 - 80 nm (ノード100 nm前後の時)程度である。今後技術進歩に伴い、成膜方法がCVD法に取って代わるとバリア材料の厚みは更に薄くなり、数~数十nmレベルにまで薄膜化され、バリア材料の加工性より欠陥制御の重要性が高まると考えられる。更にデバイスの微細化が進み、65 nm技術ノードでは、バリア材料の厚みは数nmにまで薄膜化するとも言われている。

【0186】

異種材料(配線材料とバリア材料)を同時に加工する時、加工厚みが厚い場合には、同時加工の困難さから、平坦性の悪化が問題になることが多い。しかし、バリア材料の薄膜化が進むと、バリア材料の加工時間が短くて済むため、様々な加工方法を使用しても平坦化性能への影響が少なくなる。よってバリア材料の研磨(除去)を含む加工ステップは、前後ステップを分けることなく、1つにまとめることが容易になる。例えば、現在問題になっている平坦性への影響が少なく、段差解消ステップの加工レベルが向上すれば、前述の第3ステップと第4ステップの加工方法として、一般的なCMP法の採用が可能となる。

20

【0187】

また、銅材料は、化学的エッチングで除去することが困難であるが、バリア材料を薄膜化したり、配線材料として銅以外の材料を使用したりする場合には、化学電気加工や化学エッチングも有効であるため、加工方法の選択肢が広がる。

30

【0188】

また、前述の第5ステップの場合でも、平坦化面を維持可能な条件で加工する必要があるため、その前後に第4ステップと第6ステップを入れることが望ましい。しかし、前述のように、バリア材料の薄膜化によって、同一加工方法で複数のステップを行うことが可能になる場合もあると考えられる。つまり、この場合、第4ステップと第5ステップ、第5ステップと第6ステップ、または第4~第6ステップを同じステップで併合して行うことができると考えられる。

【0189】

前述の各第1~第6ステップは、目的ごとに好適な加工方法を選定することが望ましいが、ステップの加工方法が同一の条件で2つまたは複数のステップの目的を実現可能な場合には、その2つまたは複数のステップを併合し、一つの加工方法、加工条件で行っても良い。例えば、電気力を利用した加工方法を使用する場合、第2ステップと第3ステップの間で加工方法または加工条件を変更することで、高品位且つ単純なプロセスが設定できるが、段差解消特性に優れ、均一加工及び高速加工性に優れた触媒を利用した純水電解加工方法を使用する場合には、第1ステップと第2ステップを同一の加工方法で加工することが可能となる。また同様に、例を挙げると、第1ステップと第2ステップとを触媒を利用した超純水電解加工で併合して行ったり、第3ステップと第4ステップ、第3~第5ステップ、第3~第6ステップ、第4ステップと第5ステップ、第4~第6ステップを超微細砥粒とケミカル調整されたスラリーを使用した低圧高速相対速度の条件で行うCMPでま

40

50

とめて行ったりすることもできる。

【0190】

例えば、バリア材料（バリアメタル）が存在しないか、またはあっても平坦化性能への影響が少ない程度に薄い場合にあっては、絶縁材料の上面に形成した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料を除去し表面を平坦化するにあたり、配線材料の表面の段差を解消し、更に非配線部分に位置する配線材料を薄膜化するか、または該配線材料が一部残るまで配線材料を除去する第1ステップと、薄膜化した配線材料または一部残った配線材料を、非配線部分において前記配線材料の下に存在する下地表面が表出するまで除去する第2ステップとを有するようにしてもよい。

【0191】

この場合、前記第1ステップを、非配線部分に位置する前記配線材料の膜厚が300nm以下になった時点で終了するようにしてもよく、この非配線部分に位置する前記配線材料の膜厚は、例えば、渦電流式または光学的式の膜厚検知センサによって検知される。

【0192】

ここで、前記第2ステップにおける配線材料の加工速度を、前記第1ステップにおける前記配線材料の加工速度より速くすることが好ましく、また、前記第2ステップを、薬液を加えた加工液を使用して行うようにしてもよい。更に、欠陥の発生を抑制する前記第2ステップを、基板に圧力を加えつつ行い、前記第1ステップを、前記第2ステップよりも小さい圧力を基板に加えつつ行うようにしてもよい。

【0193】

更に、非配線部分において、前記下地を該下地の下の物質が露出するまで除去するステップを更に有するようにしてもよい。この場合、前記下地を除去するステップは、下地を薄膜化するか、または一部を残すまで下地を除去するステップと、非配線部分において下地の下に存在する材質が表出するまで該下地を除去するステップとを有するようにしてもよい。

【0194】

また、バリア層のみを2段に研磨する場合にあっては、表面にバリア材料を成膜した配線用凹部の内部に配線材料を埋込み、不要の配線材料及びバリア材料を除去し表面を平坦化するにあたり、不要の配線材料及びバリア材料を、非配線部分に位置するバリア材料が薄膜化するか、または該バリア材料の一部が残るまで同時に除去する第1ステップと、不要の配線材料及び薄膜化した前記バリア材料または一部残った前記バリア材料を除去し、非配線部分の絶縁材料を表出させるか、または加工する第2ステップとを有するようにしてもよい。

この場合、前記第2ステップを基板に圧力を加えつつ行い、前記第1ステップを前記第2ステップよりも小さい圧力を基板に加えつつ行うようにしてもよい。

【0195】

基板の搬送工程や、前記各ステップに求められる条件を考慮すると、最適な加工方法として以下のものが挙げられる。

第1ステップ、第2ステップは、純水を用いた電解加工にて行う。電解加工は、例えば図3に示す電解加工部64において行われる。純水を用いた電解加工によれば、ケミカルや砥粒による加工後の基板の汚染がないため、洗浄工程が不要になる。また、第1ステップ、第2ステップを同じ加工工具で行うことにより、基板の搬送工程が少なく済み、スループットの向上につながる。第1ステップでは、例えば加工テーブル74を駆動する中空モータ100のトルク電流の変化を見るなどして、段差解消がされたことを確認して、第2ステップに移行する。

【0196】

第2ステップでは、第1ステップと同じ条件で配線材料の削り増しを行ってもよい。例えば、第1ステップを、電圧を一定に制御した定電圧制御条件で加工し、第2ステップを、電流が一定になるように制御した定電流制御条件で加工を行う。第1ステップを定電圧制御で行うと、当初段差がある被加工物表面の接触面積が変わっても同じ電圧を確保でき、

10

20

30

40

50

安定した加工条件で研磨することができて段差解消に優れる。平坦面が得られた後、第2ステップを定電流制御で行う場合は、大電流での加工レートの確保が可能になる。第2ステップは、全加工工程中、最も研磨除去速度が速くなるような条件で加工を行うことができる。第2ステップでは、例えば渦電流センサにより、導電性配線材料(銅22)の膜厚を測定し、この膜厚が所定の値以下(例えば300nm、好ましくは100nm以下、更に好ましくは50nm以下(例えば第2ステップでの加工性能による))になったら加工を終了する。

【0197】

第3ステップは、CMPにて行う。この時、図3に示すCMP部62でCMPを行う場合は、同一基板ホルダ60で基板を保持したまま、第2ステップから第3ステップへ移動することができる。第3ステップでは、例えば銅からなる配線材料とバリア材料を同時に研磨するため、精密に加工することが求められる。即ち、基板の押圧力を0.1~3psi程度で、かつ前記第2ステップの押圧力よりも小さくする。ここでは、異種材料が露出するため、光学的膜厚検知もしくは渦電流センサにより加工終了(エンドポイント)を判断する。このステップは、非配線部の配線材料のクリアが目的であるが、配線材料のクリアが明確に判断できない場合は、光学的検知手段でバリア層である下面の異種材料を検知した後、所定の時間管理によって加工終了を判断すればよい。第3ステップでは、前記第1ステップ、第2ステップよりも、研磨除去速度が遅くなるような条件で加工を行うことが望ましい。第3ステップ終了後、研磨テーブル68上に供給する液体を純水に切換え、研磨テーブル68上の純水置換による洗浄と、基板の水ポリッシュ効果で、基板上の異物(debris)を除去することが好ましい。さらに、工具をドレッシングすることにより、工具の洗浄性を向上することも出来る。ドレッシングは加工中に行ってもよい。

10

20

【0198】

第4ステップは、引き続き第3ステップと同じ研磨テーブル68でCMPにより加工する。第4ステップでは、配線部分の配線材料とバリア材料を削り込むため、第3ステップで使用した研磨液に、例えば配線材料(銅)とバリア材料の選択比が1:1に近づくような薬液を加え、もしくはそのような薬液に切換る。また、押圧力、回転速度、ドレッシング程度などを途中で変化させる。第4ステップでは、光学的または渦電流式膜厚検知手段により加工終点を判断するのが適する。第4ステップの後も、前記第3ステップの時と同じように水ポリッシュや工具のドレッシングを行ってもよい。この場合もドレッシングは加工中に行ってもよい。

30

【0199】

第5ステップも、引き続き第4ステップと同じ研磨テーブル68でCMPにより加工する。薬液や押圧力、回転速度、ドレッシング程度などを途中で変化させる。第5ステップは、バリア材料の除去で、最終的な仕上げに当たり、また加工が下層の絶縁膜、例えばULK(超低誘電率素材)が本ステップで露出するため、第3ステップ、第4ステップよりも低圧で加工することが求められる。具体的には1psi以下、かつ基板と加工部材との相対速度を第4ステップよりも上昇させる条件で加工するとよい。より低圧にして、基板と加工部材との間の液体によるハイドロプレーニング研磨を行ってもよい。この第5ステップも、例えば時間管理で加工の終点を管理する。

40

【0200】

必要に応じて第6ステップとして絶縁膜(絶縁材料)の削り増しを行う。この場合も、特に絶縁膜がULK(超低誘電率素材)の場合は、第5ステップと同じ、若しくは更に低圧で加工をする。第5ステップ及び第6ステップの終了後は、必要によって前記水ポリッシュやドレッシングを行うとよい。この場合もドレッシングは加工中に行ってもよい。

なお、各ステップは、in-situによる膜厚またはエンドポイントの測定及び/または時間管理で、PCを使用した自動プロセスとすることが好ましく、これにより、より精密にプロセス制御を行うことができる。ある程度の時間管理を行い、特定する時間枠で膜厚を測定するようにしてもよい。また、光学的検知手段、電氣的検知手段、トルクによる検知手段など、2種類の終点検知手段を組み合わせることにより精度を向上させることが

50

できる。

【0201】

前述のステップで加工された基板は、除去加工終了後、洗浄機42で多段洗浄した後、乾燥し、第1搬送口ポット36で、加工前の基板が納められていた基板カセット30に戻される。その際に、配線部の配線材料を保護するため、一对の洗浄機42の一方を、前述の無電解めっき装置に置き換え、加工終了後、洗浄機42で洗浄し、しかる後、無電解めっき装置で配線部に保護膜を形成し、その後、更に洗浄機42で多段洗浄した後、乾燥し、同様に基板カセット30に戻すようにしてもよい。

【0202】

図16及び図17は、図2に示す基板ホルダ60を備えた基板ヘッド82とCMP部62に置き換え可能なCMP装置を示す。このCMP装置は、各種電解加工装置としても使用でき、循環並進運動する研磨工具面を提供する並進テーブル部331と、被研磨面を下に向けて基板Wを把持し、所定圧力で研磨工具面に押圧するトップリング332を備えている。なお、図3に示すCMP部62に備えられている加工テーブル76も、この例と同様に、循環並進運動するように構成されている。

【0203】

並進テーブル部331は、内部にモータ333を収容する筒状のケーシング334の上部に、内側に環状に張り出す支持板335が設けられ、これには周方向に3つ以上の支持部336が形成され、定盤337が支持されている。つまり、この支持部336の上面と定盤337の下面の対応する位置には、周方向に等間隔に複数の凹所338, 339が形成され、これにはそれぞれベアリング340, 341が装着されている。そして、このベアリング340, 341には、図17に示すように“e”だけずれた2つの軸体342, 343を持つ連結部材344が、各軸体の端部を挿入して装着され、これにより定盤337が半径“e”の円に沿って並進運動可能となっている。

【0204】

また、定盤337の中央下面側には、モータ333の主軸345の上端に偏心して設けられた駆動端346を軸受347を介して収容する凹所348が形成されている。この偏心量も同様に“e”である。モータ333は、ケーシング334内に形成されたモータ室349に収容され、その主軸345は上下の軸受350, 351により支持されているとともに、偏心による負荷のバランスをとるバランス352a, 352bが設けられている。

【0205】

定盤337は、研磨または加工すべき基板Wの径に偏心量“e”を加えた値よりやや大きい径に設定され、2枚の板状部材353, 354を接合して構成されている。これらの部材の間には、研磨面(加工面)に供給する研磨液(加工液)を流通させる空間355が形成されている。この空間355は側面に設けられた研磨液供給口356に連通しているとともに、上面に開口する複数の研磨液吐出孔357と連通している。

【0206】

CMP装置の定盤337の上面には、固定砥粒(砥石板)359が貼付されており、この固定砥粒359にも対応する位置に吐出孔358が形成されている。これらの吐出孔357, 358は、通常は定盤337、固定砥粒359の全面にほぼ均一に分散配置されている。なお、この固定砥粒359の代わりに発泡ポリウレタンなどの研磨パッドを使用してもよい。また、電解加工用で用いる場合には、この固定砥粒359の代わりに、イオン交換体やスクラブ部材を備え付けるようにしてもよい。

【0207】

固定砥粒359は、例えば、粒度が数 μm 以下であるような微細な砥粒(例えば、 CeO_2 や、 SiO_2 , Al_2O_3 、樹脂を結合剤(バインダ)として固め、円板状に成形して製造されている。表面の平坦度を確保するために、成形や保管時における反りや変形が無いような素材の選択や製造工程管理が行われている。固定砥粒359の表面には、研磨液を流通させ、あるいは削りくずを排除するために、格子状、スパイラル状、あるいは放射状等の溝(図示略)が設けられており、この溝に吐出口358が連通している。

【0208】

押圧手段であるトップリング332は、シャフト360の下端に研磨面に合わせてある程度の傾動を可能として取付けられ、図示しないエアシリンダの押圧力と駆動モータの回転力がシャフト360を介してこのトップリング332に伝達される。このトップリング332の基板保持部361には弾性シート362が装着され、これにより、基板保持部361の微細な凹凸が基板の被研磨面に転写されないようになっている。なお、ケーシング334の上部外側には供給された研磨液を回収する回収槽363が取付けられている。

【0209】

以下、前記のように構成されたCMP装置の作用を説明する。基板Wは、トップリング332に取付けられ、モータ333の作動によって定盤337が並進円運動し、トップリング332に取付けられた基板Wは、定盤337に貼付した固定砥粒359の面上に押し付けられる。研磨液供給口356、研磨液空間355、研磨液吐出孔357、358を介して研磨面には研磨液が供給され、これは固定砥粒359の面の溝を経て固定砥粒359と基板Wの間に供給される。

10

【0210】

ここで、固定砥粒359の面と基板W面には半径“e”の微小な相対並進円運動が生じて、基板Wの被研磨面はその全面において均一な研磨がなされる。なお、被研磨面と研磨面の位置関係が同じであると、研磨面の局部的な差異による影響を受けるので、これを避けるためにトップリング332を徐々に自転させて、固定砥粒359の同じ場所のみで研磨がなされるのを防止している。

20

また、研磨液としては、通常は純水を用いた水研磨とし、必要に応じて薬液やスラリーを用いる。スラリーを用いる場合に、スラリーに含まれる砥粒が砥石の素材と同一の成分であるようにして良好な効果が得られる場合もある。なお、電解加工の場合は、例えば電解液や砥粒を含有した電解液を、超純水を使用した電解加工の場合は、例えば500 μ S/cm以下の液体を研磨液の代わりに供給する。

