

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4073174号
(P4073174)

(45) 発行日 平成20年4月9日 (2008.4.9)

(24) 登録日 平成20年2月1日 (2008.2.1)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 L 21/3065 (2006.01)	H O 1 L 21/302 I O 1 C
C 2 3 C 14/32 (2006.01)	C 2 3 C 14/32 F
H O 1 L 21/205 (2006.01)	H O 1 L 21/205
H O 5 H 1/46 (2006.01)	H O 5 H 1/46 L

請求項の数 3 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2001-88863 (P2001-88863)	(73) 特許権者	000000239
(22) 出願日	平成13年3月26日 (2001.3.26)		株式会社荏原製作所
(65) 公開番号	特開2002-289583 (P2002-289583A)		東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
(43) 公開日	平成14年10月4日 (2002.10.4)	(74) 代理人	100118500
審査請求日	平成16年1月16日 (2004.1.16)		弁理士 廣澤 哲也
		(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
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 中性粒子ビーム処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被処理物を保持する保持部と、
高周波電圧の印加と印加の停止とを交互に繰り返すことにより、真空チャンバ内に正イオンと負イオンとを含むプラズマを生成するプラズマ生成部と、
前記真空チャンバ内であって、前記プラズマ生成部と前記被処理物との間に配置され、前記プラズマから放出される紫外線を遮蔽するオリフィス電極と、
前記真空チャンバ内に前記オリフィス電極に対して上流側に配置されたグリッド電極と、

前記オリフィス電極と前記グリッド電極との間に 4 0 0 k H z の低周波電圧を印加することで、前記プラズマ生成部により生成されたプラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出す電圧印加部とを備え、

前記電圧印加部によりプラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出して前記オリフィス電極に形成されたオリフィスを通過させることで、該正イオンと該負イオンを該オリフィス内で中性化させることを特徴とする中性粒子ビーム処理装置。

【請求項 2】

被処理物を保持する保持部と、
真空チャンバ内に配置され、プラズマから放出される紫外線を遮蔽するオリフィス電極と、

前記真空チャンバ内に前記オリフィス電極に対して上流側に配置されたグリッド電極と

10

20

、
前記オリフィス電極と前記グリッド電極との間に高周波電圧の印加と印加の停止とを交互に繰り返すことで、前記オリフィス電極と前記グリッド電極との間に正イオンと負イオンを含むプラズマを生成すると共に、前記オリフィス電極と前記グリッド電極との間に 400 kHz の低周波電圧を印加することで前記プラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出す電圧印加部とを備え、

前記電圧印加部によりプラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出して前記オリフィス電極に形成されたオリフィスを通してすることで、該正イオンと該負イオンを該オリフィス内で中性化させることを特徴とする中性粒子ビーム処理装置。

【請求項 3】

10

前記真空チャンバには、 Cl_2 と Xe が導入されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の中性粒子ビーム処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、中性粒子ビーム処理装置、特に高密度プラズマから高指向性で且つ高密度の粒子ビームを生成し、被処理物を加工する中性粒子ビーム処理装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体集積回路、ハードディスク等の情報記憶媒体、あるいはマイクロマシーン等の分野において、その加工パターンが著しく微細化されている。かかる分野の加工においては、直進性が高く（高指向性であり）、且つ比較的大口径で高密度のイオンビーム等のエネルギービームを照射して被処理物の成膜又はエッチングなどを施す技術が注目されている。

20

【0003】

このようなエネルギービームのビーム源としては、正イオン、負イオン、ラジカル粒子等の各種のビームを生成するものが知られている。このような正イオン、負イオン、ラジカル粒子等のビームをビーム源から被処理物の任意の部位に照射することで、被処理物の局所的な成膜やエッチング、表面改質、接合、接着などを行うことができる。

【0004】

30

【発明が解決しようとする課題】

正イオンや負イオンなどの荷電粒子を被処理物に照射するビーム源においては、被処理物に電荷が蓄積するため絶縁物を処理することができない（チャージアップ現象）。また、空間電荷効果でイオンビームが発散してしまうため微細な加工をすることができない。

【0005】

これを防ぐためにイオンビームに電子を注ぎ込むことで電荷を中和することも考えられているが、この方法では全体的な電荷のバランスは取れるものの、局所的には電荷のアンバランスが生じており、やはり微細な加工をすることができない。

【0006】

また、プラズマ源からイオンを引き出して被処理物に照射する場合において、プラズマから発生する紫外線などの放射光が被処理物に照射されると被処理物に悪影響を与えることとなるので、プラズマから放出される紫外線などの放射光を遮蔽する必要がある。

40

【0007】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、安価且つコンパクトな構成で大口径のビームを被処理物に照射することができると共に高い中性化率を得ることができ、チャージフリー且つダメージフリーな中性粒子ビーム処理装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

このような従来技術における問題点を解決するために、本発明の一態様は、被処理物を

50

保持する保持部と、高周波電圧の印加と印加の停止とを交互に繰り返すことにより、真空チャンバ内に正イオンと負イオンとを含むプラズマを生成するプラズマ生成部と、上記真空チャンバ内であって、上記プラズマ生成部と上記被処理物との間に配置され、上記プラズマから放出される紫外線を遮蔽するオリフィス電極と、上記真空チャンバ内に上記オリフィス電極に対して上流側に配置されたグリッド電極と、上記オリフィス電極と上記グリッド電極との間に 400 kHz の低周波電圧を印加することで、上記プラズマ生成部により生成されたプラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出す電圧印加部とを備え、上記電圧印加部によりプラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出して上記オリフィス電極に形成されたオリフィスを通してさせることで、該正イオンと該負イオンを該オリフィス内で中性化させることを特徴とする中性粒子ビーム処理装置である。

10

【0009】

このような構成により、正イオンと負イオンとを交互に引き出し、これらを中性化して中性粒子ビームとして被処理物に照射することができる。

【0011】

本発明の他の一態様は、被処理物を保持する保持部と、真空チャンバ内に配置され、プラズマから放出される紫外線を遮蔽するオリフィス電極と、上記真空チャンバ内に上記オリフィス電極に対して上流側に配置されたグリッド電極と、上記オリフィス電極と上記グリッド電極との間に高周波電圧の印加と印加の停止とを交互に繰り返すことで、上記オリフィス電極と上記グリッド電極との間に正イオンと負イオンとを含むプラズマを生成すると共に、上記オリフィス電極と上記グリッド電極との間に 400 kHz の低周波電圧を印加することで上記プラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出す電圧印加部とを備え、上記電圧印加部によりプラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出して上記オリフィス電極に形成されたオリフィスを通してさせることで、該正イオンと該負イオンを該オリフィス内で中性化させることを特徴とする中性粒子ビーム処理装置である。

