

WO 2010/018786 A1



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： プラズマ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、プラズマによってエッチングを行うエッチング装置に高周波電力を供給するプラズマ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 前記のエッチング装置として、エッチングガスが充填されるチャンバと、チャンバに充填されたエッチングガスをプラズマ化するアンテナと、チャンバ内に配置され、シリコン製の被エッチング材が載置される基台とを備えたエッチング装置が知られている（日本国特開2007-12555号）。かかるエッチング装置において、アンテナ及び基台に高周波電力が供給されると、チャンバに充填されたエッチングガスがプラズマ化され、プラズマと基台との間に電位差が生じる。プラズマと基台との間に電位差が生じると、プラズマのラジカルが基台に載置された被エッチング材と化学反応したり、プラズマのイオンが被エッチング材に衝突したりすることにより、被エッチング材がエッチングされる。

[0003] このようなエッチング装置における単位時間当たりのエッチング量（以下、「エッチングレート」という）は、プラズマと基台との間の電位差と相関関係がある。上述のように発生したプラズマは略一定の電位を有するため、基台とグラウンドとの間の電位差（以下、「印加高周波電圧」又は「 V_{pp} 電圧」という）を制御することにより、エッチングレートを制御することが可能である。 V_{pp} 電圧を制御することによりエッチングレートを制御する制御方法として、下記の2つの制御方法が挙げられる。1つ目の制御方法は、基台に供給する高周波電力（以下、「 P_f 電力」という場合がある）を一定の電力値に維持することで、目標のエッチングレートに対応する目標電圧と略同じ電圧値に V_{pp} 電圧を維持する P_f 制御である。2つ目の制御方法は、 V_{pp} 電圧と目標電圧との差が小さくなるように P_f 電力を制御すること

により、目標電圧と略同じ電圧値に V_{pp} 電圧を維持する V_{pp} 制御（日本特開2006-131954号）である。

発明の概要

[0004] P_f 電力と V_{pp} 電圧との関係は、エッチングを行っている時にエッチング装置（例えば、チャンバ等）に付着する付着物の増加などによって変化する。 P_f 電力を一定に維持している場合は、このような付着物の増加に伴って、 V_{pp} 電圧が低下する。よって、 P_f 電力を一定の電力値に維持する P_f 制御においては、エッチング開始時からエッチング装置に付着する付着物が経時的に増加することによって、 V_{pp} 電圧が経時的に低下し、エッチングレートが経時的に低下するという問題がある。

[0005] また、 P_f 電力と V_{pp} 電圧との関係は、アンテナに供給する高周波電力、プラズマの発生状況、基台に P_f 電力を供給する電源部とプラズマとのインピーダンスの整合状況、エッチングガスの種類、エッチングガスの圧力などの複数の要因によって変化する。アンテナ及び基台に高周波電力を供給し始めるエッチング開始直後においては、プラズマの発生状況、基台に P_f 電力を供給する電源部とプラズマとのインピーダンスの整合状況などが安定しないため、 P_f 電力と V_{pp} 電圧との関係は変化し易い状態にある。通常、 P_f 電力と V_{pp} 電圧との関係は、 P_f 電力が増加すると V_{pp} 電圧が増加する関係である。しかし、エッチング開始直後においては、上述のように、プラズマの発生状況等が安定しないため、 P_f 電力が増加すると V_{pp} 電圧が減少する時がある。上述のように、通常、 P_f 電力が増加すると V_{pp} 電圧が増加するため、 V_{pp} 制御では、 V_{pp} 電圧が目標電圧より大きい状態において、 P_f 電力を減少させる。しかし、 P_f 電力を減少させている時に、 P_f 電力と V_{pp} 電圧との関係が、 P_f 電力が増加すると V_{pp} 電圧が減少する関係に変化すると、 V_{pp} 電圧が増加して、 V_{pp} 電圧がオーバーシュートする恐れがある。また、エッチング開始直後においては、 V_{pp} 電圧が目標電圧に対して非常に小さい。 V_{pp} 制御では、 V_{pp} 電圧が目標電圧に対して非常に小さい場合は、 V_{pp} 電圧を目標電圧と略同じ電圧値になる

ようにP f 電力を大幅に増加させる。このため、P f 電力がオーバーシュートする恐れがある。V p p 電圧又はP f 電力がオーバーシュートすると、P f 電力を供給する電源部等がダメージを受ける。

[0006] このようなオーバーシュートを抑制するため、V p p 電圧がエッチング開始直後において緩慢に増加するように、V p p 電圧と目標電圧との差を緩慢に減少させる制御（以下、「遅延制御」という）をV p p 制御に採用することが考えられる。しかし、エッチング開始直後におけるV p p 電圧の増加が緩慢になると、エッチング開始直後におけるエッチングレートが低下し、エッチング全体におけるエッチングレートが低下するという問題がある。