【0211】

この例のCMP装置は、循環並進運動型であるので、定盤337の大きさは基板Wの大きさより偏心量である“e”だけ大きな程度の径であれば良い。従って、設置面積を大幅に小さくすることができる。これに伴い、洗浄装置や反転装置と組み合わせてユニット化する場合も設計が容易であり、また変更も容易である。

30

さらに、このCMP装置では、定盤337が循環並進運動をするので、定盤337をその縁部の複数箇所でも支持することができ、従来の高速で回転するターンテーブルに比べてより平坦度の高い研磨を行うことができる。

【0212】

図18は、他のCMPまたは電解加工装置を示す。この加工装置には、可撓性シート状の固定砥粒や弾性を有する研磨パッド305やイオン交換体、スクラブ部材を表面に貼付したベルト302が、平行な軸回りに回転する一対のローラ303、304に巻回されている。ローラ303、304の中間でベルト302が直線になった箇所には、ベルト302を裏から支持するバックアップ板309が設けられ、支持されたベルト302に対向して基板Wを研磨パッド305に押し付けて保持するトップリング308が回転可能に配置されている。

40

【0213】

図19は、更に他のCMPまたは電解加工装置を示す。この加工装置には、ガイド面を水平に設置した直線状のガイドとしてのレール311のガイド面上に、ガイドレール311による直動案内で水平方向に往復直線運動する研磨テーブル312が載置されている。ここでx、y、z直交座標系を、x軸がガイドレール311の往復直線運動方向に、y軸がx軸に直交し且つ水平面内に、そしてz軸が鉛直方向になるようにとる。ここでは、第1の方向がx軸方向にとられていることになる。

【0214】

加工テーブル312の上面は、水平面内に含まれる加工面313を構成している。加工面

50

3 1 3 は、高速加工用加工面 3 1 4 と目の細かい仕上げ用加工面 3 1 5 に分割されており、同一の加工装置で加工面を変えることにより 2 種類のステップを行うことができる。高速回転用加工面 3 1 4 と仕上げ用加工面 3 1 5 との間には、ガイドレール 3 1 1 による直線運動方向 (x 軸方向) に直交する方向 (y 軸方向) に直線状に掘られた多機能溝 3 1 6 が設けられている。以下の説明では、加工面を高速加工用加工面 3 1 4 と仕上げ用加工面 3 1 5 に区別して説明する必要がないときは、単に加工面 3 1 3 という。

【 0 2 1 5 】

ここでは、加工面が 2 種類 3 1 4 , 3 1 5 の場合で説明するが、これに限定されず、プロセスにより 3 種類以上に増やしてもよい。例えば、粗削り、仕上げの他、洗浄効果を向上する目的で表面を改質するための改質面を備えてもよい。電解加工に用いる場合は、イオン交換体や研磨パッド、スクラブ部材を用いる。一方の加工面を C M P 用に使い、他方の加工面に電極を配置することによって電解加工用に用いるようにしてもよい。

10

【 0 2 1 6 】

加工面 3 1 3 の鉛直方向上方には、加工面 3 1 3 に対向して被加工物、例えば円形の半導体基板を保持し、加工面 3 1 3 に押し付ける、円板状のトップリング 3 1 7 が配置されている。トップリング 3 1 7 は、基板 W の保持面とは反対の側に、トップリング 3 1 7 を水平方向に回転させるパッド押し付け機構 3 1 8 を有している。パッド押し付け機構 3 1 8 は、研磨テーブル 3 1 2 の運動方向に対して直交する水平方向にトップリング 3 1 7 を移動し、また研磨パッド 3 1 3 に押し付けるように構成されている。パッド押し付け機構 3 1 8 は、アーム 3 1 9 により移動可能に構成されている。

20

【 0 2 1 7 】

さらにトップリング 3 1 7 の x 軸方向に隣接する位置には、加工面 3 1 3 をドレッシングまたはイオン交換体を再生するドレッサ 3 2 1 a , 3 2 1 b が、トップリング 3 1 7 に対称に一对設けられている。ドレッサ 3 2 1 a , 3 2 1 b は、ドレッサ素材 3 2 2 a , 3 2 2 b を加工面 3 1 3 に対向するように有している。ドレッサ 3 2 1 a , 3 2 1 b 及びそれに取り付けたドレッサ素材 3 2 2 a , 3 2 2 b は、長方形に形成されており、ドレッサ素材 3 2 2 a , 3 2 2 b は、長方形の長手方向が y 軸方向に向けて配置されている。またドレッサ 3 2 1 a , 3 2 1 b に液体を供給するためのノズル 3 2 3 a , 3 2 3 b が、それぞれトップリング 3 1 7 とドレッサ 3 2 1 a , 3 2 1 b との間に設けられている。

30

【 0 2 1 8 】

またドレッサ 3 2 1 a , 3 2 1 b に対してノズル 3 2 3 a , 3 2 3 b のそれぞれ x 軸方向反対側には、長方形のドレッサポッド 3 2 4 a , 3 2 4 b が長方形の長手方向を y 軸方向に向けてそれぞれ配置されている。

以下の説明では、複数の例えば 2 つの同一要素、例えばドレッサ 3 2 1 a , 3 2 1 b を区別して説明する必要がないときは、添字 a、b を省略して、例えば単にドレッサ 3 2 1 という。

【 0 2 1 9 】

以上のように構成された加工装置の作用を説明する。まず、加工処理をするに当たって、x 軸方向に往復直線運動をしている加工面 3 1 4 , 3 1 5 に、トップリング 3 1 7 で被加工面を鉛直方向下向きに真空吸着により保持された基板を押し付ける。

40

【 0 2 2 0 】

トップリング 3 1 7 は、加工面 3 1 4 , 3 1 5 の往復直線運動方向 (x 軸方向) に対して直交する方向 (y 軸方向) に往復直線運動する。被加工面に局所的な傷が付くことを防止するために、トップリング 3 1 7 は、例えば 10 min^{-1} 程度までの低速回転で回転させる。回転が低速であるので、基板 W の被加工面は、加工面 3 1 3 に対しては、実質的に直線運動していることに変わりはない。または、トップリング 3 1 7 は、被加工面が加工面 3 1 3 に対して実質的に直線運動していることに変わりがないと言える程度の低速で回転させると言い換えてもよい。

【 0 2 2 1 】

一般に、往復直線運動する加工面 3 1 3 に対して、静止した状態で押し付けられた被加工

50

面は、そのすべての面で加工面に対して同じ移動速度をもつので、均一な加工（研磨）が理論上成り立つ。さらに、被加工面をごく低速で回転することにより均一な加工を維持しつつ、被加工面に局所的な傷が付くことを防止することができる。

【0222】

加工面314, 315には、加工液吐出用の複数の穴（図示せず）が開いており、加工面314, 315と基板Wとの間に、砥液等の加工液を直接供給する。このように加工液（砥液）を供給するので、往復直線運動は、回転運動と違って加工液が供給しにくい。加工液を被加工面に対して均一に供給することができる。

【0223】

先ず第1の加工を加工面314で行うため、加工テーブル312は、加工面314のみで基板Wが除去加工されるようにx軸方向に往復直線運動する。同様に、第2の加工を行う加工面315の場合も、加工面315の範囲に合わせて、加工テーブル312は、x軸方向に往復直線運動をする。これにより、同一加工テーブル312上で異なるステップの加工を行うことができる。

【0224】

加工面314, 315は、CMPを行う場合、研磨布のような弾性パッドとしてもよいが、加工テーブル312を往復直線運動させる構造としているので、加工面314, 315のいずれか一方または双方に固定砥粒を用いることができる。固定砥粒を用いれば、被加工面にディッシングが生じるのを防止することができる。また加工テーブル312は、往復直線運動させる構造であるので、加工テーブル312の上面は、エンドレスベルトと異なり、所定の広がりを持つ通常は矩形の平面であるので、パッドの交換が容易である。

【0225】

すなわち、一般に研磨パッドを貼りつけることで形成されている装置では、砥液がポリッシング（研磨）対象物と研磨パッドの間に供給される。しかし、研磨パッドは弾性体であるので、ポリッシング対象物全体を均等に加圧して研磨を行っても、ポリッシング対象物の被加工面に凹凸があると、凸の部分だけでなく、凹の部分も研磨されてしまう。凸の部分の研磨が終了した段階で、凹の部分にも研磨が進んでしまっている。このような、研磨後に生じている凹部をディッシングと呼ぶ。研磨レートを高める一つの方法として、押圧力を上げることが挙げられる。しかし、研磨パッドを用いると上述のような問題が顕著に現れてくるので、高い研磨レートと平坦化の両立が困難である。

【0226】

しかしながら、この例のように、固定砥粒を用いれば、高い研磨レートとディッシングの防止を同時に達成することができる。特に粗削り用の加工面314として固定砥粒を用いるとよい。

また粗削り用加工面314あるいは仕上げ削り用加工面315のいずれにしても、各種の溝が加工面を完全に横切るように設けるとよく、その溝の角度は加工面の運動方向（x軸方向）に対して直角、または不要となった砥液等の排出を促し、且つクロスの剥がれを防止するために斜めに設置するとよい。

【0227】

次に、この例における加工面314, 315の目立てや異物の除去、および再生を行うドレッシング処理を説明する。ドレッサ素材322a, 322b、例えば硬質のものであればダイヤモンド、軟質のものであればナイロンブラシなどを、x軸方向に往復直線運動をしている加工面314, 315にそれぞれ押し付ける。

【0228】

ドレッサ321a, 321bは、加工面314, 315の運動方向（x軸方向）に対して直交する方向（y軸方向）に往復直線運動を行う。このように、往復直線運動をする加工面314, 315に対して、直角方向に運動するドレッサを具備することで、加工面314, 315全体に対して均一なドレッシングを行うことができる。

ドレッシングを行う際には、ドレッシング用の液体がドレッサ321a, 321b近傍にあるノズル323a, 323bから吐出され、浮遊した異物を加工面314, 315外に

排出させる。

【0229】

このようにドレスサ321a, 321bをトップリング317の両側に備えることにより、ドレッシングのためのx方向の往復直線運動距離を短くすることができ、装置の小型化を図ることができる。また長方形のドレスサ321a, 321bは、ドレスサ素材322a, 322bの長手方向の長さを加工テーブル312の幅よりも大きくするのが好ましく、このように構成すると、ドレッシングの均一性を向上することができる。

【0230】

トップリング317側に異物等が留まると、研磨性能に悪影響を及ぼすので、例えば後半のドレッシング動作では、加工テーブル312の端がドレスサ321a, 321bから離れる動作のときはドレスサ321a, 321bを加工面314, 315から離間させ、近づくと動作のときはドレスサ321a, 321bを加工面314, 315に当てて異物等を加工テーブル312から多機能溝316とは反対側に掃き出す動作をしてもよい。その場合には、加工テーブル312がドレスサ321a, 321bを加工テーブル312から外れる位置まで移動することで、完全に異物等を掃き出すことができる。また、多機能溝316の排出機能を用いてドレスサ321a, 321bが寄せ集める異物等を排出させてもよい。

10

【0231】

ドレッシングを行わない場合は、ドレスサ321a, 321bはその昇降機構を用いて加工面314, 315より離間した位置で待機しており、この位置でもドレスサ素材322a, 322bに液体をリンスできるようにノズル323a, 323bの吐出位置は決められている。

20

【0232】

以上の説明では、ほぼ矩形のドレスサ321a, 321bは、その長手方向をy軸方向に向けて取付けられており、また第2の方向としてのドレスサ321a, 321bの往復直線運動の方向をy軸方向としたが、これに限らず、x軸方向に交差する方向であればよい。但し、第2の方向は多機能溝316と同じ方向とするのが好ましい。同様に、第3の方向としてのトップリング317の往復直線運動の方向をy軸方向としたが、これに限らず、x軸方向に交差する方向であればよい。

【0233】

図20及び図21は、更に他のCMPまたは電解加工装置を示す。この加工装置は、カップ型加工工具410を備え、このカップ型加工工具410は、円板形状の加工部材支持部材411の下面に、リング状に形成された加工部材415を取付けて構成されている。加工部材415の下面内外周のエッジ部417, 419には、その全体にわたって所定の半径の丸みが形成されている。

30

【0234】

なおこの加工部材415は、加工液を介してその表面に下記する基板を擦り付けることで、被加工物としての基板の表面を除去加工するものである。加工部材415として、砥石を用いる場合は、例えば、平均粒子径が $2\mu\text{m}$ 以下の CeO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , MnO_2 または Mn_2O_3 等からなる樹脂粒子、樹脂の周りに砥粒を担持する、または砥粒の周りに樹脂を被覆する等の複合粒子等からなる砥粒を、ポリイミド樹脂、フェノール樹脂、ウレタン、PVA(ポリビニルアルコール)または熱可塑性樹脂等からなる結合剤によって固めて構成されている。場合によっては、樹脂粒子、水溶性粒子などを添加してもよい。

40

【0235】

図21は、このカップ型加工工具410を用いて構成した加工装置を示す概略斜視図である。同図に示すように、カップ型加工工具410の上面中央に取付けた回転軸431は、これを回転駆動する駆動機構を内蔵した加工装置のアーム部401に取付けられている。一方円板形状の基板(半導体ウエハ)Wは、基板ホルダ412の上に保持されている。電解加工で本装置を用いる場合は、リング状のカップ型加工工具の中に各々電源に接続する

50

。加工部材としては、イオン交換体や導電性、通液性を持たせた研磨パッド、スクラブ部材を取付ける。

基板ホルダ412及び基板Wはテーブル413内に露出するように設置されており、該基板ホルダ412及び基板Wの上面とテーブル413の上面とは略同一面となるように構成されている。

【0236】

またテーブル413は、基板ホルダ412と共に、加工装置の基台403上において、図示しない駆動機構によって直線方向（矢印J方向）に移動自在に構成されている。

そして基板ホルダ412とカップ型加工工具410とをそれぞれ独立に回転しながら基板Wに加工部材415を押し付け、同時にテーブル413を直線運動させれば、基板Wの表面全体の加工が行なわれる。

10

【0237】

図22は、更に他のCMPまたは電解加工装置を示す。この加工装置においても、図21に示す加工装置と同様に、基板ホルダ412の上に基板（半導体ウエハ）Wを保持し、基板ホルダ412及び基板Wをテーブル413面に露出せしめ、その上に前記カップ型加工工具410を配置して構成されている。

この加工装置において、図21に示す例と相違する点は、テーブル413の一部に、基板ホルダ412から離れる方向に向かう1本の溝421を設け、その中に加工面再生機構423を収納した点である。

【0238】

この加工面再生機構423は、その下部に車輪（磁気ベアリングやリニアベアリング等のベアリング）425が取付けられることで、溝421内を矢印C方向に直線運動自在となるように構成されている。また加工面再生機構423の上面には、前記加工部材415の形状と同一形状の凹部427が設けられている。この凹部427の内表面は、この凹部427内を砥石や研磨パッドが通過することによって該加工部材415の表面を研磨して凹部427の形状と同一形状にするように機能する。イオン交換体を用いる場合は、凹部427と接することによってイオン交換体内に蓄積した金属イオンを溶出させる。

そして、図21に示す例と同様に、回転する基板ホルダ412に保持された基板Wに、回転するカップ型加工工具410の加工部材415を押し付け、同時に基板ホルダ412を保持するテーブル413をスライド運動させることにより、基板Wを除去加工する。