20

【0012】

このような構成により、正イオンと負イオンとを交互に引き出し、これらを中性化して中性粒子ビームとして被処理物に照射することができる。特に、電圧印加部を正イオンと負イオンとをプラズマ中から引き出す手段としてだけでなく、プラズマを生成する手段としても利用することができる。従って、上記のように構成した場合には、プラズマを生成するためのプラズマ生成部を別に設ける必要がなくなる。このため、装置をよりコンパクトにして安価にビームを大口径化することが可能となる。

30

【0014】

また、正イオンと負イオンとを交互に引き出し、これらを中性化して電荷を持たず大きな並進運動エネルギーを持つ中性粒子線によって被処理物を加工することが可能となるので、チャージアップ量を小さく保ちつつ高精度のエッチングや成膜加工が可能となる。また、正イオンの中性化による中性粒子と負イオンの中性化による中性粒子とを交互に照射することで、2種類の処理を交互に行うことができる。例えば、真空チャンバ内に導入するガスを Cl_2 と Xe とした場合、正イオンの中性化による Xe を用いて Xe スパッタを行い、負イオンの中性化による塩素を用いて塩素エッチングを行うことができるので、ケミカルスパッタリング作用でエッチレートを高めることができる。また、例えば、塩素ビームを照射して塩素と被処理物とが弱い結合力になっている数原子層を形成し、そこに、その弱い結合力の原子層は除去できるが被処理物自体の強い結合力は切ることができない程度のエネルギーを持つ Xe ビームでスパッタリング除去するというように、適切な反応プロセスとエネルギー制御を行えば、被処理物の原子の結晶構造を破壊することなくエッチングすることが可能となる。

40

【0015】

上記電圧印加部は、上記オリフィス電極と上記グリッド電極との間に可変電圧を印加することで、上記プラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出して上記オリフィス電極に形成されたオリフィスを通してさせる。このように構成すれば、上述の電圧印加部を正イオンと負イオンとをプラズマ中から引き出す手段としてだけでなく、正イオン及び負イ

50

オンを中性化する手段としても利用することができる。この場合において、中性化する手段としてオリフィス電極を用いることによって高い中性化率が得られるので、装置を大型化せずに安価にビームを大口径化することが可能となる。更に、生成されたプラズマと被処理物とはオリフィス電極によって遮断されるので、プラズマから発生する放射光は被処理物に照射されず、被処理物に損傷を与えるような紫外線などの被処理物への影響を低減することができる。

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係るビーム処理装置の第 1 の実施形態について図 1 乃至図 3 を参照して詳細に説明する。図 1 は、本発明の第 1 の実施形態におけるビーム処理装置の全体構成を示す図である。

10

【 0 0 1 7 】

図 1 に示すように、ビーム処理装置は、中性粒子ビームを生成するビーム生成室 1 と半導体基板、ガラス、有機物、セラミックスなどの被処理物 X の加工を行う処理室 2 とを有する円筒状の真空チャンバ 3 を備えている。この真空チャンバ 3 は、ビーム生成室 1 側が石英ガラス又はセラミックなどにより構成され、処理室 2 側が金属製のメタルチャンバなどにより構成されている。

【 0 0 1 8 】

ビーム生成室 1 の外周には誘導結合型のコイル 10 が配置されている。このコイル 10 は、例えば水冷パイプのコイルであり、8 mm 程度の外径を有するコイルが 2 ターン程度ビーム生成室 1 に巻回されている。このコイル 10 は、マッチングボックス 100 を介して高周波電源 101 に接続されており、例えば、13.56 MHz の高周波電圧がコイル 10 に印加される。これらのコイル 10、マッチングボックス 100、高周波電源 101 によってプラズマ生成部が構成されている。即ち、コイル 10 に高周波電流を流すことで誘導磁場を生じさせ、その変位電流によりガス中の原子・分子が電離されプラズマが生成する。

20

【 0 0 1 9 】

ビーム生成室 1 の上部には、真空チャンバ 3 内にガスを導入するガス導入ポート 11 が設けられており、このガス導入ポート 11 はガス供給配管 12 を介してガス供給源 13 に接続されている。このガス供給源 13 からは SF_6 、 CHF_3 、 CF_4 、 Cl_2 、 Ar 、 O_2 、 N_2 、 C_4F_8 等などのガスが真空チャンバ 3 内に供給される。

30

【 0 0 2 0 】

処理室 2 には、被処理物 X を保持する保持部 20 が配置されており、この保持部 20 の上面に被処理物 X が載置されている。処理室 2 にはガスを排出するためのガス排出ポート 21 が設けられており、このガス排出ポート 21 はガス排出配管 22 を介して真空ポンプ 23 に接続されている。この真空ポンプ 23 によって処理室 2 は所定の圧力に維持される。

【 0 0 2 1 】

ビーム生成室 1 の下端には、グラファイトなどの導電体で形成されたオリフィス板（オリフィス電極）4 が配置されており、このオリフィス電極 4 は接地電位とされる。このオリフィス電極 4 は第 1 の電極及び中性化手段として機能するものである。また、このオリフィス電極 4 の上方には、同様に導電体で形成された薄板グリッド状のグリッド電極（第 2 の電極）5 が配置されている。このグリッド電極 5 はバイポーラ電源 102（電圧印加部）に接続されている。このバイポーラ電源 102 によって例えば 400 kHz の低周波電圧がグリッド電極 5 に印加される。図 2 は、オリフィス電極 4 及びグリッド電極 5 の斜視図（図 2（a））と部分縦断面図（図 2（b））である。図 2 に示すように、オリフィス電極 4 には多数のオリフィス 4a が形成されており、同様にグリッド電極 5 には多数のグリッド穴 5a が形成されている。なお、グリッド電極 5 はメッシュ網やパンチングメタルなどであってもよい。

40

【 0 0 2 2 】

コイル 10 に接続される高周波電源 101 とバイポーラ電源 102 とにはそれぞれ変調装

50

置 103、104 が接続されている。高周波電源 101 とバイポーラ電源 102 とは変調装置 103、104 を介して互いに接続されており、変調装置 103、104 間の同期信号によって、高周波電源 101 による電圧印加のタイミングとバイポーラ電源 102 による電圧印加のタイミングとが同期される。