[0007] そこで、本発明は、経時的なエッチングレートの低下及びエッチング開始直後のエッチングレートの低下の抑制により高いエッチングレートでエッチングすることが可能であると共に、P f 電力及びV p p 電圧のオーバーシュートを抑制できるプラズマ制御装置を提供することを目的とする。

[0008] 本発明は、プラズマによってエッチングを行うエッチング装置に高周波電力を供給するプラズマ制御装置であって、前記エッチング装置は、プラズマとの間に電位差が生じることで、載置された被エッチング材がエッチングされる基台を備え、前記プラズマ制御装置は、前記基台に高周波電力を供給する電源部と、前記高周波電力の供給によって前記基台に印加される印加高周波電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする高周波電力の電力値に相当する第1制御信号を出力する制御部と、前記制御部から出力された第1制御信号が第1しきい値に相当する第2制御信号以上の場合は、該第2制御信号を前記電源部に入力し、前記制御部から出力された第1制御信号が前記第2制御信号未満の場合は、前記第1制御信号を前記電源部に入力するリミッターとを備え、前記電源部は、リミッターから入力された第2制御信号又は第1制御信号に対応する前記高周波電力を出力することを特徴とするプラズマ制御装置を提供する。

[0009] 本発明に係るプラズマ制御装置は、電源部と、制御部と、リミッターとを備える。電源部は、基台にP f 電力を供給する。制御部は、P f 電力の供給

によって基台に印加される V_{pp} 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P_f 電力の電力値に相当する第1制御信号を出力する。尚、略同じ電圧値とは、目標電圧に対して97.5%乃至102.5%の範囲内の電圧値を意味する。リミッターは、制御部から出力された第1制御信号が第1しきい値に相当する第2制御信号以上の場合、該第2制御信号を電源部に入力し、制御部から出力された第1制御信号が第2制御信号未満の場合は、第1制御信号を電源部に入力する。

[0010] 電源部は、リミッターから第2制御信号が入力されると、第2制御信号（第1しきい値）に対応する P_f 電力を出力する。換言すれば、電源部は、第1制御信号（ V_{pp} 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P_f 電力の電力値）が第1しきい値以上の場合、 P_f 電力を第1しきい値に対応する電力値に維持する P_f 制御を行う。

[0011] 一方、電源部は、リミッターから第1制御信号が入力されると、第1制御信号に対応する P_f 電力を出力する。換言すれば、電源部は、第1制御信号が第1しきい値未満の場合は、第1制御信号に対応する電力値になるように P_f 電力を制御する V_{pp} 制御を行う。

[0012] 図1（a）は、第1制御信号（ V_{pp} 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P_f 電力の電力値）と、 V_{pp} 電圧から目標電圧を引いた差分との関係を示すグラフである。図1（a）に示すように、該差分が大きくなると、即ち、 V_{pp} 電圧が大きくなると、第1制御信号が小さくなる。

[0013] エッチング開始直後においては、 V_{pp} 電圧が0である。このため、 V_{pp} 電圧が0である場合の差分に対応する第1制御信号 P_0 よりも小さい電力値を第1しきい値 T_{h1} として設定すると、エッチング開始直後の第1制御信号が第1しきい値 T_{h1} 以上となる。このため、エッチング開始直後において、 P_f 制御が行われる。

[0014] エッチング開始直後において P_f 制御が行われると、 P_f 制御のみによってエッチングレートを制御する場合と同程度に、 V_{pp} 電圧を急峻に増加させることが可能である。このため、エッチング開始直後におけるエッチング