20

30

【0239】

図23は、ペレット型の加工部材を用いて構成したカップ型加工工具440を示す図であり、図23(a)は側断面図（図23(b)のG-G線断面図）、図23(b)は裏面図である。図23(a)及び(b)に示すように、このカップ型加工工具440は、円板形状の加工部材支持部材441の下面に、リング状にまたは面内全体にペレット型（円柱型）の加工部材445を複数個（12個）取付けて構成されている。リング状に一体成型された砥石やパッド等の加工工具を装着するようにしてもよい。電解加工の場合は、各々のペレット加工部材を加工電極または給電電極としてもよい。

【0240】

図24は、更に他のCMPまたは電解加工装置を示す。この加工装置は、基板Wの外周をチャック爪450で挟持し、主軸452を中心に矢印A方向に回転する構造の回転チャック454を備えている。これに代わり静電チャック、真空チャック等のチャッキング方法をとってもよい。固定的に設けた加工液ノズル456が備えられ、該加工液ノズル456から、基板Wの加工面（上面）に加工液458を噴射できる構造となっている。加工部460は、アーム軸462に支持された揺動アーム464と、該揺動アーム464の先端に設けられた加工部材（固定砥粒や研磨パッド、イオン交換体、スポンジ等のスクラブ部材）466を具備している。アーム軸462は、矢印Cに示すように上下に昇降でき、該アーム軸462に支持される揺動アーム464は、この昇降により上昇すると同時に、アーム軸462の回動により矢印Bに示すように回動できるようになっている。

40

【0241】

50

この加工装置は、回転チャック454を矢印A方向に向けて回転させながら、加工液ノズル456から、回転チャック454で保持した基板Wの上面に向けて加工液458を噴射し、同時に、揺動アーム464を矢印Bの基板Wに向かった方向に回動させつつ、加工部材466を基板Wの上面に押し付けながら回転させることで、基板Wの被加工面(上面)を加工部材466で除去加工するようになっている。本装置で電解加工を行う場合は、電源の陽極とチャック爪450を接続し、電源の陽極と揺動アーム464を介して加工部材466に接続する。チャック爪450から基板のベベル部を介して被加工材料に給電し、加工電極兼加工部材である466と接触させることにより電解加工を行う。また、研磨液等の加工液を、砥石またはパッドなどの加工部材466の内側から供給してもよい。

【0242】

図25及び図26は、更に他のCMPまたは電解加工装置を示す。この加工装置は、矩形平板状の加工テーブル510と、この加工テーブル510を回転駆動するテーブル駆動用モータ512と、加工テーブル510の上方に上下動自在に配置されて加工対象物である半導体ウエハ等の基板Wの被加工面を加工テーブル510に向けて着脱自在に保持する回転自在なトップリング514とを備えている。

【0243】

加工テーブル510の両側部下面には、支持板516, 518が取付けられている。一方の支持板516には、軸受520が取付けられ、この軸受520に巻付けロール522の一端が回転自在に支承されている。そして、巻付けロール522の他端は、カップリング524を介して巻付けロール駆動用モータ526に接続されており、巻付けロール駆動用モータ526の駆動に伴って巻付けロール522が自転するようになっている。他方の支持板518には、軸受528が取付けられ、この軸受528に巻取りロール530の一端が回転自在に支承されている。そして、巻取りロール530の他端は、カップリング532を介して巻取りロール駆動用モータ534に接続されており、巻取りロール駆動用モータ534の駆動に伴って巻取りロール530が自転するようになっている。

【0244】

また、巻付けロール522には、長尺状に延びる研磨パッドや交換体、シート状の固定砥粒、スクラブ部材等の加工部材536が巻付けられ、この加工部材536は、加工テーブル510の上面に沿って延び、加工部材536の自由端は、巻取りロール530に着脱自在に把持されている。これにより、巻付けロール駆動用モータ526及び巻取りロール駆動用モータ534によって巻付けロール522及び巻取りロール530を同一方向に同期して回転させて、巻付けロール522に巻付けた加工部材536を巻取りロール530で巻取ること、加工部材536が加工テーブル510の上面に沿って走行する。そして、巻付けロール522及び巻取りロール530の回転速度を調整することで、加工部材536の張力を調整することができる。また巻付けロール522及び巻取りロール530を前述とは逆方向に回転させることで、加工部材536の巻戻しが行えるようになっている。

【0245】

加工テーブル510には、この上面に加工部材536を真空吸着して保持する吸着保持部540が設けられている。吸着保持部540は、加工テーブル510の上面に開口する複数の真空吸着孔を備えるとともに、吸着保持部540は、真空ポンプ等の真空源に接続されている。また、テーブル駆動用モータ512には、コントローラ542から延びる配線544と巻付けロール駆動用モータ526及び巻取りロール駆動用モータ534から延びる配線とを接続するロータリジョイント546が取付けられている。コントローラ542は、巻付けロール駆動用モータ526と巻取りロール駆動用モータ534の駆動を制御するように構成されている。コントローラ542は、配線を省略して無線で巻付けロール駆動用モータ526と巻取りロール駆動用モータ534の駆動を制御してもよい。

【0246】

この例によれば、加工テーブル510とトップリング514をそれぞれ運動、すなわち自転させながら、トップリング514により基板Wを一定の圧力で加工部材536に押し付け、ノズル(図示せず)より砥液等の加工液を供給しつつ基板Wの被加工面を平坦且つ鏡面

10

20

30

40

50

に研磨する。この時、加工部材 5 3 6 を加工テーブル 5 1 0 の上面に吸着保持することで、ポリッシングの際に加工部材 5 3 6 が加工テーブル 5 1 0 に対して移動する（ずれる）ことが防止される。

【0247】

ここに、例えば基板 W 上に形成された酸化膜を CMP 研磨する時には、砥液として、SS-25（キャボット社製）のようなシリカスラリーや CeO_2 スラリー等が使用され、タングステンを研磨する時には、W2000（キャボット社製）のようなシリカスラリーで H_2O_2 酸化剤が入ったものやアルミナベースで硝酸鉄系のスラリー等が使用される。また銅を研磨する時には、 H_2O_2 などの酸化銅にするための酸化剤が入ったスラリーやバリア層を削るスラリー等が使用される。また、研磨の途中から、パーティクルやディフェクト（欠陥）除去するため、研磨液として、界面活性剤もしくはアルカリ溶液を供給し、仕上げ研磨を行ってもよい。

10

【0248】

また、加工部材 5 3 6 として、例えば IC1000 のような発泡ポリウレタンやポリテックスのようなスウェードタイプの研磨パッドが使用される。この場合、研磨パッド 5 3 6 の弾性力を増すため、研磨パッド 5 3 6 の裏面に不織布やスポンジ等を貼付したり、また加工テーブル 5 1 0 の上面に不織布やスポンジ等を貼り付けておいても良い。

【0249】

なお、加工部材 5 3 6 として、その内部に CeO_2 、シリカ、アルミナ、SiC またはダイヤモンド等の粒子をバインダに埋め込んだ、いわゆる固定砥粒パッドを使用する場合は、砥液を供給することなく、即ち、砥粒を含まない研磨液を供給することにより、研磨するようにしても良い。また、研磨中に基板の状態を測定する手段として、加工テーブル 5 1 0 及び/またはトップリング 5 1 4 に、電流計や振動計、或いは光学的なセンサ等を具備するようにしても良い。

20

【0250】

加工部材 5 3 6 がドレスサや再生によっても元の能力を取り戻せない時に、コントローラ 5 4 2 から信号を送り、この信号により巻付けロール駆動用モータ 5 2 6 及び巻取りロール駆動用モータ 5 3 4 を駆動し、巻付けロール 5 2 2 及び巻取りロール 5 3 0 を同一方向に同期して回転させて、巻付けロール 5 2 2 に巻付けた加工部材 5 3 6 を巻取りロール 5 3 0 で巻き取ることで、加工部材 5 3 6 を加工テーブル 5 1 0 の上面に沿って走行させる。そして、加工部材 5 3 6 が所定距離走行した後に加工部材 5 3 6 を停止させる。

30

【0251】

これにより、加工テーブル 5 1 0 の回転中であっても、加工テーブル 5 1 0 と一体に回転する巻付けロール 5 2 2 に巻付けた加工部材 5 3 6 を加工テーブル 5 1 0 の上面に沿って 1 パット分走行させて停止させることで、加工部材 5 3 6 を自動交換することができる。なお、加工部材 5 3 6 は、加工テーブル 5 1 0 の端から研磨位置における基板 W の中心部までの距離（図 2 5 における a）分を巻き取ってもよい。これによって、回転しながら除去加工される基板 W の半径方向の異なった領域に対して、新しい加工部材と古い加工部材が同時に接触して新しい加工部材と古い加工部材とが基板 W に均等な加工（研磨）作用を与える。

40

【0252】

なお、加工部材と巻付けロールとをいわゆるカートリッジ式に一体化しておいて、軸受とカップリングとの間にワンタッチで装着及び取り外しできるようにしても良い。また、巻付けロール駆動用モータを省略して、巻取りロール駆動用モータの回転に伴って巻付けロールに巻付けた加工部材を巻取りロールで巻き取るようにしても良い。更に、加工テーブルは、円形でも良いことは勿論である。

【0253】

図 2 7 乃至図 3 1 は、更に他の CMP または電解加工装置を示す。この加工装置は、加工液を保持する加工部材 6 1 6 を表面に取付けた回転するドラム 6 0 3 を備えている。加工部材としては、例えば研磨パッド、固定砥粒、イオン交換体を用いる。ドラム 6 0 3 は、

50

ドラムヘッド602内の軸受604, 605によりその回転軸が支持され、ドラムモータ606により回転駆動される。ドラムヘッド602は、コラム601によりベース613に固定されている。加工対象物である基板Wは、台座608に載置されており、真空吸着により固定されている。台座608は、追従機構610を介してYテーブル611に固定されている。Yテーブル611は、基板WをY方向(ドラム軸芯と同一方向)に揺動可能とする駆動機構を備えたテーブルである。Xテーブル612は、基板WをX方向(ドラム軸芯と直角方向)に加工対象物の全長に亘って移動可能とする駆動機構を備えたテーブルであり、ベース613に固定されている。ベース613は、レベラー614を介して設置床面に固定されており、レベラー614は、加工対象物である基板Wの加工面を水平面に保つように調整するものである。加工液供給パイプ615からは砥粒を含むスラリーや電解液、純水等の加工液がドラム603表面の加工部材616に供給され、加工部材616に加工液が保持されてドラム603が回転することにより基板Wとの接触面で加工が行なわれる。

10

【0254】

図29は、図28におけるA-A矢視図を示し、図30(a)は、図28におけるC矢視図を示し、図31は、図27におけるB-B線に沿った断面図を示す。図30(b)及び(c)は、それぞれ図30(a)の断面を示す。

図30及び図31に示すように、この加工装置においては、基板の外周部を保護するフチダレ防止用の犠牲板618を備えている。

【0255】

回転ドラムを用いた加工装置で、半導体ウエハのような円形の基板Wを加工する場合に、加工部材が基板Wの外側から内周部に移動するとき、基板Wの外縁部の段差を通過することになる。この場合、加工部材が基板Wの外縁部によって局部的に強い圧縮力を受け、加工部材表面や内部に保持されていた加工液や砥粒が絞り出されたり、加工部材そのものの表面性状が変化したりすることにより、加工部材に加工能力の不均一が生じ、加工面の平坦性が乱れ、いわゆるフチダレ現象を起こす。

20

【0256】

犠牲板618は、基板Wの被加工面の高さと同じまたは僅かに低い加工面を有しており、台座608上の基板Wの外周に固定されている。犠牲板618には、難研削材である硬質のセラミック板、ガラス状カーボン、またはステンレス鋼材または導電性材料等が用いられる。基板Wの表面加工に当たって、犠牲板618にも押圧力が基板Wと同様に与えられることになるので、基板外周部と同時に犠牲板618の表面が加工され、基板Wの外周部のみが過度に加工されるという問題が解決される。犠牲板618は、ドラム603表面に貼付された加工部材の移動範囲616Aをすべてカバーできる大きさにすることが、犠牲板618の外縁部で加工部材が悪影響を受けないようにするために好ましい。

30

【0257】

図30(b)は、基板Wと犠牲板618が台座上の同一面に載置されている場合を示す。犠牲板618の強度が弱く、押圧力が加えられると割れ易い場合は、図30(c)に示すように、犠牲板618の下面にプラスチック等の補助板663を配置してもよい。

【0258】

図30(b)及び(c)の断面図に示すように、基板W及び犠牲板618または補助板663と台座608との間には、例えば厚さ0.6mm程度のゴムまたはバッキングフィルム等の弾性体662が間挿されている。基板Wの厚さ自体にも数十 μm 程度のバラツキがあり、犠牲板662と基板Wの被加工面を完全に同一な面とするのは不可能である。このような僅かな犠牲板と基板の高さの違いによる段差でも、犠牲板と基板が剛体の台座608上に直接載置されている時は、加工部材に少なからず影響を及ぼし、平坦な加工面が得られない。特に加工速度を上げるため強い押圧力で加工するほど強い影響を受ける。

40

【0259】

基板Wと犠牲板618の下に弾性体662を間挿することにより、基板Wと犠牲板618の高さの違いによる段差の影響を和らげることができ、被加工面の平坦性を改善できる。

50

【0260】

なお、図31に示すように、加工対象物である基板Wは、真空・圧力パイプ617により加工時は台座608に真空吸着され、加工終了後は、エア加圧され、台座608から外される。なお、基板Wを外す際には、基板押し上げピン640の固設された押し上げリング641がシリンダ642により押し上げられることにより、台座608に密着した基板Wを取り外すことができる。

また、台座608はロータリジョイント643により回転自在な構造となっており、図示しない駆動機構により基板Wをその中心の回りに回転できる構造となっている。

【0261】

この例の加工装置においては、回転するドラムの接触面に対して均一な押圧力となるように加工対象物の基板を接触させる追従機構を2種類備えている。第1の追従機構は、図31に示す断面図において、基板が載置された台座608の下に、この台座608を支える状態で断面が円形の棒状支持体620を、その軸芯がドラム603の軸芯と直角で且つ台座608表面と平行になるように取付けている。ドラム603の軸芯と加工対象の基板Wの平行性が何らかの原因で失われると押圧力の分布が基板Wとドラム603との接触面において不均一となる。ところが、断面が円形の棒状支持体620のコーン作用により、押圧力が均等となるように台座608は、わずかに回転して基板Wの加工面がドラムの軸芯と平行になる。このため、回転するドラム603に対してその接触面全長において基板Wは、均一な押圧力で押し付けられるため、均一な鏡面加工が行なわれる。尚、部材644は、断面が円形の棒状支持体620の逃げを防止するためのものである。

10

20

【0262】

また、第2の追従機構は、昇降座621の下側部分が固定されたダイヤフラム622と、そのダイヤフラム622を支えるエアクッションによるものである。昇降座621は、昇降座ガイド625により上下方向に移動自在となっている。昇降座621の下面は、接続部材626を介してダイヤフラム622に固定されている。ダイヤフラム622の下部空間623は、エアパイプ624から圧縮空気が押し込まれエアクッションを形成する。エアクッションは、ダイヤフラム622の全面に亘って均一な押圧力を与えるため、昇降座621を介して台座608から回転するドラム603に接触する基板Wには、ドラム603に対して均一な押圧力が与えられ、均一な鏡面加工が加工対象物の全面に亘って行える。尚、第1の追従機構が円形の棒状支持体の軸芯に沿ったいわば線状部分に作用するのに

30

【0263】

また、昇降座621は、図示しないシリンダにより大きく昇降することができる。加工対象物である基板Wの交換などの為の上下は、エアクッション623を調整することによりダイヤフラム622を上下動させることによって行う。メンテナンス時等の大きな昇降は、図示しないシリンダにより昇降座621を上下することによって行う。