【0023】

次に、本実施形態におけるビーム処理装置の動作について説明する。図3は、本実施形態における動作状態を示すタイムチャートである。図3において、 V_a はコイル 10 の電位、 T_e はビーム生成室 1 内の電子温度、 n_e はビーム生成室 1 内の電子密度、 n_{i^-} はビーム生成室 1 内の負イオン密度、 V_b はグリッド電極 5 の電位をそれぞれ示している。なお、図3のタイムチャートは模式的なものであって、例えば図示されている周期は実際の周期とは異なる。

10

【0024】

まず、真空ポンプ 23 を作動させることにより、真空チャンバ 3 内を真空排気した後に、ガス供給源 13 から SF_6 、 CHF_3 、 CF_4 、 Cl_2 、 Ar 、 O_2 、 N_2 、 C_4F_8 などのガスを真空チャンバ 3 の内部に導入する。そして、図3に示すように、13.56 MHz の高周波電圧を高周波電源 101 によって 10 μ 秒間コイル 10 に印加する。この高周波電圧の印加によってビーム生成室 1 内には高周波電界が形成される。真空チャンバ 3 内に導入されたガスは、この高周波電界によって加速された電子により電離され、ビーム生成室 1 内に高密度プラズマが生成される。このときに形成されるプラズマは、主として正イオンと加熱された電子とからなるプラズマである。

20

【0025】

そして、高周波電源 101 による高周波電圧の印加を 100 μ 秒間停止する。高周波電源 101 による高周波電圧の印加の停止後は、再び高周波電源 101 による 10 μ 秒間の高周波電圧の印加によってビーム生成室 1 内においてプラズマ中の電子が加熱され、上述したサイクルが繰り返される。即ち、高周波電界の印加 (10 μ 秒間) と印加の停止 (100 μ 秒間) を交互に繰り返す。この高周波電界の印加停止時間 (100 μ 秒間) は、プラズマ中の電子が残留している処理ガスに付着して負イオンが生成されるのに要する時間よりも十分に長く、且つプラズマ中の電子密度が低下してプラズマが消滅するよりも十分に短い時間である。高周波電界の印加時間 (10 μ 秒間) は、この高周波電界の印加を停止している間に低下したプラズマ中の電子のエネルギーを回復させるのに十分な時間である。

30

【0026】

このプラズマ中の電子のエネルギーを高めた後の高周波電界の印加停止により、負イオンを効率よく且つ継続して生成することができる。即ち、通常のプラズマは正イオンと電子とからなる場合が多いが、正イオンと共に負イオンが共存した状態のプラズマを効率的に形成することができる。なお、ここでは、高周波電界の印加停止時間を 100 μ 秒に設定する例について述べたが、50 μ 秒乃至 100 μ 秒に設定することで、プラズマ中に正イオンのみならず負イオンを多量に生成することができる。

【0027】

高周波電源 101 による電圧の印加の停止から 50 μ 秒後に、バイポーラ電源 102 によって 400 kHz の低周波電圧をグリッド電極 5 に 50 μ 秒間印加する。この低周波電圧の印加において、グリッド電極 5 の電位 V_b がオリフィス電極 4 の電位 (接地電位) よりも高いとき (例えば図3の A で示す部分) には、オリフィス電極 4 とグリッド電極 5 との間に、オリフィス電極 4 を陰極、グリッド電極 5 を陽極とした電位差が生じる。従って、グリッド電極 5 からオリフィス電極 4 側に漏れ出た正イオン 6 (図2 (b) 参照) は、この電位差によってオリフィス電極 4 に向けて加速され、オリフィス電極 4 に形成されたオリフィス 4a に入っていく。

40

【0028】

このとき、オリフィス電極 4 のオリフィス 4a の内部を通過する正イオン 6 は、主として、オリフィス 4a の周壁の固体表面近傍において中性化されるか、オリフィス 4a の内部

50

に残留しているガスとの電荷交換によって中性化されるか、あるいは、オリフィス電極 4 の表面から放出された電子と衝突して再結合することによって中性化され、中性粒子 7 となる。

【 0 0 2 9 】

一方、グリッド電極 5 の電位 V_b がオリフィス電極 4 の電位（接地電位）よりも低いとき（例えば図 3 の B で示す部分）には、オリフィス電極 4 とグリッド電極 5 との間に、オリフィス電極 4 を陽極、グリッド電極 5 を陰極とした電位差が生じる。従って、グリッド電極 5 からオリフィス電極 4 側に漏れ出た負イオンは、この電位差によってオリフィス電極 4 に向けて加速され、オリフィス電極 4 に形成されたオリフィス 4 a に入っていく。オリフィス電極 4 のオリフィス 4 a の内部を通過する負イオンは、主として、オリフィス 4 a の周壁の固体表面近傍において中性化され、あるいは、オリフィス 4 a の内部に残留しているガスとの電荷交換によって中性化され、中性粒子 7 となる。

10

【 0 0 3 0 】

このようにして、オリフィス 4 a の通過中に中性化された正イオン又は負イオン（中性粒子）は、交互にエネルギービームとして処理室 2 の内部に放射される。この中性粒子 7 は、処理室 2 の内部を直進して保持部 2 0 に載置された被処理物 X に照射され、この中性粒子 7 によってエッチング、クリーニング、窒化処理や酸化処理などの表面改質、成膜などの処理を行うことが可能となる。

【 0 0 3 1 】

このように正イオンの中性化による中性粒子と負イオンの中性化による中性粒子とを交互に照射することで、2 種類の処理を交互に行うことができる。例えば、真空チャンバ 3 内に導入するガスを Cl_2 と Xe とした場合、正イオンの中性化による Xe を用いて Xe スパッタを行い、負イオンの中性化による塩素を用いて塩素エッチングを行うことができるので、ケミカルスパッタリング作用でエッチレートを高めることができる。

20

【 0 0 3 2 】

また、例えば、塩素ビームを照射して塩素と被処理物とが弱い結合力になっている数原子層を形成し、そこに、その弱い結合力の原子層は除去できるが被処理物自体の強い結合力は切ることができない程度のエネルギーを持つ Xe ビームでスパッタリング除去するというように、適切な反応プロセスとエネルギー制御を行えば、被処理物の原子の結晶構造を破壊することなくエッチングすることが可能となる。

30

【 0 0 3 3 】

この場合において、オリフィス電極は、イオンを中性化する手段としてだけでなく、プラズマから発生する放射光が被処理物に照射されるのを防止する手段としても機能する。即ち、プラズマが生成されるビーム生成室 1 と被処理物 X とはオリフィス電極 4 によって遮断されているので、プラズマから発生する放射光は被処理物 X に照射されず、被処理物 X に損傷を与えるような紫外線などの被処理物 X への影響を低減することができる。