レートの低下を抑制することができる。

[0015] エッチング開始直後のP f 制御により、P f 電力が第1しきい値 T_{h1} に維持される。第1しきい値 T_{h1} として、 V_{pp} 電圧が0である場合の差分に対応する第1制御信号 P_0 と、参考P f 電力との間の範囲に含まれる所定の電力値（以下、「参考P f 電力より若干大きい値」という）を設定したとする。参考P f 電力とは、 V_{pp} 電圧が目標電圧と略同じ電圧値で安定しているときに付着物が付着していないエッチング装置の基台に供給されているP f 電力をいう。このように、第1しきい値 T_{h1} として参考P f 電力より若干大きい値を設定すると、エッチング開始直後のP f 制御により、P f 電力が、参考P f 電力より若干大きい値に維持される。図1（b）に示すように、P f 電力と V_{pp} 電力との関係は、通常、P f 電力が増加すると V_{pp} 電圧が増加する関係である。このため、P f 電力が、参考P f 電力より若干大きい値（第1しきい値 T_{h1} ）に維持されるとき、 V_{pp} 電圧は目標電圧よりも大きくなる（図1（b）の V_{pp1} 参照）。 V_{pp} 電圧が目標電圧よりも大きくなると、図1（a）に示すように、 V_{pp} 電圧から目標電圧を引いた差分が、 V_{pp} 電圧が目標電圧のときの差分（即ち、0）よりも大きくなり（図1（a）の V_1 参照）、第1制御信号が参考P f 電力よりも小さくなる（図1（a）の P_1 参照）。このように、第1しきい値 T_{h1} として参考P f 電力より若干大きい値を設定すると、第1制御信号が第1しきい値 T_{h1} 未満となることが可能である。このため、第1しきい値 T_{h1} として参考P f 電力より若干大きい値を設定すると、エッチングレートの制御方法がP f 制御から V_{pp} 制御に切り替わる。

[0016] V_{pp} 制御では、 V_{pp} 電圧が目標電圧と略同じとなるように制御されるので、 V_{pp} 電圧とP f 電力との関係が変化しても、 V_{pp} 電圧が低下することがない。よって、P f 制御から V_{pp} 制御に切り替った後は、 V_{pp} 制御のみによってエッチングレートを制御する場合と同様に、エッチング装置に付着する付着物の経時的な増加によって生じるエッチングレートの経時的な低下が抑制される。

- [0017] ところで、近年、下記のようなエッチング方法が提案されている。即ち、被エッチング材をエッチングするエッチング工程と、エッチング工程によって露出した被エッチング材の表面に保護膜を形成する保護膜形成工程とを短い間隔で交互に繰り返し行うエッチング方法である。しかし、このようなエッチング方法では、エッチング工程と保護膜形成工程とが短い間隔で切り替えられるため、1回のエッチング工程に要する時間が短い。時間の短いエッチング工程においては、エッチング開始直後のエッチングレートの低下により、エッチング工程全体におけるエッチングレートが大幅に低下する。
- [0018] 本発明に係るプラズマ制御装置は、エッチング開始直後におけるエッチングレートの低下を抑制することができる。このため、本発明に係るプラズマ制御装置は、上述のようにエッチング工程と保護膜形成工程とを短い間隔で交互に繰り返し行うエッチング方法を実行するエッチング装置に高周波電力を供給するプラズマ制御装置に好適である。即ち、本発明に係るプラズマ制御装置が用いられるエッチング装置としては、前記被エッチング材をエッチングするエッチング工程と、前記エッチング工程によって露出した前記被エッチング材の表面に保護膜を形成する保護膜形成工程とを交互に繰り返し行うことによって、前記被エッチング材をエッチングする装置が好ましい。
- [0019] 尚、エッチング工程が行われる度にエッチング装置に付着物が付着する。よって、エッチング工程が繰り返し行われる場合においては、順序が後のエッチング工程ほど、エッチング装置に大量の付着物が付着した環境下で行われる。前述のように、 P_f 電力を一定に維持している場合は、エッチング装置に付着する付着物の増加に伴って、 V_{pp} 電圧が低下する。このため、順序が後のエッチング工程では、 P_f 制御時の V_{pp} 電圧が小さくなる。図1 (a)に示すように、 V_{pp} 電圧が大きくなると、第1制御信号が小さくなる。このため、順序が後のエッチング工程ほど、エッチング開始直後の P_f 制御により、第1制御信号が第1しきい値 T_{h1} 未満にならない可能性が高くなる。ひいては、エッチングレートの制御方法が P_f 制御から V_{pp} 制御に切り替らない可能性が高くなる。このような問題を改善するために、第1

しきい値 T_{h1} として、 V_{pp} 電圧が 0 である場合の差分に対応する第 1 制御信号 P_0 よりも小さい範囲において、できるだけ大きい電力値を採用すればよい。これにより、 V_{pp} 電圧があまり大きくならなくても、第 1 制御信号が第 1 しきい値 T_{h1} 未満になる可能性を高めることができる。このように、第 1 しきい値 T_{h1} としてより大きい値を設定することで、順序が後のエッチング工程において、より確実に、エッチングレートの制御方法を P_f 制御から V_{pp} 制御に切り替えることができる。

[0020] また、好ましくは、本発明に係るプラズマ制御装置は、前記電源部が出力する前記高周波電力が、前記第 1 しきい値以下で第 2 しきい値以上であることが所定時間以上続くと、警報を発する警報部を備える。