【0264】

この加工装置によれば、図30に示すように、基板Wを載置した台座の移動機構とドラム603を配置できるだけの面積があれば足りるので、大幅に小型軽量化を図ることができる。又、被加工面が上方から目視可能であるので、加工の途中で加工量や残膜量を常時確認することができる。

40

【0265】

なお、上記の例では、回転ドラム603の位置を固定して、基板Wを載置した台座608側を移動させることによって、加工対象物である基板Wの表面全面を鏡面加工する例について説明した。しかしながら、基板を載置した台座側を固定して、逆に回転ドラム側を移動するようにしても良い。また、追従機構を同様に回転ドラム側に持たせるようにしてもよい。電解加工の場合は、回転ドラム603を電源に接続し、回転ドラム603上に、複数の陰極電極と陽極電極を交互に配置する。

【0266】

50

図32は、複合電解加工装置の一例を示す。この複合電解加工装置は、上方に開口して内部に電解液712を保持する有底円筒状の電解槽714と、電解槽714の上方に配置され基板Wを着脱自在に下向きに保持する基板保持部716aとを有している。この電解液712としては、酸化剤やキレート剤に砥粒を含有したものが用いられる。

【0267】

電解槽714は、モータ等の駆動に伴って回転する主軸718に直結され、底部には、例えばSUS、Pt/Ti、Ir/Ti、Ti、Ta、Nbなど電解液に対して安定でかつ電解により不動体化しない金属からなり、電解液712中に浸漬されてカソードとなる平板状の陰極板720が水平に配置されている。この陰極板720の上面には、縦及び横方向に面内の全長に亘って直線状に延びる格子状の長溝720aが設けられている。更に、陰極板720の上面には、例えば、連続発泡体式で不織布タイプの硬度研磨パッド（例えば：ロデルニッタ社 SUBA800）からなる研磨具722が貼り付けられている。

10

【0268】

これによって、主軸718の回転に伴って電解槽714が研磨具722と一体に回転し、電解液712の供給に伴って電解液712が長溝720aを流れて、しかも電解研磨に伴って生成される生成物や、水素ガス、酸素ガス等も長溝720aを流れて基板Wと研磨具722の間から外方に排出されるようになっている。

【0269】

なお、この例では、電解槽714が回転するようにした例を示しているが、スクロール運動（並進回転運動）するようにしたり、往復動するようにしたりしてもよい。また、長溝720aの形状は、陰極板720の中央部と外周部とで電流密度に差が生じてしまうことを防止するとともに、電解液や水素ガス等が長溝720aに沿ってスムーズに流れるようにするため、電解槽714がスクロール運動を行う場合には、格子状であることが好ましく、また電解槽714が往復動を行う場合には、この移動方向に沿った平行であることが好ましい。

20

【0270】

基板保持部716aは、回転速度が制御可能な回転機構と研磨圧力が調整可能な上下動機構を備えた支持ロッド724の下端に連結され、この下面に、例えば真空吸着方式で基板Wを吸着保持するようになっている。

【0271】

基板保持部716aの下面外周部には、基板保持部716aで基板Wを吸着保持した時、基板Wの周縁部乃至ベベル部と接触して、基板Wの表面に堆積した銅22（図6(a)参照）を陽極（アノード）にする電気接点726が設けられている。この電気接点726は、支持ロッド724に内蔵されたロール摺動コネクタおよび配線728aにより、外部に配置した直流及びパルス電流電源としての整流器730の陽極端子へ結線され、前記陰極板720は、配線728bを介して整流器730の陰極端子に結線される。

30

【0272】

この整流器730は、例えば低電圧仕様で、8インチウエハの場合は、15V×20A程度、12インチウエハの場合は、15V×30A程度の容量のものが使用される。パルス電流の周波数は、例えば通常～ms程度までのものが使用される。

40

更に、電解槽714の上方に位置して、この内部に電解液712を供給する電解液供給ユニット732が配置され、更に各機器及び運転全般を調節し管理する制御ユニット734および安全装置（図示せず）などが備えられている。

【0273】

この複合電解加工装置における加工（研磨）動作について説明する。

電解槽714内に電解液712を供給し、この電解液712が電解槽714をオーバフローする状態で、例えば90rpm程度の回転速度で電解槽714と研磨具722を一体に回転させる。一方、銅めっき等のめっき処理を施した基板Wを基板保持部716aで下向きに吸着保持しておく。この状態で、基板Wを前記電解槽714とは反対方向に、例えば90rpm程度の回転速度で回転させながら下降させ、この基板Wの表面（下面）

50

を、例えば 300 g/cm^2 程度の一定の圧力で研磨具 722 の表面に接触させ、同時に、整流器 730 により陰極板 720 と電気接点 726 との間に直流、または、例えば基板上の銅の表面積当たりの電流密度が $1 \sim 4 \text{ A/dm}^2$ 程度で、例えば 10×10^{-3} 秒間通電し、同じく 10×10^{-3} 秒間停止するパルス電流を流す。

【0274】

すると、銅 22 (図 6 (a) 参照) は、従来の技術よりも速い速度で、しかも効果的に平坦化されながら研磨される。つまり、前述のように、電解液 712 として、酸化剤やしてキレート剤に砥粒を含有したものが用い、銅 22 を陽極として電解研磨すると、図 33 (a) に示すように、銅 22 の表面に不動態膜 (キレート膜) 22a が生成される。この不動態膜 22a は、機械的にきわめて脆弱であり、回転する低い圧力の研磨具で容易に研削除去できる。このため、研磨具 722 で研磨すると、図 33 (b) に示すように、銅 22 の凸部表面に生成された不動態膜 22a が主に研削除去され、この研削除去された部分で銅 22 が外部に露出する。すると、不動態膜 22a は、比較的高い電気抵抗を示し、この不動態膜 22a で覆われた部分への通電は抑制され、金属面が露出している部分 226b へ電流が集中する性質があり、このため、図 33 (c) に示すように、先に研磨されて銅 22 が露出した表面に不動態膜 22a が直ちに生成され、前述と同様に、この後に生成された不動態膜 22a が主に研削除去される。つまり、銅 22 の凹部の表面は、不動態膜 22a で覆われたままの状態、ここの研磨が抑制され、これによって、銅 22 の凸部のみが選択的に研削除去される。

10

【0275】

なお、図 32 に示す装置は、触媒を用いた超純水電解加工に用いることができる。その場合、電解液 712 の代わりに超純水などの $500 \mu\text{S/cm}$ の液体を用い、研磨具 722 の代わりにイオン交換体を用いる。他の運転方法は、前述の複合電解加工と同じである。

20

【0276】

図 34 は、工具との接触のない、一般の電解加工を行う電解加工装置の概要を示す。この電解加工装置は、液体電解質 750、すなわち塩の水溶液を入れるタンク 752 が備えられている。そして、電源 754 の陽極には、被加工物としての基板 W の銅 22 (図 6 (a) 参照) が接続され、陰極には、この基板 W に対向する位置に配置された陰極板 (カソード) 756 に接続される。この装置の基板 W の銅 22 と陰極板 756 に通電すると、銅 22 の金属原子が電気でイオン化されて溶液中に溶け出し、銅 22 が溶液 (電解液) 中に溶解する。溶解速度は、ファラデーの法則により、電流に比例する。銅 22 と塩の化学反応に応じて、陽極 (銅) から発生する金属イオンは、陰極板 756 をめっきするか、析出物として析出するか、または溶液中にそのまま残る。

30

【0277】

陰極板 756 は成形したツールであり、被加工物として基板 W の銅 22 の近くに保持してゆっくりと銅 22 に近づけてゆき、それと同時に電解質を電極間の間隙を通してポンプで供給する。陰極板 756 は工作機械の切刃に対応し、被加工物として基板 W の銅 22 に向かってゆっくりと移動していく。加工が進むにつれて、被加工物として基板 W の銅 22 は、陰極板 756 の形状になっていく。加工速度は、陰極板 756 と基板 W の距離に比例する。電極が接触することはないので、陰極板 756 は摩耗しない。

40

【0278】

この電解加工においては、陰極板 756 を徐々に基板 W に接近させていくだけで、金属 (銅) が除去される。金属 (銅) の溶解速度は、陰極板 756 が基板 W に接近した場合に最大となり、電極間の距離が増大するとともに低下する。こうなるのは、電場の影響を受けるためである。

【0279】

図 35 乃至図 39 は、図 3 に示す基板ホルダ 60 を有する基板ヘッド 82 と電解加工部 64 に置き換え可能な電解加工装置を示す。図 35 及び図 36 に示すように、この電解加工装置は、上下動可能かつ水平面に沿って往復動可能なアーム 840 と、アーム 840 の自由端に垂設されて基板 W を下向き (フェイスダウン) に吸着保持する基板保持部 842 と

50

、アーム 8 4 0 が取付けられる可動フレーム 8 4 4 と、矩形状の電極部 8 4 6 と、電極部 8 4 6 に接続される電源 8 4 8 とを備えている。

【 0 2 8 0 】

可動フレーム 8 4 4 の上部には上下動用モータ 8 5 0 が設置されており、この上下動用モータ 8 5 0 には上下方向に延びるボールねじ 8 5 2 が連結されている。ボールねじ 8 5 2 にはアーム 8 4 0 の基部 8 4 0 a が取付けられており、上下動用モータ 8 5 0 の駆動に伴ってアーム 8 4 0 がボールねじ 8 5 2 を介して上下動するようになっている。また、可動フレーム 8 4 4 自体も、水平方向に延びるボールねじ 8 5 4 に取付けられており、往復動用モータ 8 5 6 の駆動に伴って可動フレーム 8 4 4 及びアーム 8 4 0 が水平面に沿って往復動するようになっている。

10

【 0 2 8 1 】

基板保持部 8 4 2 は、アーム 8 4 0 の自由端に設置された自転用モータ 8 5 8 に接続されており、この自転用モータ 8 5 8 の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。また、上述したように、アーム 8 4 0 は上下動及び水平方向に往復動可能となっており、基板保持部 8 4 2 はアーム 8 4 0 と一体となって上下動及び水平方向に往復動可能となっている。

【 0 2 8 2 】

電極部 8 4 6 の下方には中空モータ 8 6 0 が設置されており、この中空モータ 8 6 0 の主軸 8 6 2 には、この主軸 8 6 2 の中心から偏心した位置に駆動端 8 6 4 が設けられている。電極部 8 4 6 は、その中央において上記駆動端 8 6 4 に軸受（図示せず）を介して回転自在に連結されている。また、電極部 8 4 6 と中空モータ 8 6 0 との間には、周方向に 3 つ以上の自転防止機構（図示せず）が設けられている。

20

【 0 2 8 3 】

これによって、電極部 8 4 6 は、中空モータ 8 6 0 の駆動に伴って、主軸 8 6 2 の中心と駆動端 8 6 4 との間の距離を半径とした、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）を行うようになっている。

【 0 2 8 4 】

電極部 8 4 6 は複数の電極部材 8 8 2 を備えている。図 3 7 は、電極部 8 4 6 を示す平面図、図 3 8 は、図 3 7 の B - B 線断面図、図 3 9 は、図 3 8 の部分拡大図である。図 3 7 及び図 3 8 に示すように、電極部 8 4 6 は、X 方向（図 3 5 及び図 3 7 参照）に延びる複数の電極部材 8 8 2 を備えており、これらの電極部材 8 8 2 は平板状のベース 8 8 4 上に並列に配置されている。

30

【 0 2 8 5 】

図 3 9 に示すように、各電極部材 8 8 2 は、電源 8 4 8（図 3 5 参照）に接続される電極 8 8 6 と、電極 8 8 6 の上部に積層されたイオン交換体 8 8 8 と、電極 8 8 6 及びイオン交換体 8 8 8 の表面を一体的に覆うイオン交換体（イオン交換膜） 8 9 0 とを備えている。イオン交換体 8 9 0 は、電極 8 8 6 の両側に配置された保持プレート 8 8 5 により電極 8 8 6 に取付けられている。

【 0 2 8 6 】

ここで、イオン交換体 8 8 8 としては、イオン交換容量の高いイオン交換体を用いることが好ましい。この例では、厚さが 1 mm の C 膜（不織布イオン交換体）を 3 枚重ねた多層構造としており、イオン交換体 8 8 8 の持つトータルのイオン交換容量を増加させている。このようにすることで、電解反応により発生した加工生成物（酸化物やイオン）をイオン交換体 8 8 8 内にこの蓄積容量以上に蓄積させないようにして、イオン交換体 8 8 8 内に蓄積された加工生成物の形態が変化して、それが加工速度及びその分布に影響を与えることを防止することができる。また、目標とする被加工物の加工量を十分補えるだけのイオン交換容量を確保することができる。なお、イオン交換体 8 8 8 のイオン交換容量が高ければ 1 枚としてもよい。

40

【 0 2 8 7 】

また、少なくとも被加工物と対面するイオン交換体 8 9 0 は、硬度が高く、しかも良好な

50

表面平滑性を有することが好ましい。この例では、厚さ0.2mmのナフィオン（デュポン社の商標）を使用している。ここで、「硬度が高い」とは、剛性が高く、かつ圧縮弾性率が低いことを意味する。硬度が高い材質を用いることにより、パターンウェハ等の、被加工物表面の微細な凹凸に加工部材が倣いにくくなるため、パターンの凸部のみを選択的に除去しやすい。また、「表面平滑性を有する」とは、表面の凹凸が小さいことを意味する。すなわち、イオン交換体が、被加工物であるパターンウェハ等の凹部に接触しにくくなるため、パターンの凸部のみを選択的に除去しやすくなる。このように、表面平滑性を有するイオン交換体890とイオン交換容量の大きなイオン交換体888とを組み合わせることにより、イオン交換容量が少ないというイオン交換体890の短所をイオン交換体888により補うことができる。

10

【0288】

また、イオン交換体890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。純水または超純水がイオン交換体890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る。従って、純水または超純水の流れが必要となり、純水または超純水の流れとしては、一様かつ均一であることが好ましい。このように、一様かつ均一な流れとすることで、イオンの供給及び加工生成物の除去の一様性及び均一性、ひいては加工効率の一様性及び均一性を図ることができる。

20

【0289】

このようなイオン交換体888, 890は、例えば、アニオン交換能またはカチオン交換能を付与した不織布で構成されている。カチオン交換体は、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、アニオン交換体は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（第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（第3級以下のアミノ基）を担持したものでよい。

【0290】

この例では、隣り合う電極部材882の電極886に、電源848の陰極と陽極とが交互に接続されている。例えば、電極886a（図38参照）を電源848の陰極に接続し、電極886b（図38参照）を陽極に接続する。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、陰極に接続した電極886aが加工電極となり、陽極に接続した電極886bが給電電極となる。このように、この例では、加工電極と給電電極とが並列に交互に配置される。

30

【0291】

このように、加工電極と給電電極とを電極部846のY方向（電極部材882の長手方向と垂直な方向）に交互に設けることで、基板Wの銅22（図6(a)参照）に給電を行う給電部を設ける必要がなくなり、基板の全面の加工が可能となる。また、電極886間に印加される電圧の正負をパルス状に変化させることで、電解生成物を溶解させ、加工の繰返しの多重性によって平坦度を向上させることができる。