【 0 0 3 4 】

なお、一部の荷電粒子もオリフィス電極 4 のオリフィス 4 a を通過する場合があるが、このような荷電粒子が被処理物 X に照射されることを防止するために、オリフィス電極 4 の下流側にディフレクタや電子トラップを設けることとしてもよい。ディフレクタは、真空チャンバ 3 の径方向に電圧を印加することによって荷電粒子の進行方向を変化させて、荷電粒子の被処理物 X への照射を防止するものである。また、電子トラップは、径方向に磁界を形成することによって荷電粒子の進行方向を変化させて、荷電粒子の被処理物 X への照射を防止するものである。

40

【 0 0 3 5 】

ガラスやセラミック材料等の絶縁物の加工に際しては、表面にチャージアップという問題が生じるが、このように中性化された中性粒子を照射することによりチャージアップ量を小さく保ちながら、高精度のエッチングや成膜加工が可能となる。なお、被処理物の処理の内容に応じてガスの種類を使い分ければよく、ドライエッチングでは被処理物の違いに応じて酸素やハロゲンガスなどを使い分けることができる。

50

【 0 0 3 6 】

本実施形態では、グリッド電極 5 をコイル 1 0 の下流側に配置した例を説明したが、グリッド電極をコイル 1 0 の上流側に配置することもできる。この場合は、グリッド電極に穴が 1 つも形成されていなくてもよい。図 4 はグリッド電極 5 0 をコイル 1 0 の上流側に配置した場合のビーム処理装置の全体構成を示す図である。この場合には、ビーム生成室 1 内に生成されたプラズマ中の正イオン及び負イオンはグリッド電極 5 0 とオリフィス電極 4 との間で加速されることとなる。

【 0 0 3 7 】

また、本実施形態では、中性化手段としてオリフィス電極を用いた例を説明したが、これに限らず他の中性化手段を用いることもできる。例えば、 1 プラズマから引き出されたイオンに電子ビームを照射することで中性化する、 2 引き出されたイオンの経路上に中性ガスを導入して中性ガスの圧力の高い領域を形成し、この領域を通過させることでイオンを中性化する、 3 イオンに光を照射することで中性化する、 4 イオンを高周波電場で揺さぶることで中性化する、 5 引き出されたイオンの経路上に電子雲を形成し、この電子雲中を通過させることで中性化する、など各種の中性化手段を適用することができる。また、オリフィス電極の代わりにスリットやハニカム構造を有する電極を用いることとしてもよい。

【 0 0 3 8 】

次に、本発明に係るビーム処理装置の第 2 の実施形態について図 5 及び図 6 を参照して詳細に説明する。なお、上述の第 1 の実施形態における部材又は要素と同一の作用又は機能を有する部材又は要素には同一の符号を付し、特に説明しない部分については第 1 の実施形態と同様である。図 5 は、本発明の第 2 の実施形態におけるビーム処理装置の全体構成を示す図である。

【 0 0 3 9 】

本実施形態における真空チャンバ 3 0 は金属で形成されたメタルチャンバであり、その内部の上流側に導電体で形成された薄板グリッド状のグリッド電極（第 2 の電極）8 を備えている。真空チャンバ 3 0 とグリッド電極 8 とは電氣的に接続されており、これらは接地電位とされている。

【 0 0 4 0 】

また、オリフィス電極（第 1 の電極）4 には、図 5 に示すように、交流電源 1 0 5 と交流電源 1 0 6 とが並列に接続されている。これらの電源 1 0 5、1 0 6 にはそれぞれ変調装置 1 0 7、1 0 8 が接続されている。また、交流電源 1 0 5 の変調装置 1 0 7 と直流電源 1 0 6 の変調装置 1 0 8 とは、同期信号によって互いに同期をとることができるようになっている。これらの交流電源 1 0 5、1 0 6、変調装置 1 0 7、1 0 8 により電圧印加部が構成されている。なお、真空チャンバ 3 0 とオリフィス電極 4 とは絶縁物（図示せず）によって電氣的に絶縁されている。

【 0 0 4 1 】

次に、本実施形態におけるビーム処理装置の動作について説明する。図 6 は、本実施形態における動作状態を示すタイムチャートである。図 6 において、 V_c は交流電源 1 0 5 における電位、 T_e はビーム生成室 1 内の電子温度、 n_e はビーム生成室 1 内の電子密度、 n_{i-} はビーム生成室 1 内の負イオン密度、 V_d は交流電源 1 0 6 の電位、 V_e はオリフィス電極 4 の電位をそれぞれ示している。なお、図 6 のタイムチャートは模式的なものであって、例えば図示されている周期は実際の周期とは異なる。

【 0 0 4 2 】

まず、真空ポンプ 2 3 を作動させることにより、真空チャンバ 3 0 内を真空排気した後に、ガス供給源 1 3 からガスを真空チャンバ 3 0 の内部に導入する。そして、図 6 に示すように、交流電源 1 0 5 により 1 3 . 5 6 M H z の高周波電圧を 1 0 μ 秒間オリフィス電極 4 に印加する。この高周波電圧の印加によってビーム生成室 1 内には高周波電界が形成される。真空チャンバ 3 0 内に導入されたガスは、この高周波電界によって加速された電子により電離され、ビーム生成室 1 内に高密度プラズマが生成される。

【 0 0 4 3 】

そして、交流電源 1 0 5 による高周波電圧の印加を 1 0 0 μ 秒間停止する。高周波電圧の印加の停止後は、再び交流電源 1 0 5 による 1 0 μ 秒間の高周波電圧の印加によってビーム生成室 1 内においてプラズマ中の電子が加熱され、上述したサイクルが繰り返される。即ち、高周波電界の印加 (1 0 μ 秒間) と印加の停止 (1 0 0 μ 秒間) を交互に繰り返す。

【 0 0 4 4 】

このプラズマ中の電子のエネルギーを高めた後の高周波電界の印加停止により、負イオンを効率よく且つ継続して生成することができる。即ち、通常のプラズマは正イオンと電子とからなる場合が多いが、正イオンと共に負イオンが共存した状態のプラズマを効率的に形成することができる。