[0021] P_f 制御では、第 1 しきい値 T_{h1} に対応する電力値に P_f 電力が維持される。このため、 P_f 制御時の P_f 電力は、第 1 しきい値 T_{h1} と同じである。一方、 V_{pp} 制御は、 V_{pp} 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P_f 電力（第 1 制御信号に相当）が第 1 しきい値 T_{h1} 未満の場合に行われる。 V_{pp} 制御では、 P_f 電力が第 1 制御信号になるように P_f 電力が制御される。このため、 V_{pp} 制御時の P_f 電力は、第 1 しきい値 T_{h1} 未満である。エッチング装置に付着する付着物が増加すると、 V_{pp} 電圧を一定に維持するために必要な P_f 電力が大きくなる。このため、エッチング装置に付着する付着物が増加すると、 V_{pp} 制御時における P_f 電力が大きくなる。以上のことから、本発明に係るプラズマ制御装置が上述の警報部を備えると、エッチング装置に大量の付着物が付着した環境下で V_{pp} 制御が行われる場合にのみ警報が発せられる。このため、本発明に係るプラズマ制御装置が上述の警報部を備えれば、オペレータにエッチング装置の定期的なメンテナンス（例えば、エッチング装置の洗浄等）をタイミング良く促すことができる。

[0022] 本発明は、経時的なエッチングレートの低下及びエッチング開始直後のエッチングレートの低下の抑制により高いエッチングレートでエッチングすることが可能であると共に、 P_f 電力及び V_{pp} 電圧のオーバーシュートを抑制できるプラズマ制御装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0023] [図1] 図 1 は、第 1 制御信号と V_{pp} 電圧との関係を示すグラフと、 P_f 電力と V_{pp} 電圧との関係とを示すグラフを表す図である。
- [図2] 図 2 は、プラズマ制御装置とエッチング装置とコントローラとを示す模式図である。
- [図3] 図 3 は、制御部を構成することが可能な制御回路、及び、リミッターを構成することが可能なリミッター回路の具体例を示す。
- [図4] 図 4 は、エッチング工程及び保護膜形成工程を交互に繰り返し行うことによって、被エッチング材をエッチングするエッチング方法を説明するための図である。
- [図5] 図 5 は、実施形態に係るプラズマ制御装置でエッチング工程を行った場合の印加高周波電圧の大きさと、 P_f 制御でエッチング工程を行った場合の印加高周波電圧の大きさと、遅延制御を採用した従来の V_{pp} 制御でエッチング工程を行った場合の印加高周波電圧の大きさを示すグラフを表す図である。
- [図6] 図 6 は、 V_{pp} 電圧を一定に維持しているときの、エッチング装置への付着物の付着量と P_f 電力の大きさを示すグラフである。

発明を実施するための形態

- [0024] 図 2 は、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 と、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 から P_f 電力が供給されるエッチング装置 20 と、プラズマ制御装置 10 及びエッチング装置 20 を制御するコントローラ 30 等の模式図である。
- [0025] 図 2 に示すように、エッチング装置 20 は、チャンバ 21 と、アンテナ 22 と、基台 23 と、排気装置 24 と、ガス供給装置 25 とを備えている。
- [0026] チャンバ 21 は、ガスが充填される閉塞空間を内側に有している。該閉塞空間は、プラズマ生成室 21a と該プラズマ生成室 21a の下側に設けられる反応室 21b とから構成されている。
- [0027] アンテナ 22 は、コイル状に形成され、チャンバ 21 上部に巻きかけられ

るように配置されている。アンテナ 22 は、ソース用の整合部 27 を介して、該アンテナ 22 に高周波電力を供給するソース用の電源部 26 に接続されている。ソース用の整合部 27 は、アンテナ 22 とソース用の電源部 26 とのインピーダンス整合を行う。ソース用の電源部 26 から高周波電力がアンテナ 22 に供給されると、チャンバ 21 の閉塞空間に磁界が形成される。形成された磁界によって誘起される電界によりチャンバ 21 の閉塞空間に充填されたガスがプラズマ化される。

[0028] 基台 23 は、チャンバ 21 の閉塞空間に配置され、被エッチング材 4 が載置される。被エッチング材 4 の材質として、シリコンを挙げることができる。

[0029] 排気装置 24 は、チャンバ 21 の閉塞空間からガスを排気し、該排気によりチャンバ 21 の閉塞空間を減圧する。排気装置 24 は、チャンバ 21 の反応室 21b の側壁に接続された排気管 24a と、排気管 24a に接続された真空ポンプ 24b と、排気管 24a を流通するガスの流量を調整する流量調整機構 24c とを備える。チャンバ 21 の閉塞空間からのガスの排気量は、流量調整機構 24c によって調整される。