40

【0292】

図38に示すように、電極部846のベース884の内部には、被加工面に純水、より好ましくは超純水を供給するための流路892が形成されており、この流路892は純水供給管894を介して純水供給源（図示せず）に接続されている。各電極部材882の両側には、流路892から供給される純水または超純水を基板Wと電極部材882のイオン交換体890との間に噴射するための純水噴射ノズル896が設置されている。この純水噴射ノズル896には、電極部材882に対向する基板Wの被加工面、すなわち基板Wとイオン交換体890との接触部分に向けて純水または超純水を噴射する噴射口898がX方向に沿って複数箇所（図37参照）に設けられている。この純水噴射ノズル896の噴射口898から流路892内の純水または超純水が基板Wの被加工面全域に供給される。こ

50

ここで、図 39 に示すように、純水噴射ノズル 896 の高さは、電極部材 882 のイオン交換体 890 の高さよりも低くなっており、基板 W を電極部材 882 のイオン交換体 890 に接触させた際にも、純水噴射ノズル 896 が基板 W に接触しないようになっている。

【0293】

また、各電極部材 882 の電極 886 の内部には、流路 892 からイオン交換体 888 に通じる貫通孔 899 が形成されている。このような構成により、流路 892 内の純水または超純水は、貫通孔 899 を通ってイオン交換体 888 に供給される。

【0294】

次に、この電解加工装置による電解加工について説明する。まず、基板保持部 842 により基板 W を吸着保持し、アーム 840 を移動させて基板 W を保持した基板保持部 842 を電極部 846 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 850 を駆動して基板保持部 842 を下降させ、この基板保持部 842 で保持した基板 W を電極部 846 のイオン交換体 890 の表面に接触させる。この状態で、自転用モータ 858 を駆動して基板 W を回転させ、同時に中空モータ 860 を駆動して電極部 846 をスクロール運動させる。このとき、純水噴射ノズル 896 の噴射口 898 から基板 W と電極部材 882 との間に純水または超純水を噴射し、また、各電極部 846 の貫通孔 899 を通じて純水または超純水をイオン交換体 888 に含ませる。この例では、イオン交換体 888 に供給された純水または超純水は各電極部材 882 の長手方向端部から排出される。

【0295】

そして、電源 848 により加工電極と給電電極との間に所定の電圧を印加し、イオン交換体 888, 890 により生成された水素イオンまたは水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）において基板 W の表面の導電体膜（銅 22）の電解加工を行う。なお、この例では、電解加工中に往復動用モータ 856 を駆動させてアーム 840 及び基板保持部 842 を Y 方向に移動させる。このように、この例では、電極部 846 をスクロール運動させ、基板 W を電極部材 882 の長手方向と垂直な方向に移動させながら加工を行うが、例えば、電極部 846 を電極部材 882 の長手方向と垂直な方向に移動させながら、基板 W をスクロール運動させてもよい。また、スクロール運動に代えて、Y 方向への直進往復運動を行うこととしてもよい。

【0296】

図 40 及び図 41 は、基板 W を保持し、該基板 W の銅 22（図 6（a）参照）に直接給電する給電機構を備えた基板保持部 1048 を示す。図 40 及び図 41 に示すように、この基板保持部 1048 のフランジ部 1060 と吸着プレート 1061 との間には、吸着プレート 1061 の吸着孔 1061a に連通する空間 1063 が形成されている。また、フランジ部 1060 と吸着プレート 1061 との間にはリング 1064 が配置されており、上記空間 1063 がこのリング 1064 によってシールされている。また、吸着プレート 1061 との外周部、すなわち吸着プレート 1061 とガイドリング 1062 との間には軟質のシールリング 1065 が配置されている。このシールリング 1065 は、吸着プレート 1061 に吸着された基板 W の外周部の裏面に接触するようになっている。

【0297】

基板保持部 1048 には、6 つのチャック機構 1070 が周方向に等間隔に設けられている。このチャック機構 1070 は、図 40 に示すように、基板保持部 1048 のフランジ部 1060 の上面に取付けられた台座 1071 と、上下動可能なロッド 1072 と、支軸 1073 を中心として回転可能な給電爪部材 1074 とを備えている。ロッド 1072 の上端にはナット 1075 が取付けられており、このナット 1075 と台座 1071 との間には圧縮コイルばね 1076 が介装されている。

【0298】

図 40 に示すように、給電爪部材 1074 とロッド 1072 とは水平方向に移動可能なピン 1077 を介して連結されており、ロッド 1072 の上方への移動に伴って給電爪部材 1074 は支軸 1073 を中心として回転し内方に閉じ、ロッド 1072 の下方への移動に伴って給電爪部材 1074 は支軸 1073 を中心として回転し外方に開くような構造と

10

20

30

40

50

なっている。このような構造により、ロッド1072を下方に押下げると、圧縮コイルばね1076の付勢に抗してロッド1072が下方に移動し、これにより給電爪部材1074が支軸1073を中心として回転して外方に開くようになっている。そして、ロッド1072の押圧力を解くと、ロッド1072が圧縮コイルばね1076の弾性力で上昇し、これにより給電爪部材1074は支軸1073を中心として回転して内方に閉じるようになっている。これら6箇所には設けられたチャック機構1070によって基板Wの周縁部が位置決めされた状態で挟持され、基板Wが基板保持部1048の下面に保持される。

【0299】

図40に示すように、給電爪部材1074の半径方向内側の表面には、導電性の給電部材1078が取り付けられている。この給電部材1078は、導電性の通電プレート1079に接触するようになっている。通電プレート1079はボルト1080を介して電氣的に電源ケーブル1081に接続されており、この電源ケーブル1081は電源（図示せず）に接続されている。給電爪部材1074が内方に閉じ、基板Wの周縁部を挟持すると、給電爪部材1074の給電部材1078が基板Wの周縁部に接触し、基板Wに対して給電を行うようになっている。

10

【0300】

なお、図40及び図41に示した基板保持部1048を用いた場合は、基板への給電は給電爪部材1074の給電部材1078により給電されるので、図38及び図39に示す電極886は、全て加工電極にすることができる。そのように構成することにより、基板に対して、基板チャック機構1070から直接給電されるので、基板と給電電極が接触する部分が小さくて済み、給電電極からの気泡発生箇所が減る。また、加工電極の数を倍に増やすことができるので、基板に対して通過する加工電極の数が増え、基板面での加工面内均一性、及び加工速度が向上する。

20

【0301】

図35～図41に示した装置は、電解液を用いた電解加工や砥粒研磨を含む複合電解研磨にも用いることができる。その場合は、加工液に純水の代わりにキレート剤等を含有した電解液や砥粒含有電解液を用い、イオン交換体888、890の代わりにスクラブ部材や研磨パッドを用いる。

【0302】

ここで、図3に示す基板ホルダ60を有する基板ヘッド82及びCMP部62や、前述の各CMP装置で、アブレイブフリー薬液によるCMP加工を行うことができる。この場合、研磨液として、金属の酸化剤、酸化金属溶解剤、保護膜形成剤、水溶性高分子及び水を含むものを使用する。この金属の酸化剤としては、例えば、過酸化水素、硝酸、過ヨウ素酸カリウム、次亜塩素酸及びオゾン水等が挙げられる。また、酸化金属溶解剤として、有機酸、有機酸エステル、有機酸のアンモニウム塩及び硫酸が、保護膜形成剤として、ベンゾトリアゾール及びベンゾトリアゾール誘導体がそれぞれ挙げられる。更に、水溶性高分子として、ポリアクリル酸及びポリアクリル酸の塩が挙げられる。

30

【0303】

図42は、ドライエッチング装置の例を示す。このドライエッチング装置は、真空容器1001と、この真空容器1001内にガスを供給するガス供給装置1002と、真空ポンプ1003と、電極用高周波電源1004に接続された下部電極1005を備えている。これにより、真空容器1001内にガス供給装置1002より所定のガスを導入しつつ、排気装置としての真空ポンプ1003により排気を行い、真空容器1001内を所定の圧力に保ちながら、下部電極1005に電極用高周波電源1004から高周波電力を供給し、真空容器1001内にプラズマを発生させることで、下部電極1005上に載置された基板Wに対してエッチング処理を行うように構成されている。

40

【0304】

図43は、ケミカルエッチング装置の例を示す。このエッチング装置は、半導体ウエハ等の基板Wを略水平に保持して回転させる、主軸211とテーブル212とからなる回転保持機構を備えている。テーブル212が真空吸着等により基板Wを固定保持する。基板面

50

の近傍には、エッチング液吐出ノズル 2 1 3 が配置されていて、この吐出口は、基板 W の中心に向かう方向に向けて配置されている。そして、エッチング液吐出ノズル 2 1 3 の吐出口は、基板面から 4 5° 以内の仰角でエッチング液 L が吐出されるように配置されている。

【0305】

エッチング液 L は、エッチング液供給タンクを備えた供給装置 2 1 7 より、所要の流速に調整されてエッチング液吐出ノズル 2 1 3 より噴射される。ここで、エッチング液 L には、エッチング処理に好適な薬液が用いられる。

【0306】

エッチング液 L が、基板面と 4 5° 以下の仰角をなす角度で所要のエッチング領域に対して噴射されることで、エッチング液 L の水平方向の速度分力は垂直方向の速度分力より大きくなる。そして、水平方向の流速が大きい状態で基板中心に向かう方向にエッチング液 L が供給される。このため、エッチング対象領域に速やかにエッチング液 L が供給されてエッチングが行われる。

【0307】

また、基板 W に入射するエッチング液 L の垂直方向の速度分力が大きいと、基板 W とエッチング液 L の衝突によるエッチング液 L の飛散が発生するが、基板 W に対するエッチング液 L の入射方向を 4 5° 以下にすることで、エッチング液 L と基板 W の衝突の際におけるエッチング液 L の垂直方向の速度分力が小さくなり、エッチング液 L の基板面での跳ねを防止することができる。以上の観点から、エッチング液 L の基板面に対する入射角度（仰角）は、なるべく小さいことが好ましく、3 0° 以下、さらに好ましくは 1 5° 以下が好適である。

【0308】

上述の図 5，図 8 ~ 図 4 3 で示した各種の加工装置は、図 3 に示した基板処理装置の C M P 部 6 2 や電解加工部 6 4、更には洗浄機 4 2，5 4 等の各種ユニット等の設置部に適宜配置して、組合わせて使用することができる。必要によっては、図 3 の領域 C、D 内の加工ユニットの数を増やしてもよい。

【0309】

図 4 4 乃至図 4 6 は、渦電流式の膜厚センサ（渦電流センサ）を備えた C M P 装置を示す。この C M P 装置は、ターンテーブル 8 0 1 と、基板 W を保持しつつターンテーブル 8 0 1 に押圧するトップリング 8 0 3 とを具備している。ターンテーブル 8 0 1 はモータ 8 0 7 に連結されており、矢印で示すようにその軸心回りに回転可能になっている。また、ターンテーブル 8 0 1 の上面には、研磨布 8 0 4 が貼設されている。

【0310】

また、トップリング 8 0 3 は、モータ（図示せず）に連結されるとともに昇降シリンダ（図示せず）に連結されている。これによって、トップリング 8 0 3 は、矢印で示すように昇降可能かつその軸心回りに回転可能になっており、基板 W を研磨布 8 0 4 に対して任意の圧力で押圧することができるようになっており、トップリング 8 0 3 はトップリングシャフト 8 0 8 に連結されており、またトップリング 8 0 3 はその下面にポリウレタン等の弾性マット 8 0 9 を備えている。またトップリング 8 0 3 の下部外周部には、基板 W の外れ止めを行うガイドリング 8 0 6 が設けられている。

【0311】

また、ターンテーブル 8 0 1 の上方には研磨砥液ノズル 8 0 5 が設置されており、研磨砥液ノズル 8 0 5 によってターンテーブル 8 0 1 に貼設された研磨布 8 0 4 上に研磨砥液 Q が供給されるようになっている。

【0312】

図 4 4 に示すように、ターンテーブル 8 0 1 内には、渦電流センサ 8 1 0 が埋め込まれている。渦電流センサ 8 1 0 の配線 8 1 4 は、ターンテーブル 8 0 1 およびターンテーブル支持軸 8 0 1 a 内を通り、ターンテーブル支持軸 8 0 1 a の軸端に設けられたロータリコネクタ（またはスリップリング）8 1 1 を経由してコントローラ 8 1 2 に接続されている

。コントローラ 8 1 2 は表示装置（ディスプレイ）8 1 3 に接続されている。

【0313】

図 4 5 は、図 4 4 に示す CMP 装置の平面図である。図示するように、渦電流センサ 8 1 0 は、トップリング 8 0 3 に保持された研磨中の基板 W の中心 C w を通過する位置に設置されている。符号 C_T はターンテーブル 8 0 1 の回転中心である。渦電流センサ 8 1 0 は、基板 W の下方を通過している間、通過軌跡上で連続的に基板 W の銅等の導電性膜の膜厚を検出できるようになっている。

【0314】

図 4 6 は渦電流センサ 8 1 0 の埋め込み状態を示す要部拡大断面図であり、図 4 6 (a) はターンテーブル上に研磨布を貼設した場合を示し、図 4 6 (b) はターンテーブル上に固定砥粒プレートを設置した場合を示している。図 4 6 (a) に示すように、ターンテーブル 8 0 1 上に研磨布 8 0 4 を貼設する場合には、渦電流センサ 8 1 0 はターンテーブル 8 0 1 内に埋め込む。また図 4 6 (b) に示すように、ターンテーブル 8 0 1 上に固定砥粒プレート 8 1 5 を設置する場合には、渦電流センサ 8 1 0 は固定砥粒プレート 8 1 5 内に埋め込む。

10

【0315】

図 4 6 (a) 及び図 4 6 (b) に示すいずれの方法においても、研磨布 8 0 4 の上面の加工面（研磨面）または固定砥粒プレート 8 1 5 の上面の加工面（研磨面）、即ち基板の被加工面から渦電流センサ 8 1 0 の上面までの距離 L は、1 . 3 mm 以上あってもよい。図 4 6 (a) および図 4 6 (b) には、酸化膜（SiO₂）8 0 2 a 上に銅層やアルミニウム層からなる導電性膜 8 0 2 b が形成された半導体ウエハ 8 0 2 が示されている。

20

【0316】

研磨布には、例えば、ロデル社製のポリテックス（PoliteX）などの不織布や IC 1 0 0 0 のような発泡ポリウレタンが用いられる。また固定砥粒プレート 8 1 5 は粒度が数 μm 以下であるような微細な砥粒（例えば CeO₂）を樹脂を結合剤として固め、円板状に成形したものが用いられる。

【0317】

ここでは、CMP 装置を例に示したが、電解加工装置の場合も同様に、加工テーブルの適切な位置に渦電流センサを配置し、導電性膜の膜厚を測定し、ステップの切替えの指標にする。

30

図 4 7 は、渦電流センサを備えた電解加工装置の要部を示す。すなわち、この電解加工装置は、例えば銅等の配線材料の内部に発生させた渦電流の加工に伴う変化を検出して加工終点を検出するようにしたもので、表面（上面）にイオン交換体 2 0 7 0 を貼付け、基板 W を保持する基板ホルダ 2 1 1 2 の下方に配置された加工テーブル 2 0 6 4 の内部には、基板 W の表面に堆積した銅等の配線材料（導電性膜）の内部に渦電流を発生させ、しかもこの時の渦電流を大きさを検出する渦電流センサ 2 1 5 0 が埋め込まれている。そして、この渦電流センサ 2 1 5 0 で検出した信号は、加工終点検出部としての信号処理装置 2 1 5 2 に入力され、この信号処理装置 2 1 5 2 で処理された信号は、制御部 2 1 5 4 に入力されるようになっている。なお、加工テーブル 2 0 6 4 は、中空モータ 1 0 6 2 に直結され、またこの加工テーブル 2 0 6 4 の内部に配置された加工電極と給電電極（図示せず）との間には、電源 2 0 7 4 から所定の電圧が印加されるようになっている。その他の構成は、前述の例とほぼ同様である。