10

【 0 0 4 5 】

交流電源 1 0 5 による電圧の印加の停止から 5 0 μ 秒後に、交流電源 1 0 6 によって 4 0 0 k H z の低周波電圧をオリフィス電極 4 に 5 0 μ 秒間印加する。上述の第 1 の実施形態と同様に、この低周波電圧による電位差によって、正イオンと負イオンとが交互にオリフィス電極 4 に向けて加速され、オリフィス電極 4 に形成されたオリフィス 4 a に入っていく。

【 0 0 4 6 】

オリフィス電極 4 のオリフィス 4 a の内部を通過する正イオン又は負イオンは、上述の第 1 の実施形態と同様に中性化されて交互に中性粒子となり、エネルギービームとして交互に処理室 2 の内部に放射される。この中性粒子は、処理室 2 の内部を直進して保持部 2 0 に載置された被処理物 X に照射される。

20

【 0 0 4 7 】

上述したように、本実施形態では、オリフィス電極 4 とグリッド電極 8 との間に高周波電圧と低周波電圧を交互に印加することによって、プラズマを生成すると共に生成されたプラズマから正イオンと負イオンとを交互に引き出すことができ、プラズマを生成するためのプラズマ生成部を別に設ける必要がなくなる。このため、装置をよりコンパクトにして安価にビームを大口径化することが可能となる。

【 0 0 4 8 】

次に、ビーム処理装置の参考例について図 7 乃至図 9 を参照して詳細に説明する。なお、上述の第 1 の実施形態における部材又は要素と同一の作用又は機能を有する部材又は要素には同一の符号を付し、特に説明しない部分については第 1 の実施形態と同様である。図 7 は、本参考例におけるビーム処理装置の全体構成を示す図である。

30

【 0 0 4 9 】

本参考例では、ビーム生成室 3 1 のコイル 1 0 の下流域に電子が残留ガスに付着して負イオンが生成される負イオン生成室 3 1 a が形成されている点が上述の第 1 の実施形態と異なる。このように本実施形態では、生成されたプラズマの下流域に負イオン生成室 3 1 a を形成したいわゆるダウンストリーム方式のビーム処理装置が構成されている。

【 0 0 5 0 】

この負イオン生成室 3 1 a には、必要に応じて、負イオン生成室 3 1 a 内に電子雲を形成する電子雲形成手段を設けることができる。具体的には、図 8 に示すように、真空チャンバ 3 の円周方向に永久磁石 9 を所定の間隔で配置する。このとき隣り合う永久磁石 9 の磁極は反対となるように配置する。このように永久磁石 9 を配置することで、真空チャンバ 3 内に磁界が形成されてプラズマ中の電子が図 8 の C で示す軌道を周回するようになり、電子雲が形成される。このような電子雲形成手段は、永久磁石を用いる場合に限られず、負イオン生成室 3 1 a 内に電界をかけることによって構成することができる。

40

【 0 0 5 1 】

グリッド電極 5 には、例えば 4 0 0 k H z の低周波電圧を印加する低周波電源 1 0 9 が接続されている。なお、本参考例においては、第 1 の実施形態とは異なり変調装置が設けられていない。

50

【 0 0 5 2 】

次に、本参考例におけるビーム処理装置の動作について説明する。図 9 は、本参考例における動作状態を示すタイムチャートである。V f はコイル 1 0 における電位、V g はグリッド電極 5 の電位をそれぞれ示している。なお、図 9 のタイムチャートは模式的なものであって、例えば図示されている周期は実際の周期とは異なる。

【 0 0 5 3 】

まず、真空ポンプ 2 3 を作動させることにより、真空チャンバ 3 内を真空排気した後に、ガス供給源 1 3 から S F ₆ , C H F ₃ , C F ₄ , C l ₂ , A r , O ₂ , N ₂ , C ₄ F ₈ などのガスを真空チャンバ 3 の内部に導入する。そして、図 9 に示すように、1 3 . 5 6 M H z の高周波電圧を高周波電源 1 0 1 によってコイル 1 0 に印加する。この高周波電圧の印加によってビーム生成室 3 1 内には高周波電界が形成される。真空チャンバ 3 内に導入されたガスは、この高周波電界によって加速された電子により電離され、ビーム生成室 3 1 内に高密度プラズマが生成される。このときに形成されるプラズマは、主として正イオンと加熱された電子とからなるプラズマである。

【 0 0 5 4 】

上述したように、本参考例では、プラズマの下流域に負イオン生成室 3 1 a が設けられており、この負イオン生成室 3 1 a において低い電子温度になった電子が残留ガスに付着して負イオンが生成される。従って、この負イオン生成室 3 1 a は、正イオン、負イオン、電子とが存在する領域となっている。

【 0 0 5 5 】

高周波電源 1 0 1 による高周波電圧の印加と同時に、低周波電源 1 0 9 により 4 0 0 k H z の低周波電圧をグリッド電極 5 とオリフィス電極 4 との間に印加する。上述の実施形態と同様に、この低周波電圧による電位差によって、負イオン生成室 3 1 a 内の正イオンと負イオンとが交互にオリフィス電極 4 に向けて加速され、オリフィス電極 4 に形成されたオリフィス 4 a に入っていく。

【 0 0 5 6 】

オリフィス電極 4 のオリフィス 4 a の内部を通過する正イオン又は負イオンは、上述の第 1 の実施形態と同様に中性化されて交互に中性粒子となり、エネルギービームとして交互に処理室 2 の内部に放射される。この中性粒子は、処理室 2 の内部を直進して保持部 2 0 に載置された被処理物 X に照射される。

【 0 0 5 7 】

本参考例においても、グリッド電極をコイル 1 0 の上流側に配置することができる。図 1 0 はグリッド電極 5 0 をコイル 1 0 の上流側に配置した場合のビーム処理装置の全体構成を示す図である。この場合には、負イオン生成室 3 1 a 内のプラズマ中の正イオン及び負イオンはグリッド電極 5 0 とオリフィス電極 4 とに印加される電圧によって加速されることとなる。

【 0 0 5 8 】

また、上述した実施形態においては、正イオンと負イオンとを交互に引き出し、これを中性化した例を説明したが、正イオンと負イオンとを交互に引き出し、これを中性化せずにそのまま正イオンビーム又は負イオンビームとして交互に被処理物に照射することもできる。