[0030] ガス供給装置 25 は、エッチングガス及び保護膜形成ガスをチャンバ 21 の閉塞空間に供給する。ガス供給装置 25 は、チャンバ 21 のプラズマ生成室 21a の天井部に接続される供給管 25a と、流量調整機構 25b、25c と、流量調整機構 25b を介して供給管 25a に接続されるガスポンベ 25d と、流量調整機構 25c を介して供給管 25a に接続されるガスポンベ 25e とを備える。ガスポンベ 25d、25e からチャンバ 21 の閉塞空間に供給されるガス供給量は、流量調整機構 25b、25c によって調整される。ガスポンベ 25d には、エッチングガスが充填され、ガスポンベ 25e には、保護膜形成ガスが充填されている。エッチングガスとしては、例えば、 SF_6 ガスを用いることができ、保護膜形成ガスとしては、例えば、 C_4F_8 ガスを用いることができる。

[0031] プラズマ制御装置 10 は、電源部 11 と、整合部 12 と、制御部 13 と、

リミッター部 14 とを備える。電源部 11 は、エッチング装置 20 の基台 23 に P f 電力を供給する。整合部 12 は、電源部 11 と基台 23 とを接続し、電源部 11 と、チャンバ 21 の閉塞空間に生成されたプラズマとのインピーダンス整合を行う。

[0032] 制御部 13 は、電源部 11 から基台 23 への P f 電力の供給によって基台 23 に印加される V p p 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P f 電力の電力値に相当する第 1 制御信号 P f 1 を出力する。V p p 電圧は、基台 23 とグラウンドとの間の電位であり、整合部 12 によって測定される。制御部 13 には、V p p 電圧に相当する実測電圧信号 V p p が整合部 12 から入力される。更に、制御部 13 には、目標電圧に相当する目標電圧信号 V p p s e t p t がコントローラ 30 から入力される。制御部 13 は、整合部 12 から入力された実測電圧信号 V p p と、コントローラ 30 から入力された目標電圧信号 V p p s e t p t とに基づいて、第 1 制御信号 P f 1 を得る。

[0033] リミッター 14 は、制御部 13 から出力された第 1 制御信号 P f 1 が第 1 しきい値に相当する第 2 制御信号 P f 2 以上の場合は、該第 2 制御信号 P f 2 を電源部 11 に入力する。また、リミッター 14 は、制御部 13 から出力された第 1 制御信号 P f 1 が第 2 制御信号 P f 2 未満の場合は、第 1 制御信号 P f 1 を電源部 11 に入力する。本実施形態においては、第 1 しきい値は、エッチング装置 20 の洗浄によりエッチング装置 20 に付着した付着物を取り除いた直後において、V p p 電圧が目標電圧と略同じ電圧値で安定しているときに、基台に供給されている P f 電力の測定値より若干大きい値とされている。このような第 1 しきい値に相当する第 2 制御信号 P f 2 は、コントローラ 30 からリミッター 14 に入力される。

[0034] 図 3 に示すように、制御部 13 は差分アンプ 13 b を有する制御回路 13 a で構成することができ、リミッター 14 はリミッター回路 14 a で構成することができる。制御回路 13 a を構成する差分アンプ 13 b には、整合部 12 が測定した V p p 電圧に相当する実測電圧信号 V p p と、目標電圧に相当する目標電圧信号 V p p s e t p t とが入力される。差分アンプ 13 b か

らは、 V_{pp} 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P_f 電力の電力値に相当する第1制御信号 P_{f1} が出力される。

[0035] 一方、リミッター回路14aには、差分アンプ13bから出力された第1制御信号 P_{f1} と、第1しきい値に相当する第2制御信号 P_{f2} とが入力される。リミッター回路14aは、第1制御信号 P_{f1} が第2制御信号 P_{f2} 以上の場合は、第2制御信号 P_{f2} を電源部11へ出力し、第1制御信号 P_{f1} が第2制御信号 P_{f2} 未満の場合は、第1制御信号 P_{f1} を電源部11へ出力する。