40

【0318】

図 4 8 乃至図 5 0 は、膜厚モニターを備えた更に他の CMP 装置を示す。図 4 8 に示すように、この CMP 装置には、軸 1 1 1 1 を回転中心として回転する定盤 1 1 1 0 と、半導体ウエハ等の基板 W を保持し軸 1 1 2 2 を回転中心として回転する基板支持体 1 1 2 0 と、モニター部 1 1 3 0 が備えられている。このモニター部 1 1 3 0 はセンサ部 1 1 4 0、分光器 1 1 3 1、光源 1 1 3 2 及びデータ処理用パソコン 1 1 3 3 等を具備している。

【0319】

上記構成の CMP 装置において、定盤 1 1 1 0 の上面には、固定砥粒（砥石）や研磨パッ

50

ド等の研磨材 1 1 1 2 が貼り付けられており、該研磨材 1 1 1 2 と基板 W の相対的運動により、該基板 W の被加工面を研磨する。センサ部 1 1 4 0 は、後に詳述するように、光源 1 1 3 2 からの光を基板 W の被加工面に照射すると共に、反射光を受光する。分光器 1 1 3 1 ではセンサ部 1 1 4 0 で受光した反射光を分光して基板 W の被加工面の表面情報を得る。データ処理用パソコン 1 1 3 3 は分光器 1 1 3 1 からの被加工面の表面情報を、電気信号系 1 1 3 4 を介して得、処理して被加工面の膜厚情報を得て、図示しない研磨装置のコントローラに伝送する。CMP 装置のコントローラは、この膜厚情報により研磨継続、研磨停止等の研磨装置の各種制御を行う。なお、センサ部 1 1 4 0 に透明液の給排液を行う給排液系 1 1 5 0 が備えられている。

【0320】

図 4 9 は、センサ部 1 1 4 0 の概略構成例を示す。図示するように、定盤 1 1 1 0 の上面に貼り付けられた固定砥粒や研磨パッド等の研磨材 1 1 1 2 には貫通孔 1 1 4 1 が設けられ、定盤 1 1 1 0 の該貫通孔 1 1 4 1 の底部に相当する部分に給液孔 1 1 4 2 が開口している。基板 W の研磨時は該基板 W で貫通孔 1 1 4 1 の上部は閉塞され、給液孔 1 1 4 2 から透明液（光が透過する液）Q を供給することにより、該貫通孔 1 1 4 1 内は該透明液 Q で満たされる。透明液 Q は研磨材 1 1 1 2 と被加工面との隙間から排出される。

【0321】

給液孔 1 1 4 2 は、その中心線が基板 W の被加工面に対して垂直になるように定盤 1 1 1 0 に配設され、即ち該基板 W から供給される透明液 Q が基板 W の被加工面に対して略垂直に進む流れを形成するように配置形成されている。基板 W の被加工面に光を照射するための照射光用光ファイバ 1 1 4 3 と反射光を受光するための反射光用光ファイバ 1 1 4 4 はその中心線が給液孔 1 1 4 2 の中心線と平行になるように給液孔 1 1 4 2 内に配置されている。

【0322】

センサ部 1 1 4 0 を上記のように構成することにより、給液孔 1 1 4 2 から吐出された透明液 Q は、上記のように、基板 W の被加工面に対して略垂直に進む流れを形成する。照射光用光ファイバ 1 1 4 3 からの照射光は、透明液 Q の垂直な流れ部分を通して基板 W の被加工面に達し、該被加工面で反射された反射光は、同じく透明液 Q の被加工面に対して垂直な流れ部分を通して反射光用光ファイバ 1 1 4 4 に達する。この透明液 Q の基板 W の被加工面に対して略垂直に進む流れには、基板 W の被加工面を洗浄する作用を奏すると共に、被加工面と研磨材 1 1 1 2 の上面との間の隙間に存在する研磨液中の研磨材粒、研磨材 1 1 1 2 の削り滓、基板 W の削り滓等のパーティクルの浸入が阻止され、照射光及び反射光の好適な光路となる。従って、被加工面の薄膜の観測を安定且つ正確に行うことができる。

【0323】

なお、給液孔 1 1 4 2 に接続された図示しない液流路には電磁弁を設け、該電磁弁の制御により、貫通孔 1 1 4 1 が基板 W で塞がれていないときは透明液 Q の供給を停止または抑制し、研磨特性への影響を低減することも可能である。また、上記構成のセンサ部 1 1 4 0 は、貫通孔 1 1 4 1 が基板で常に塞がれ、或いは定盤 1 1 1 0 が 1 軸を回転中心に回転するのではなく、定盤の各点が同一半径の円軌跡を描くように平面運動する場合も有効である。

【0324】

図 5 0 は、センサ部 1 1 4 0 の他の概略構成例を示す図である。図 5 0 のセンサ部 1 1 4 0 が図 4 9 のセンサ部 1 1 4 0 と相違する点は、図 5 0 のセンサ部 1 1 4 0 では照射光が通る光ファイバと反射光が通る光ファイバを 1 本の照射・反射光用光ファイバ 1 1 4 5 としている点であり、他は図 4 9 と略同一の構成である。このように構成しても、図 4 9 のセンサ部 1 1 4 0 と略同様の作用効果が得られる。

【0325】

図 4 8 乃至図 5 0 には、貫通項 1 1 4 1 を設けた例を示しているが、この貫通孔 1 1 4 1 の開口端部を、光を透過する蓋体で該蓋体の上面が研磨材 1 1 1 2 の上面と略同一平面と

10

20

30

40

50

なるように覆ってもよい。このように、蓋体で覆うことで、研磨液Qが基板Wに接しないようにすることができ、これによって、研磨面上の研磨液の組成が変わることを防止することができる。

【0326】

図48乃至図50では、CMP装置における膜厚検知の例を示したが、電解加工装置にも適用できる。

図51は、この種の電解加工装置の要部を示すものである。すなわち、この電解加工装置は、銅等の配線材料(導電体膜)膜の表面に入射し該表面で反射した反射光の強度の加工に伴う変化を検出して加工終点を検出するようにしたものであり、加工テーブル2064には、上方に露出した凹部2064aが設けられ、この凹部2064a内に、投光素子と受光素子を具備した光学式センサ2140が設置されている。そして、この光学式センサ2140で検出した信号は、加工終点検出部としての信号処理装置2142に入力され、この信号処理装置2142で処理された信号は、制御部2144に入力されるようになっている。その他の構成は、前述の図47に示すものとほぼ同様である。

10

【0327】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、現在行われている配線形成ステップを見直し、加工ステップ(工程)を目的別に分割し、各目的に好適な加工方法で選択し、組み合わせる加工を行うことができ、これによって、配線形成時における平坦化の加工性能を向上させることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の銅配線形成例を工程順に示す図である。

【図2】CMPにおける相対速度と加工圧力の関係を示すグラフである。

【図3】本発明の実施の形態の基板処理装置の全体配置図である。

【図4】図3に示す基板ホルダ、CMP部及び電解加工部の関係を示す図である。

【図5】図3に示す電解加工部の拡大図である。

【図6】本発明の基板処理方法を工程順に示す図である。

【図7】配線の露出表面を保護膜で保護した状態を示す図である。

【図8】無電解めっき装置の一例を示す概要図である。

【図9】無電解めっき装置の他の例を示す概要図である。

30

【図10】無電解めっき装置の更に他の例の基板受渡し時における基板ヘッドを示す断面図である。

【図11】図10のB部拡大図である。

【図12】図10の無電解めっき装置の基板固定時における基板ヘッドを示す図11相当図である。

【図13】図10の無電解めっき装置のめっき処理時における基板ヘッドを示す図11相当図である。

【図14】図10の無電解めっき装置のめっき槽を示す一部切断の正面図である。

【図15】図10の無電解めっき装置の洗浄槽を示す断面図である。

【図16】CMP装置の一例を示す一部切断の正面図である。

40

【図17】(a)は、図16のCMP装置における支持板の平面図で、(b)は、(a)のA-A線断面図である。

【図18】CMPまたは電解加工装置の他の例を示す斜視図である。

【図19】CMPまたは電解加工装置の更に他の例を示す斜視図である。

【図20】CMPまたは電解加工装置の更に他の例におけるカップ型砥石を示す図である。

【図21】図20に示すカップ型砥石を使用したCMPまたは電解加工装置の斜視図である。

【図22】CMPまたは電解加工装置の更に他の例を示す断面図である。

【図23】カップ型砥石の他の例を示す図である。

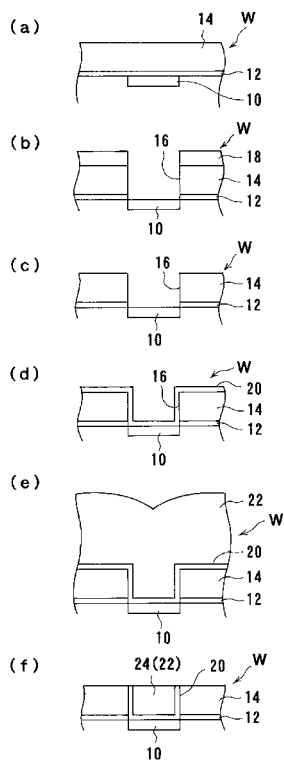
50

- 【図 2 4】CMP または電解加工装置の更に他の例を示す斜視図である。
- 【図 2 5】CMP または電解加工装置の更に他の例を示す正面図である。
- 【図 2 6】図 2 5 の平面図である。
- 【図 2 7】CMP または電解加工装置の更に他の例を示す側面図である。
- 【図 2 8】図 2 7 の正面図である。
- 【図 2 9】図 2 8 の A - A 線断面図である。
- 【図 3 0】(a) は、図 2 8 における C 矢視図、(b) 及び (c) は、(a) の側断面図である。
- 【図 3 1】図 2 7 の B - B 線断面図である。
- 【図 3 2】複合電解加工装置の一例を示す概要図である。 10
- 【図 3 3】図 3 2 の複合電解加工装置における複合電解加工を原理の説明に付する図である。
- 【図 3 4】一般の電解加工を行う電解加工装置の一例を示す概要図である。
- 【図 3 5】触媒を利用した電解加工装置の一例を示す平面図である。
- 【図 3 6】図 3 5 に示す電解加工装置の縦断正面図である。
- 【図 3 7】図 3 5 に示す電解加工装置の電極部の平面図である。
- 【図 3 8】図 3 7 の B - B 線断面図である。
- 【図 3 9】図 3 8 の部分拡大図である。
- 【図 4 0】触媒を利用した電解加工装置における基板保持部の他の例の要部を示す断面図である。 20
- 【図 4 1】図 4 0 の基板保持部の平面図である。
- 【図 4 2】ドライエッチング装置の一例を示す概要図である。
- 【図 4 3】ケミカルエッチング装置の一例を示す図である。
- 【図 4 4】CMP 装置の更に他の例を示す縦断正面図である。
- 【図 4 5】図 4 4 のターンテーブルの平面図である。
- 【図 4 6】それぞれ異なる渦電流センサの埋め込み状態を示す要部拡大断面図である。
- 【図 4 7】電解加工装置の更に他の例を示す縦断正面図である。
- 【図 4 8】CMP 装置の更に他の例を示す正面図である。
- 【図 4 9】図 4 8 のセンサ部の概略構成例を示す図である。
- 【図 5 0】図 4 8 のセンサ部の他の概略構成例を示す図である。 30
- 【図 5 1】電解加工装置の更に他の例を示す縦断正面図である。
- 【符号の説明】
- 1 4 絶縁膜 (絶縁材料)
- 1 6 配線用凹部
- 2 0 バリアメタル (バリア材料)
- 2 2 銅 (配線材料)
- 2 4 配線
- 2 6 保護膜
- 3 0 基板カセット
- 3 2 ロード・アンロードステージ 40
- 4 4 基板載置台
- 4 6 基板ステーション
- 5 4 洗浄機
- 6 0 基板ホルダ
- 6 2 CMP 部
- 6 4 電解加工部
- 6 6 研磨パッド
- 6 8 研磨テーブル
- 7 0 液体供給ノズル
- 7 2 ドレッサ 50

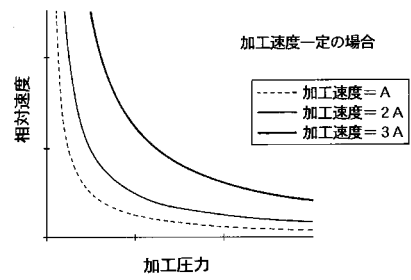
7 4	イオン交換体	
7 6	加工テーブル	
8 2	基板ヘッド	
8 8	ドレッサヘッド	
9 2	再生部	
9 6	再生ヘッド	
1 0 2	加工電極	
1 0 4	給電電極	
1 0 6	電極板	
1 0 8	電源	10
1 1 0	反転機	
1 1 4	リニアトランスポータ	
2 0 0	めっき槽	
2 0 2	洗浄槽	
2 0 4	基板ヘッド	
2 3 2	ヘッド部	
2 3 4	吸着ヘッド	
2 6 8	噴射ノズル	
3 0 5	研磨パッド	
3 0 8	トップリング	20
3 1 2	研磨テーブル	
3 1 3	研磨パッド	
3 1 7	トップリング	
3 2 1	ドレッサ	
3 3 2	トップリング	
3 5 9	砥石板	
3 6 1	基板保持部	
3 6 2	弾性シート	
4 1 2	基板ホルダ	
4 1 5	砥石	30
4 4 0	カップ型砥石	
4 5 6	研磨液ノズル	
4 5 8	研磨液	
4 6 0	研磨部	
4 6 6	砥石	
5 1 0	研磨テーブル	
5 3 6	研磨パッド	
5 4 0	吸着保持部	
6 1 6	研磨用パッド	
7 1 2	電解液	40
7 1 4	電解槽	
7 1 6 a	基板保持部	
7 1 8	主軸	
7 2 0	陰極板	
7 2 2	研磨具	
7 2 4	支持ロッド	
7 5 6	陰極板	
7 7 6	基板保持部	
8 0 1	ターンテーブル	
8 0 3	トップリング	50

- 8 0 4 研磨布
- 8 1 0 渦電流センサ
- 8 4 2 基板保持部
- 8 8 8 イオン交換体
- 8 9 0 イオン交換体
- 1 0 4 8 基板保持部
- 1 0 7 0 チャック機構
- 1 0 7 4 給電爪部材
- 1 1 1 2 研磨材