【 0 0 5 9 】

図 1 1 は、上述した第 1 の実施形態において、中性化を行わずに正イオンと負イオンとをエネルギービームとして交互に被処理物 X に照射する場合の全体構成を示す図である。図 1 1 に示す例では、オリフィス電極の代わりに導電体で形成された薄板グリッド状のグリッド電極（第 2 の電極）5 1 が配置されている。このグリッド電極 5 1 は第 1 の実施形態におけるオリフィス電極と同様に接地電位とされている。このような構成において、第 1 の実施形態と同様に、高周波電圧を高周波電源 1 0 1 によって 1 0 μ 秒間コイル 1 0 に印加してビーム生成室 3 1 内に高密度プラズマを生成し、高周波電源 1 0 1 による電圧の印加の停止から 5 0 μ 秒後に、バイポーラ電源 1 0 2 によって低周波電圧をグリッド電極 5

1 に 50 μ 秒間印加すると、正イオンと負イオンとが交互にグリッド電極 51 から飛び出し、被処理物 X に照射される。

【0060】

また同様に、図 4 に示す実施形態、図 7 に示す参考例、図 10 に示す参考例においても、中性化を行わずに正イオンと負イオンとを交互に被処理物 X に照射することができ、これらの場合における装置の全体構成をそれぞれ図 12、図 13、図 14 に示す。

【0061】

なお、上述した実施形態及び参考例においては、ICP 型コイルを用いてプラズマを生成した例を説明したが、ECR (Electron Cyclotron Resonance)、ヘリコン波プラズマ用コイル、マイクロ波等を用いてプラズマを生成することとしてもよい。また、高周波の周波数領域も、13.56 MHz に限られるものではなく、1 MHz ~ 20 GHz の領域を用いてもよい。また、低周波の周波数領域も、400 kHz に限られるものではない。例えば、図 15 に示すように、矩形状の電圧を低周波電圧の代わりに印加することとしてもよい。

【0062】

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

【0063】

【発明の効果】

上述したように、本発明によれば、正イオンと負イオンとを交互に引き出し、これらを中性化して中性粒子ビームとして被処理物に照射、あるいは、そのまま正イオンビーム又は負イオンビームとして被処理物に照射することができる。

【0064】

特に、電圧印加部により引き出された正イオンと負イオンとを交互に中性化する中性化手段を備えることとすれば、電荷を持たず大きな並進運動エネルギーを持つ中性粒子線によって被処理物を加工することができるので、チャージアップ量を小さく保ちつつ高精度のエッチングや成膜加工が可能となる。この場合には、正イオンの中性化による中性粒子と負イオンの中性化による中性粒子とを交互に照射することで、2 種類の処理を交互に行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態におけるビーム処理装置の全体構成を示す図である。

【図 2】図 1 に示すオリフィス電極及びグリッド電極を示す図であり、特に正イオンが中性化される状態を示している。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態における動作状態を示すタイムチャートである。

【図 4】本発明の他の実施形態におけるビーム処理装置の全体構成を示す図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施形態におけるビーム処理装置の全体構成を示す図である。

【図 6】本発明の第 2 の実施形態における動作状態を示すタイムチャートである。

【図 7】参考例としてのビーム処理装置の全体構成を示す図である。

【図 8】図 7 に示す参考例における電子雲形成手段を示す断面図である。

【図 9】図 7 に示す参考例における動作状態を示すタイムチャートである。

【図 10】他の参考例としてのビーム処理装置の全体構成を示す図である。

【図 11】本発明の第 1 の実施形態において、中性化を行わずに正イオンと負イオンとを交互に被処理物に照射する場合の全体構成を示す図である。

【図 12】図 4 に示す実施形態において、中性化を行わずに正イオンと負イオンとを交互に被処理物に照射する場合の全体構成を示す図である。

【図 13】図 7 に示す参考例において、中性化を行わずに正イオンと負イオンとを交互に被処理物に照射する場合の全体構成を示す図である。

【図 14】図 10 に示す参考例において、中性化を行わずに正イオンと負イオンとを交互に被処理物に照射する場合の全体構成を示す図である。

10

20

30

40

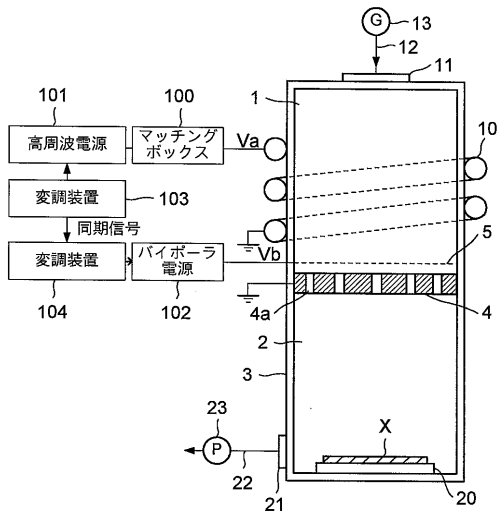
50

【図 1 5】低周波電圧の代わりに印加する電圧の一例を示すタイムチャートである。

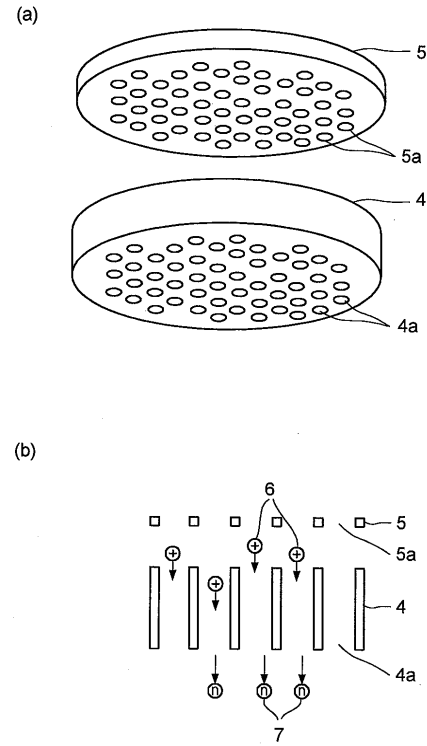
【符号の説明】

X	被処理物	
1、3 1	ビーム生成室	
2	処理室	
3、3 0	真空チャンバ	
4	オリフィス電極（中性化手段）	
4 a	オリフィス	
5、8、5 0、5 1	グリッド電極	
6	正イオン	10
7	中性粒子	
9	永久磁石（電子雲形成手段）	
1 0	コイル	
1 1	ガス導入ポート	
1 2	ガス供給配管	
1 3	ガス供給源	
2 0	保持部	
2 1	ガス排出ポート	
2 2	ガス排出配管	
2 3	真空ポンプ	20
3 1 a	負イオン生成室	
1 0 0	マッチングボックス	
1 0 1	高周波電源	
1 0 2	バイポーラ電源（電圧印加部）	
1 0 3、1 0 4、1 0 7、1 0 8	変調装置	
1 0 5	交流電源（第 1 の電圧印加部）	
1 0 6	直流電源（第 2 の電圧印加部）	
1 0 9	低周波電源	