[0036] コントローラ30は、供給流量制御部31と、排気流量制御部32と、基台電力制御部33と、コイル電力制御部34と、しきい値設定部35とを備える。供給流量制御部31は、ガス供給装置25の流量調整機構25b、25cを制御して、ガスポンプ25d、25eからチャンバ21の閉塞空間に供給されるガスの供給量を制御する。排気流量制御部32は、排気装置24の流量調整機構24cを制御して、真空ポンプ24bによってチャンバ21の閉塞空間から排気されるガスの排気量を制御する。基台電力制御部33は、 P_f 電力の供給をプラズマ制御装置10の電源部11に指示すると共に、 P_f 電力の電力値のモニターを行う。コイル電力制御部34は、ソース用の電源部26にアンテナ22への高周波電力の供給を指示する共に、 P_f 電力の電力値のモニターを行う。しきい値設定部35は、第1しきい値に相当する第2制御信号 P_{f2} をリミッター14に、目標電圧に相当する目標電圧信号 $V_{ppsetpt}$ を制御部13に入力する。しきい値設定部35は、第1しきい値と第2制御信号 P_{f2} との関係を示す関数を記憶している。また、しきい値設定部35は、例えば、オペレータがキーボード等を使用して入力した第1しきい値を第2制御信号 P_{f2} に変換して、リミッター14に入力することができる。同様に、しきい値設定部35は、目標電圧と目標電圧信号 $V_{ppsetpt}$ との関係を示す関数を記憶している。また、しきい値設定部35は、例えば、オペレータがキーボード等を使用して入力した目標電圧を目標電圧信号 $V_{ppsetpt}$ に変換して、制御部13に入力することが

できる。

[0037] 次に、エッチング装置 20 の基台 23 に載置された被エッチング材 4 のエッチングについて説明する。ここで説明するエッチング方法は、エッチング工程と保護膜形成工程とを交互に繰り返し行うことによって被エッチング材 4 をエッチングする方法である。

[0038] まず、エッチング方法の全体について説明する。図 4 (a) に示すように、基台 23 に載置された被エッチング材 4 には、エッチングされる部分以外の部分にマスク 41 が形成されている。このようにマスク 41 が形成された被エッチング材 4 に対して、最初に、保護膜形成工程が行なわれる。

[0039] 保護膜形成工程を行う場合、コントローラ 30 の供給流量制御部 31 は、保護膜形成ガスが充填されたガスボンベ 25 e からチャンバ 21 の閉塞空間に保護膜形成ガスが供給されるように、流量調整機構 25 b、25 c を制御する。

[0040] 保護膜形成工程を行う場合、コントローラ 30 の排気流量制御部 32 は、チャンバ 21 の閉塞空間を所定の圧力に保つために、排気装置 24 の流量調整機構 24 c を制御する。

[0041] 保護膜形成工程を行う場合、コントローラ 30 のコイル電力制御部 34 は、ソース用の電源部 26 に対して高周波電力をアンテナ 22 に供給することを指示する。ソース用の電源部 26 から高周波電力がアンテナ 22 に供給されると、チャンバ 21 の閉塞空間に充填された保護膜形成ガスがプラズマ化される。図 4 (b) に示すように、保護膜形成ガスをプラズマ化することで、保護膜形成ガスのラジカルから重合物が生成されて、該重合物が被エッチング材 4 の表面に堆積し、該重合物の堆積により被エッチング材 4 の表面に保護膜 42 が形成される。

[0042] 保護膜 42 が形成されると、エッチング工程が行われる。エッチング工程を行う場合、コントローラ 30 の供給流量制御部 31 は、エッチングガスが充填されたガスボンベ 25 d からチャンバ 21 の閉塞空間にエッチングガスが供給されるように、流量調整機構 25 b、25 c を制御する。

- [0043] エッチング工程を行う場合、コントローラ 30 の排気流量制御部 32 は、チャンバ 21 の閉塞空間から保護膜形成ガスを排気すると共に、チャンバ 21 の閉塞空間におけるエッチングガスの圧力を所定の圧力値に保つために、排気装置 24 の流量調整機構 24c を制御する。
- [0044] エッチング工程を行う場合、コントローラ 30 のコイル電力制御部 34 は、ソース用の電源部 26 に対して高周波電力をアンテナ 22 に供給することを指示する。高周波電力がアンテナ 22 に供給されると、上述のようにチャンバ 21 の閉塞空間に充填されたエッチングガスがプラズマ化される。
- [0045] エッチング工程を行う場合、コントローラ 30 の基台電力制御部 33 は、プラズマ制御部 10 の電源部 11 に P f 電力を基台 23 に供給するように指示する。P f 電力が基台 23 に供給されると、プラズマと基台 23 との間に電位差が生じる。該電位差が生じると、プラズマのラジカルが被エッチング材 4 と化学反応したり、プラズマのイオンが保護膜 42 及び被エッチング材 4 と衝突したりする。図 4 (c) に示すように、ラジカルが被エッチング材 4 と化学反応したり、イオンが保護膜 42 及び被エッチング材 4 と衝突したりすることにより、被エッチング材 4 のマスクされていない部分において、保護膜 42 が除去されると共に、被エッチング材 4 がエッチングされる。
- [0046] 被エッチング材 4 がエッチングされると、再び保護膜形成工程が行われ、図 4 (d) に示すように、エッチング工程によって露出した被エッチング材 4 の表面に保護膜 42 が形成される。保護膜 42 が形成されると、再びエッチング工程が行われ、図 4 (e) に示すように、エッチングされた部分が更にエッチングされる。
- [0047] 以上に説明した、エッチング工程においては、イオン照射量の多い穴の底部 43 において保護膜 42 の除去とエッチングが行われる。一方、イオン照射量の少ない穴の側面部 44 においては、保護膜 42 の除去のみが行われる。このように穴の底部 43 においてのみエッチングが行われるため、エッチング工程と保護膜形成工程とを交互に繰り返し行うエッチング方法では、掘り下げる方向に対して直交する方向（図 4 (f) においては左右方向）に穴