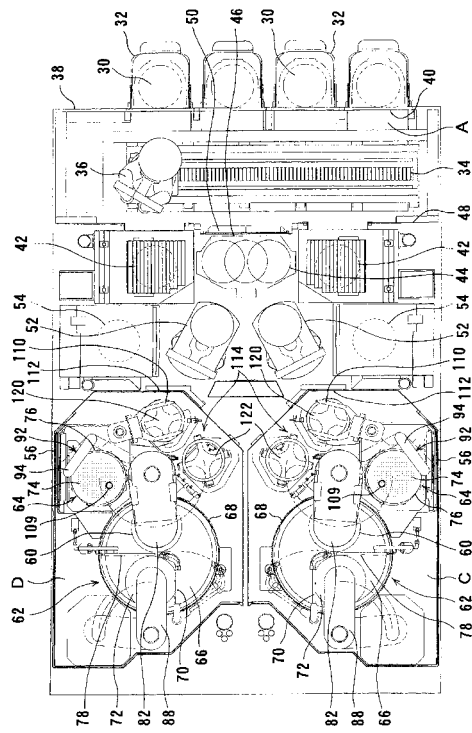
【 図 1 】



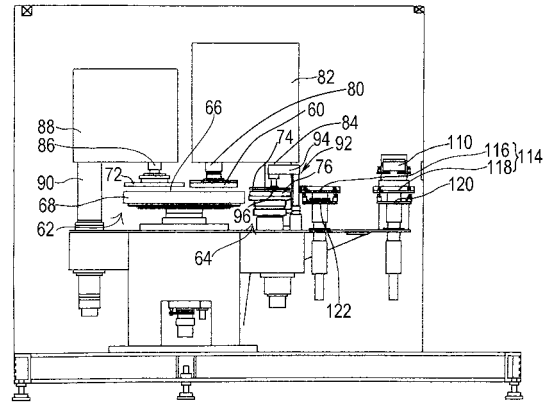
【 図 2 】



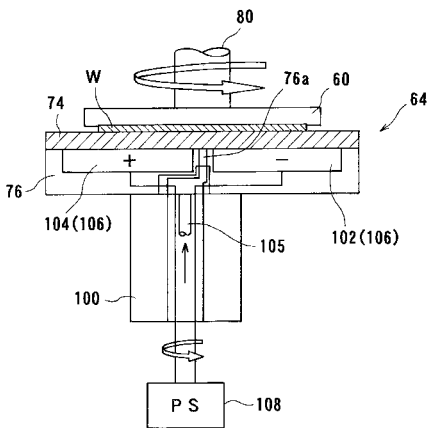
【 図 3 】



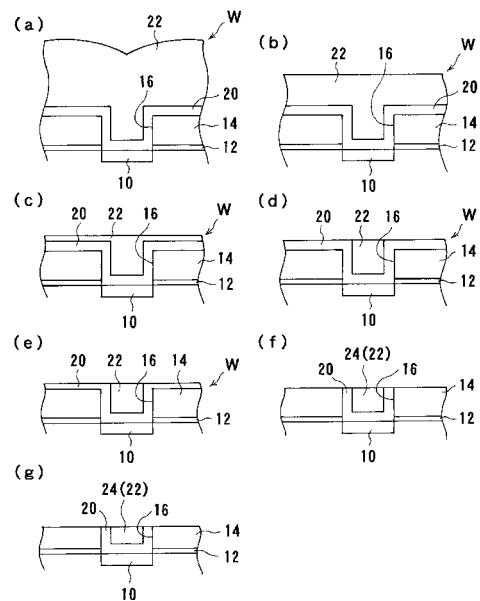
【 図 4 】



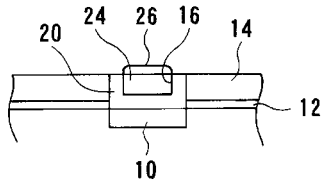
【 図 5 】



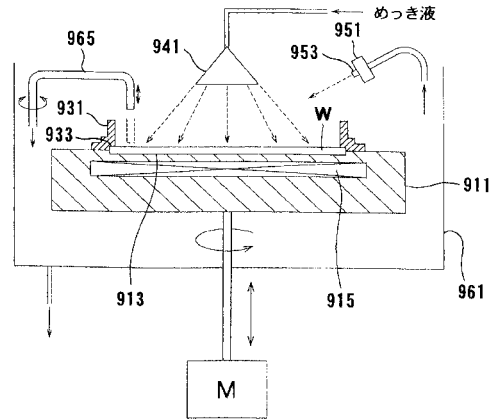
【 図 6 】



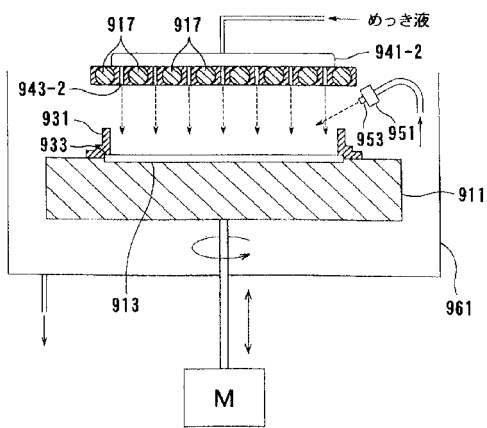
【 図 7 】



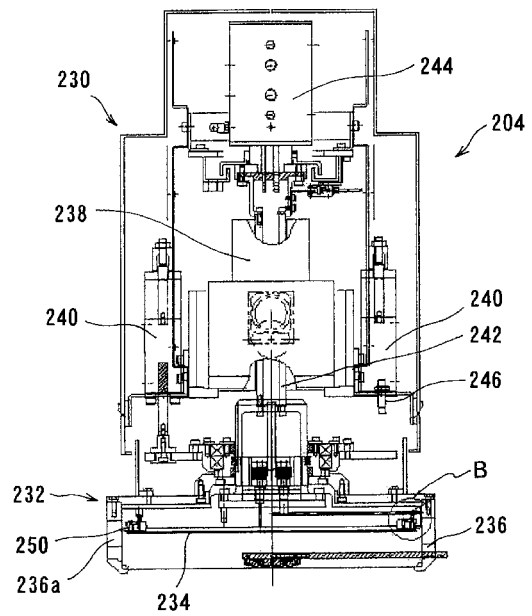
【 図 8 】



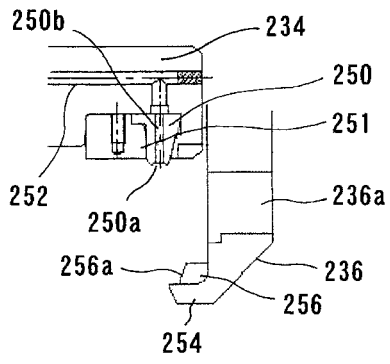
【 図 9 】



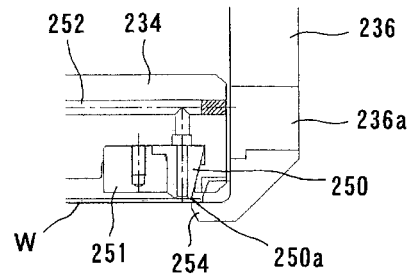
【 図 10 】



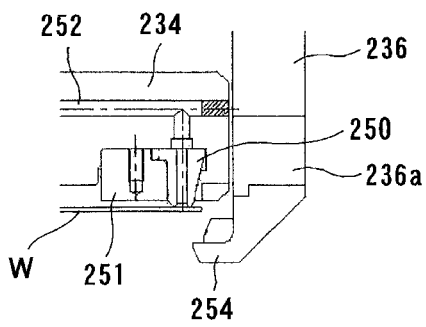
【 図 1 1 】



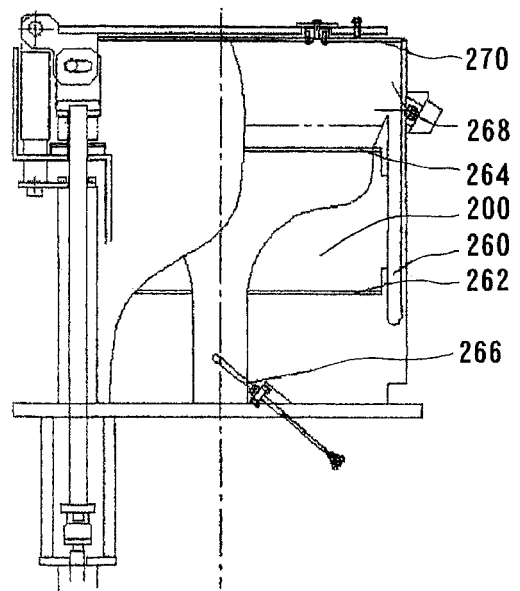
【 図 1 2 】



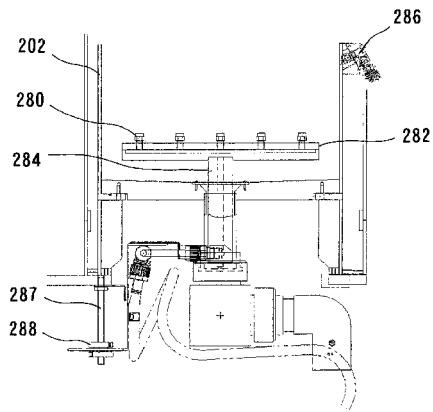
【 図 1 3 】



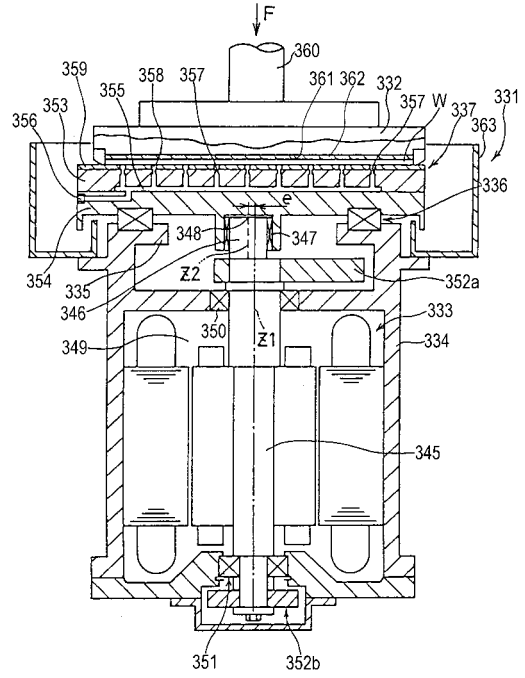
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

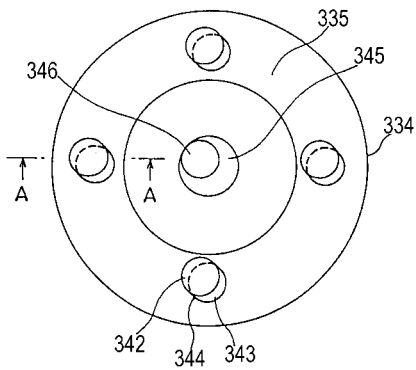


【 図 1 6 】

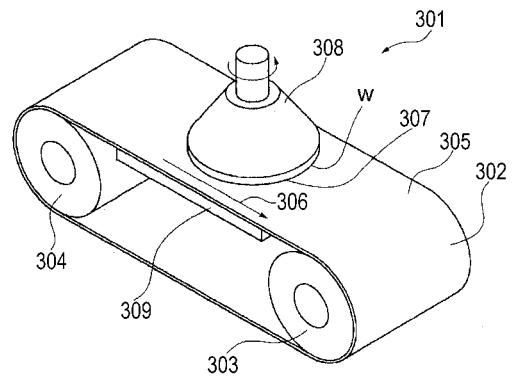


【 図 1 7 】

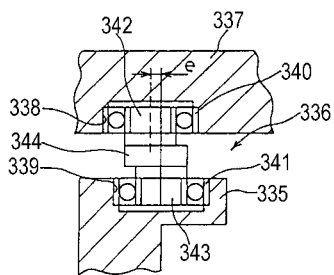
(a)



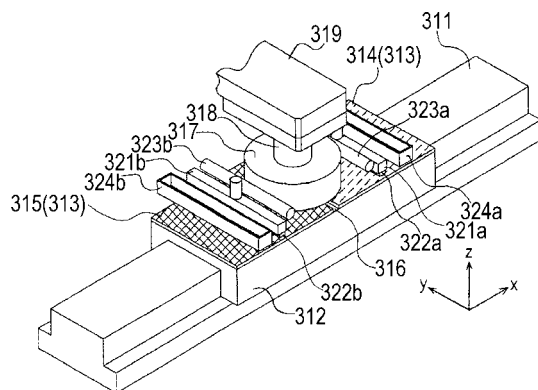
【 図 1 8 】



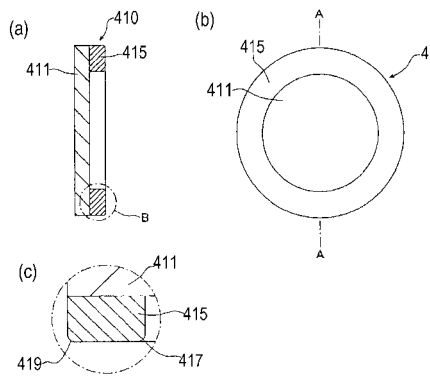
(b)