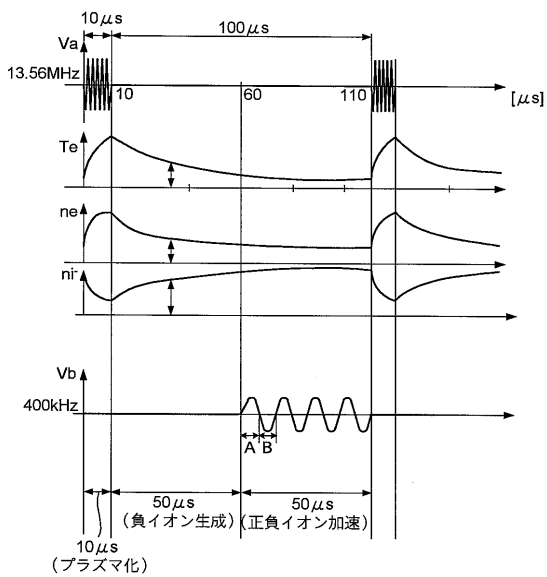
【図 1】



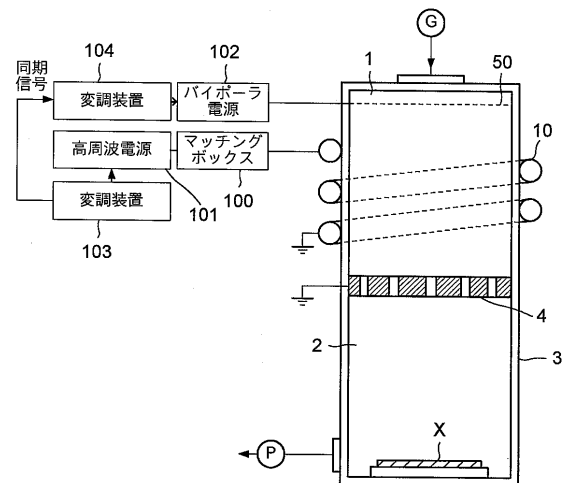
【図 2】



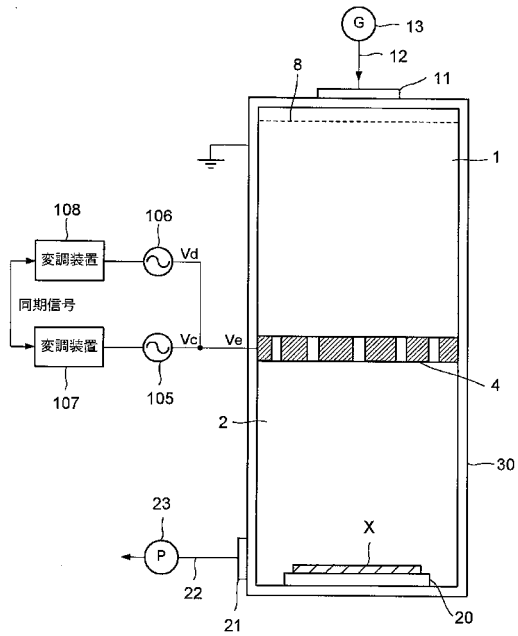
【図 3】



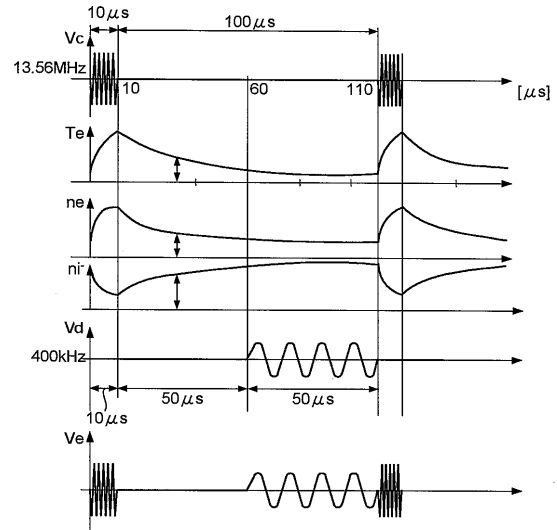
【図 4】



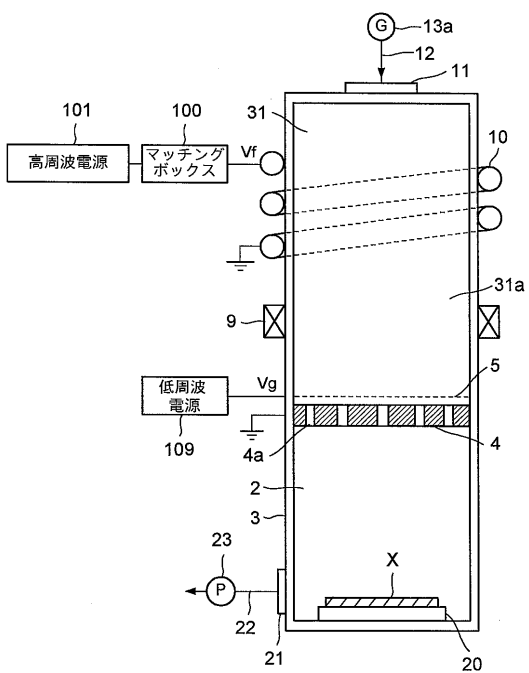
【 図 5 】



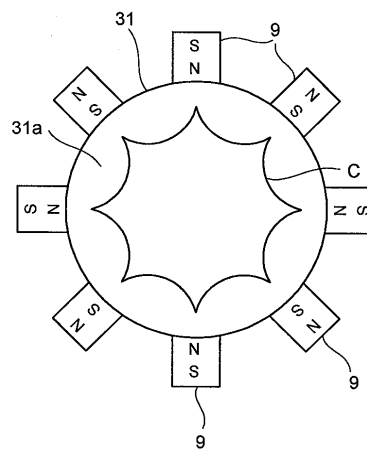
【 図 6 】



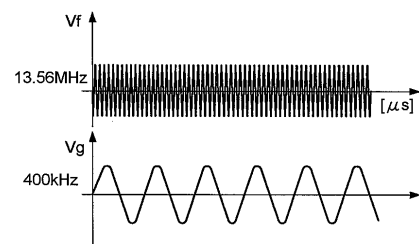
【圖 7】



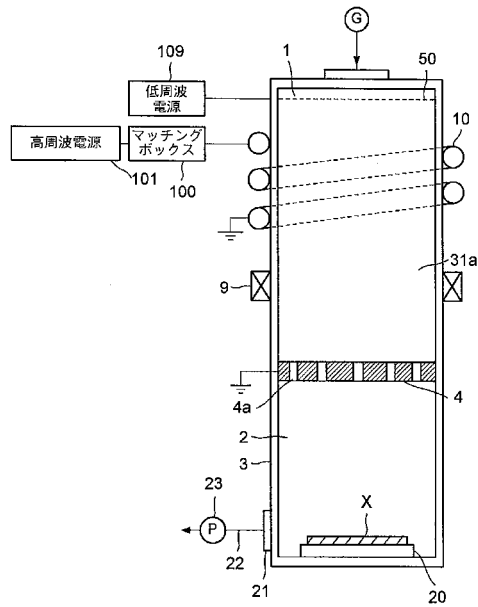
【 図 8 】



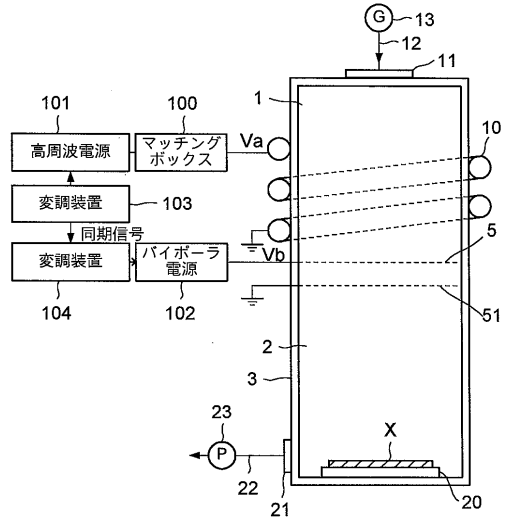
【圖 9】



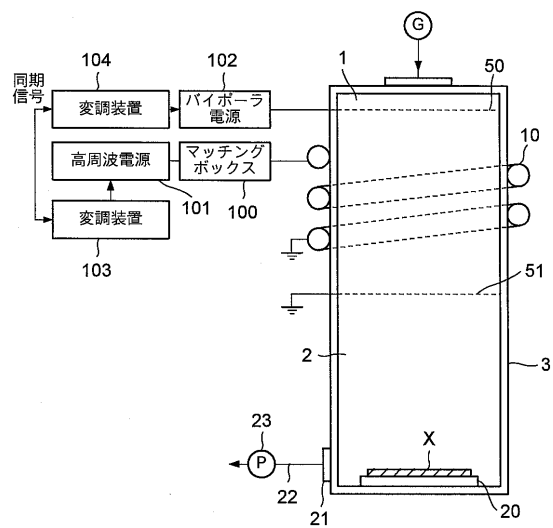
【 図 1 0 】



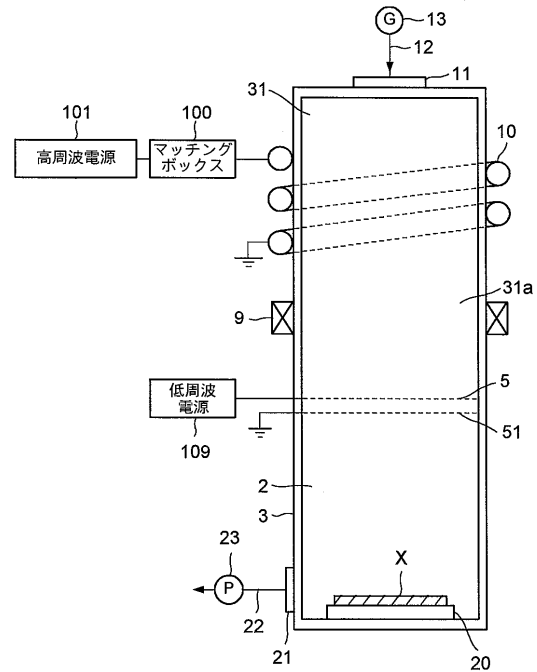
【 図 1 1 】



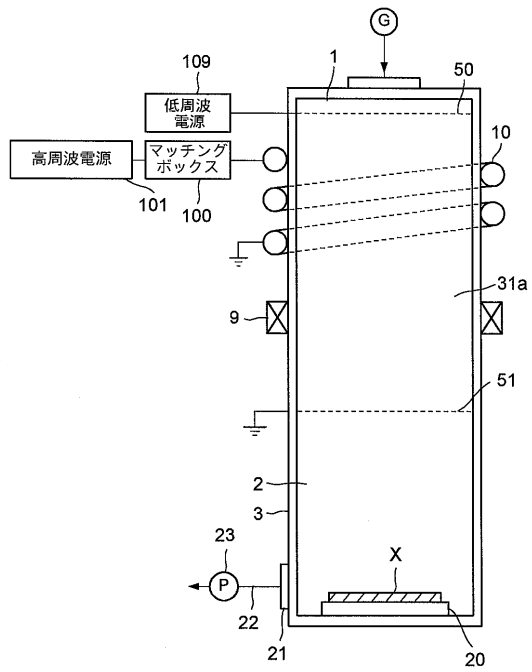
【 圖 1 2 】



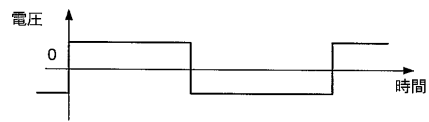
【 図 1 3 】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

- (72)発明者 一木 克則
神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社 荏原総合研究所内
- (72)発明者 山内 和雄
神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社 荏原総合研究所内
- (72)発明者 桧山 浩国
神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社 荏原総合研究所内
- (72)発明者 寒川 誠二
宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号 東北大学内

審査官 長谷部 智寿

- (56)参考文献 特開2000-150479(JP,A)
特開平10-284297(JP,A)
特開平07-169746(JP,A)
特開平05-326452(JP,A)
特開平09-139364(JP,A)
特開平09-082689(JP,A)
特開平05-109675(JP,A)
特開平11-016892(JP,A)
特開平05-259124(JP,A)
特開平10-083899(JP,A)
特開平08-181125(JP,A)
特開2000-164580(JP,A)
特開2000-100790(JP,A)
特開2000-100798(JP,A)
特開平10-106798(JP,A)
特開平10-074735(JP,A)
特開平10-274700(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
C23C 14/32
H01L 21/205
H05H 1/46
C23F 4/00