を広げずに、エッチング材を深く掘り下げることができる。

[0048] 次に、以上において説明したエッチング工程を、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 で行った場合の V_{pp} 電圧と、従来の P_f 制御によって行った場合の V_{pp} 電圧と、遅延制御を採用した従来の V_{pp} 制御によって行った場合の V_{pp} 電圧とを比較しながら、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 が行うエッチング工程について説明する。図 5 (a) 及び (d) は、従来の P_f 制御によってエッチング工程を行った場合の V_{pp} 電圧を示す。図 5 (b) 及び (e) は、遅延制御を採用した従来の V_{pp} 制御によって行ったエッチング工程を行った場合の V_{pp} 電圧を示す。図 5 (c) 及び (f) は、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 によってエッチング工程を行った場合の V_{pp} 電圧を示す。また、図 5 (a)、(b) 及び (c) は、エッチング装置 20 の洗浄直後に行われるエッチング工程 (図 4 (b) に対応する) 時の V_{pp} 電圧を示す。図 5 (d)、(e) 及び (f) は、エッチング装置 20 に付着物が付着した状態で行われるエッチング工程時の V_{pp} 電圧を示す。

[0049] 図 1 (a) は、第 1 制御信号 (V_{pp} 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P_f 電力の電力値) と、 V_{pp} 電圧から目標電圧を引いた差分との関係を示すグラフである。図 1 (a) に示すように、該差分が大きくなると、即ち、 V_{pp} 電圧が大きくなると、第 1 制御信号が小さくなる。本実施形態では、第 1 しきい値 T_{h1} として、参考 P_f 電力より若干大きい値、即ち、 V_{pp} 電圧が 0 である場合の前記差分に対応する第 1 制御信号 P_0 と、参考 P_f 電力との間の範囲に含まれる所定の電力値を設定している。エッチング開始直後においては、 V_{pp} 電圧が 0 である。このため、エッチング開始直後における第 1 制御信号 P_f1 は、第 1 しきい値 T_{h1} に相当する第 2 制御信号 P_f2 以上となる。このため、エッチング開始直後においては、リミッター 14 から電源部 11 に第 2 制御信号 P_f2 が入力される。

[0050] 電源部 11 は、第 2 制御信号 P_f2 が入力されると、第 2 制御信号 P_f2 に対応する P_f 電力を出力する。換言すれば、電源部 11 は、第 1 制御信号

P f 1 が第 1 しきい値以上の場合は、P f 電力を第 1 しきい値に対応する電力値に維持する P f 制御を行う。

[0051] このようにエッチング開始直後においては P f 制御が行われるので、図 5 (a) 及び (d) に示すように、P f 制御のみによってエッチングレートを制御する場合と同程度に、V p p 電圧を急峻に増加させることが可能である。このため、エッチング開始直後におけるエッチングレートの低下を抑制することができる。よって、本実施形態にかかるプラズマ制御装置 10 は、エッチング開始直後におけるエッチングレートの低下が抑制されている。

[0052] エッチング開始直後における P f 制御により、P f 電力が第 1 しきい値 T_{h1} として設定された参考 P f 電力より若干大きい値に維持される。図 1 (b) に示すように、P f 電力と V p p 電力との関係は、通常、P f 電力が増加すると V p p 電圧が増加する関係である。P f 電力が、参考 P f 電力より若干大きい値に維持されるとき、V p p 電圧は目標電圧よりも大きくなる。V p p 電圧が目標電圧よりも大きくなると、図 1 (a) に示すように、V p p 電圧から目標電圧を引いた差分が、V p p 電圧が目標電圧の場合の時の差分（即ち、0）よりも大きくなり（図 1 (a) の V 1 参照）、第 1 制御信号 P f 1 が参考 P f 電力よりも小さくなる（図 1 (a) の P 1 参照）。第 1 制御信号 P f 1 が第 2 しきい値 P f 2 未満になると、リミッター 14 から電源部 11 に第 1 制御信号 P f 1 が入力される。