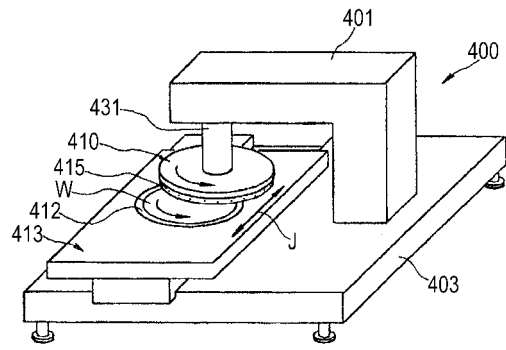
【 図 1 9 】



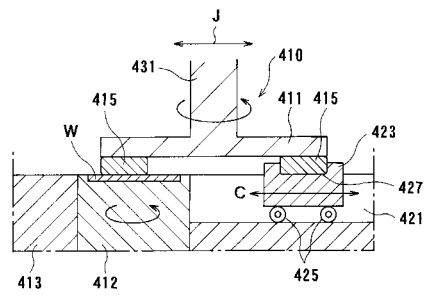
【 図 2 0 】



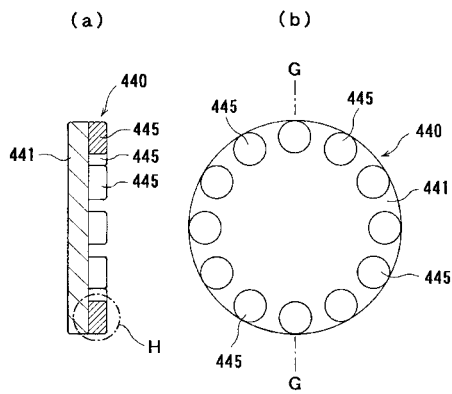
【 図 2 1 】



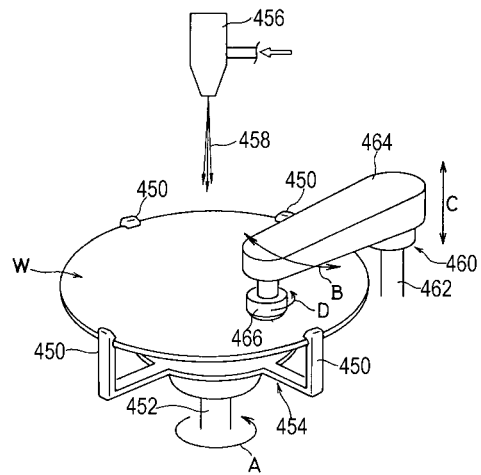
【 図 2 2 】



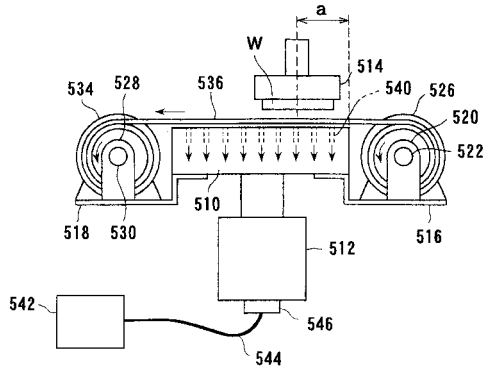
【 図 2 3 】



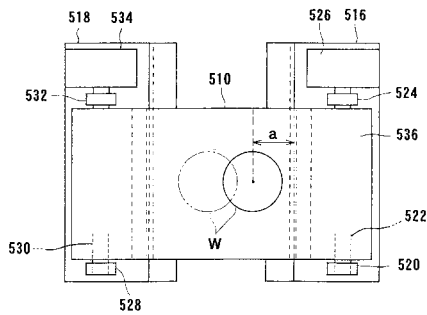
【 図 2 4 】



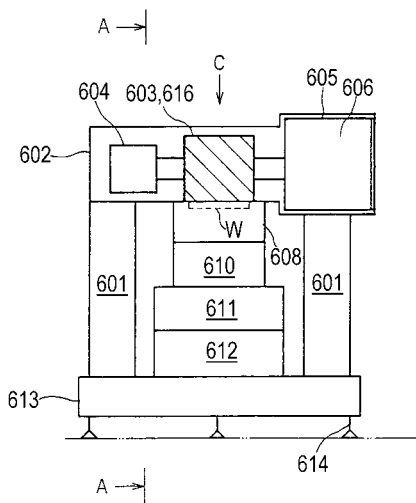
【 図 2 5 】



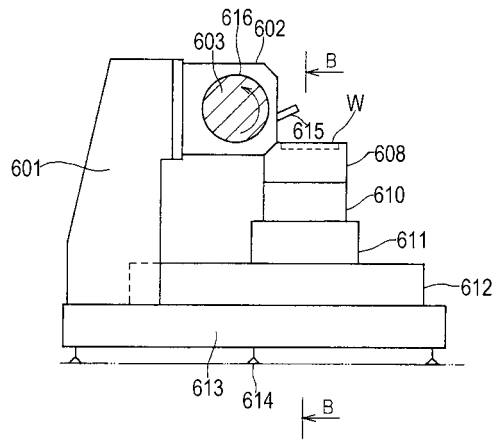
【 図 2 6 】



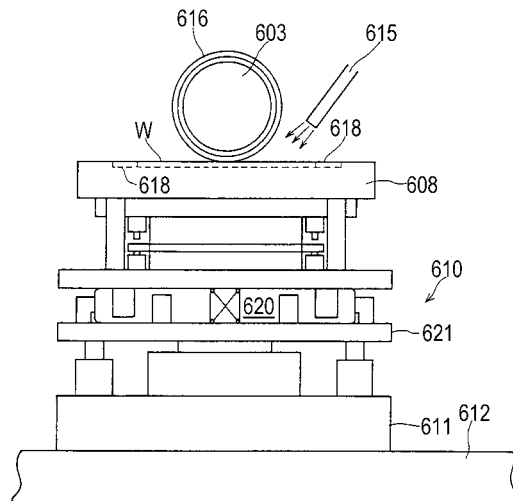
【 図 2 8 】



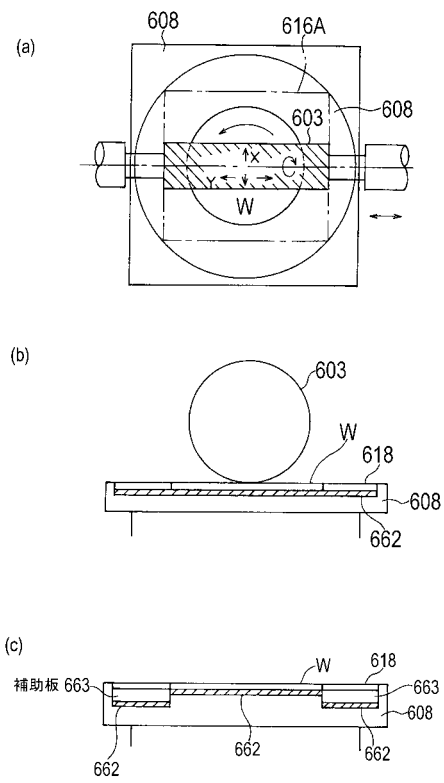
【 図 2 7 】



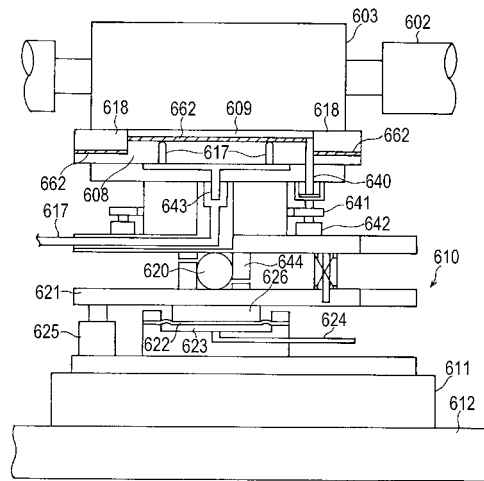
【 図 2 9 】



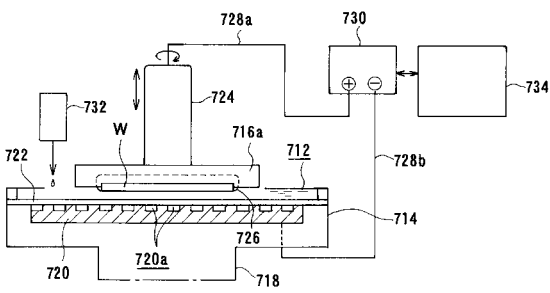
【 図 3 0 】



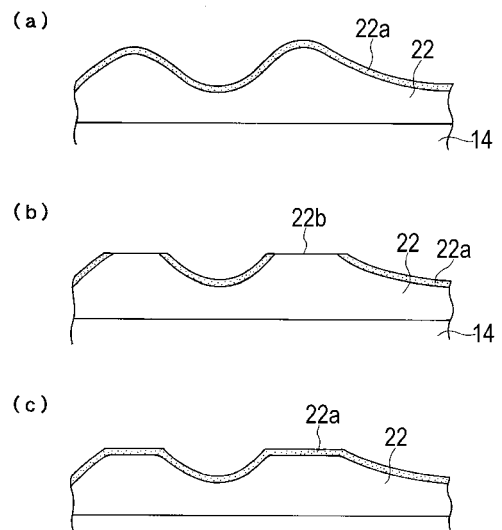
【 図 3 1 】



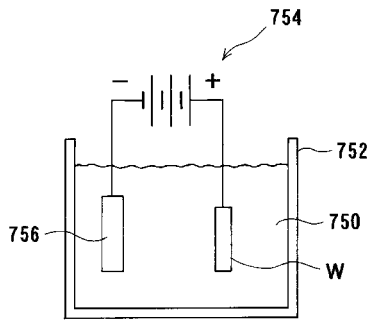
【 図 3 2 】



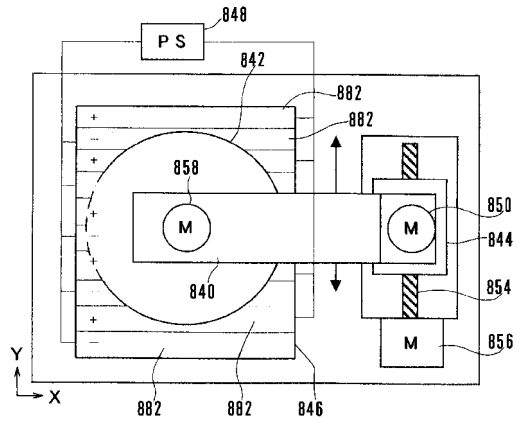
【 図 3 3 】



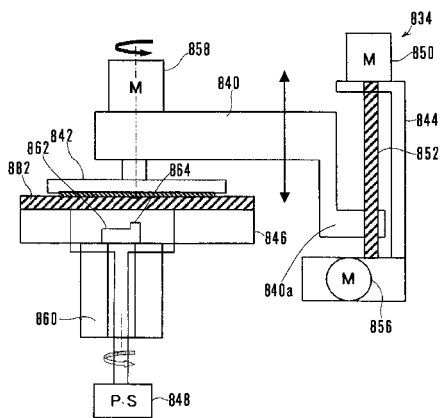
【 図 3 4 】



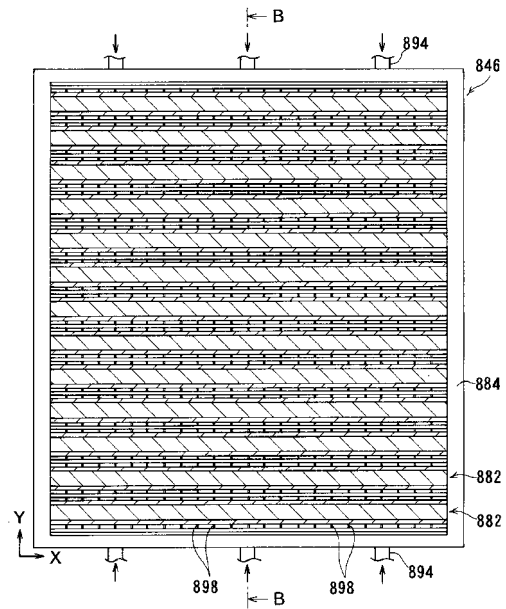
【 図 3 5 】



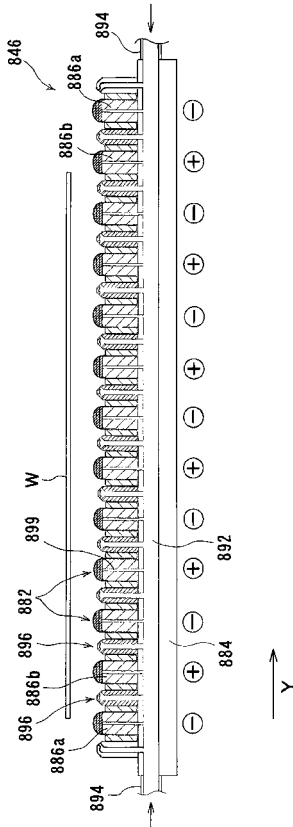
【 図 3 6 】



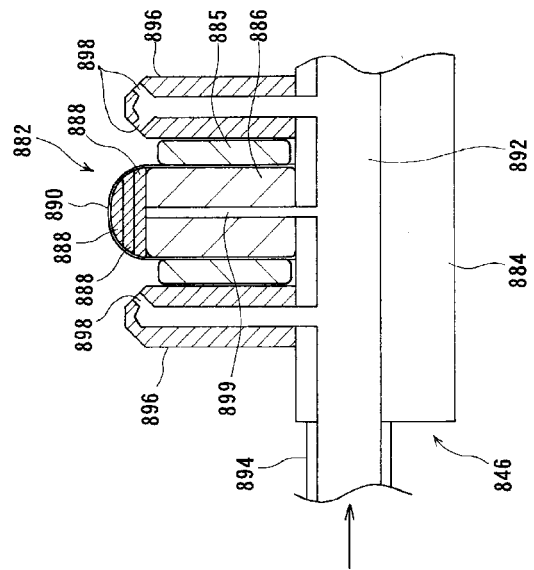
【 図 3 7 】



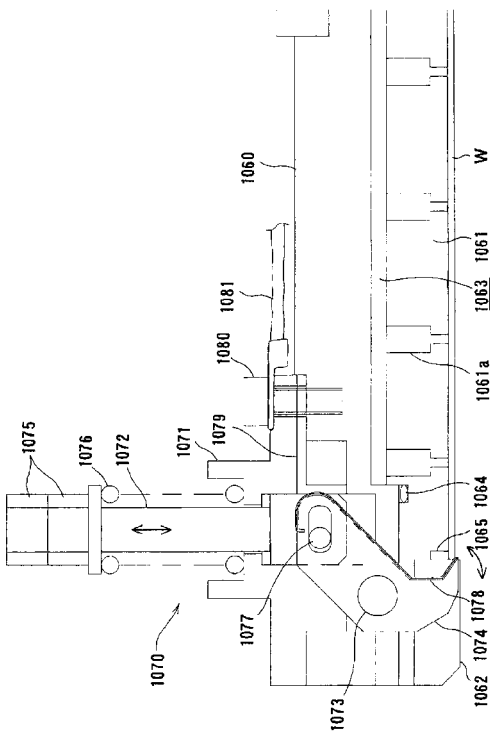
【 図 3 8 】



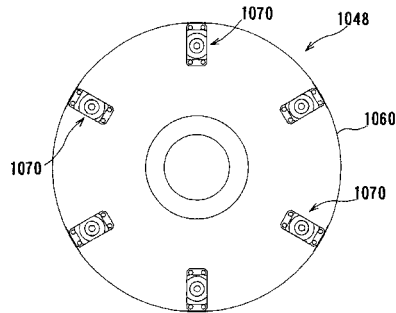
【 図 3 9 】



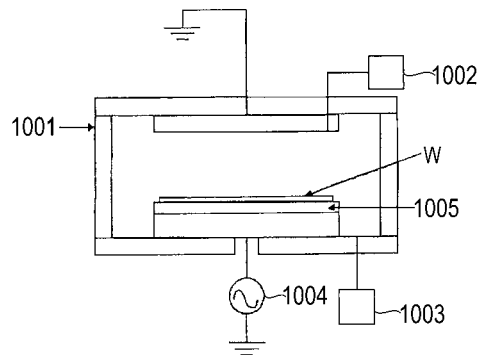
【 図 4 0 】



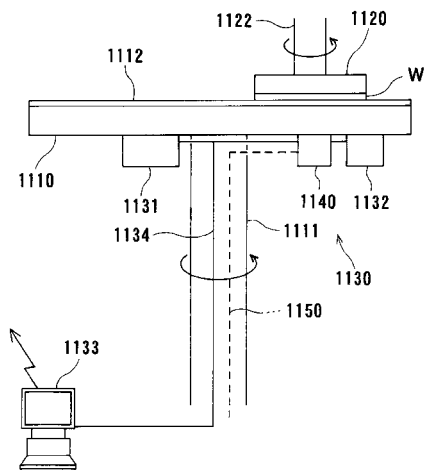
【 図 4 1 】



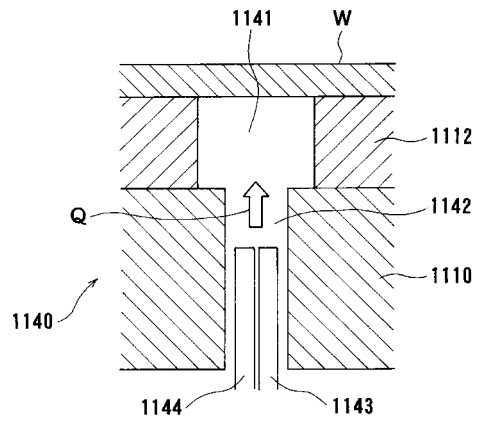
【 図 4 2 】



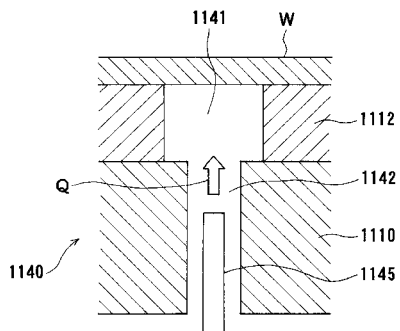
【 図 4 8 】



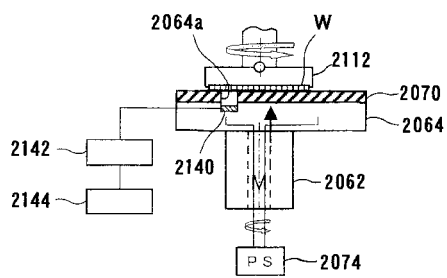
【 図 4 9 】



【 図 5 0 】



【 図 5 1 】



フロントページの続き

(72)発明者 辻村 学

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

Fターム(参考) 5F033 HH11 HH21 HH32 MM01 MM05 MM12 MM13 PP06 PP15 PP27
PP28 QQ13 QQ19 QQ48 RR01 RR04 RR11 RR29 WW02 XX01
5F043 AA22 AA23 AA27 DD01 DD12 DD14 DD16