[0053] 電源部 11 は、第 1 制御信号 P f 1 が入力されると、第 1 制御信号 P f 1 に対応する P f 電力を出力する。換言すれば、電源部 11 は、第 1 制御信号 P f 1 が第 1 しきい値未満の場合は、第 1 制御信号に P f 電力がなるように P f 電力を制御する V p p 制御を行う。

[0054] V p p 制御では、V p p 電圧が目標電圧と略同じとなるように制御されるので、V p p 電圧と P f 電力との関係が変化しても、V p p 電圧が低下することがない。よって、図 5 (d) に示すように、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 は、エッチング装置 20 に付着する付着物の経時的な増加によって、エッチングレートが経時的に低下することを抑制できる。

[0055] 以上のように、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 は、経時的なエッチングレートの低下及びエッチング開始直後のエッチングレートの低下の抑制により高いエッチングレートでエッチングすることが可能であると共に、 P_f 電力及び V_{pp} 電圧のオーバーシュートを抑制できる。

[0056] 尚、エッチング工程が行われる度にエッチング装置 20 に付着物が付着する。よって、エッチング工程が繰り返し行われる場合においては、順序が後のエッチング工程ほど、エッチング装置 20 に大量の付着物が付着した環境下で行われる。前述のように、 P_f 電力を一定に維持している場合は、エッチング装置 20 に付着する付着物の増加に伴って、 V_{pp} 電圧が低下する。このため、順序が後のエッチング工程では、 P_f 制御時の V_{pp} 電圧が小さくなる。図 1 (a) に示すように、 V_{pp} 電圧から目標電圧を引いた差分が大きくなる (V_{pp} 電圧が大きくなる) と、第 1 制御信号が小さくなる。このため、順序が後のエッチング工程ほど、エッチング開始直後の P_f 制御により、第 1 制御信号が第 1 しきい値 T_{h1} 未満にならない可能性が高くなる。ひいては、エッチングレートの制御方法が P_f 制御から V_{pp} 制御に切り替らない可能性が高くなる。このような問題を改善するために、第 1 しきい値 T_{h1} として、 V_{pp} 電圧が 0 である場合の第 1 制御信号よりも小さい範囲において、できるだけ大きい電力値を採用すればよい。これにより、 V_{pp} 電圧があまり大きくならなくても、第 1 制御信号が第 1 しきい値 T_{h1} 未満になる可能性を高めることができる。このように、第 1 しきい値 T_{h1} としてより大きい値を設定することで、順序が後のエッチング工程において、より確実に、エッチングレートの制御方法を P_f 制御から V_{pp} 制御に切り替えることができる。

[0057] 尚、本実施形態に係るプラズマ制御装置 10 は、電源部 11 が出力する P_f 電力が、第 1 しきい値以下で第 2 しきい値以上であることが所定時間以上続くと、警報を発する警報部 15 を備えてもよい。この警報部 15 は、電源部 11 から出力される P_f 電力値をモニターしている。また、警報部 15 は、コントローラ 30 を介して、第 2 しきい値に相当する第 3 制御信号 P_f3

が入力される。

[0058] P f 制御では、第 1 しきい値 T_{h1} に対応する電力値に P f 電力が維持される。このため、P f 制御時の P f 電力は、第 1 しきい値 T_{h1} と同じである。一方、V p p 制御は、V p p 電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする P f 電力（第 1 制御信号に相当）が第 1 しきい値 T_{h1} 未満の場合に行われる。V p p 制御では、P f 電力が第 1 制御信号になるように P f 電力が制御される。このため、V p p 制御時の P f 電力は、第 1 しきい値 T_{h1} 未満である。エッチング装置 20 に付着する付着物が増加すると、V p p 電圧を一定に維持するために必要な P f 電力が大きくなる。このため、エッチング装置 20 に付着する付着物が増加すると、V p p 制御時における P f 電力が大きくなる。以上のことから、プラズマ制御装置 10 が警報部 15 を備えると、エッチング装置 20 に大量の付着物が付着した環境下で V p p 制御が行われる場合にのみ警報が発せられる。このため、プラズマ制御装置が警報部 15 を備えれば、オペレータにエッチング装置 20 の定期的なメンテナンス（例えば、エッチング装置 20 の洗浄等）をタイミング良く促すことができる。

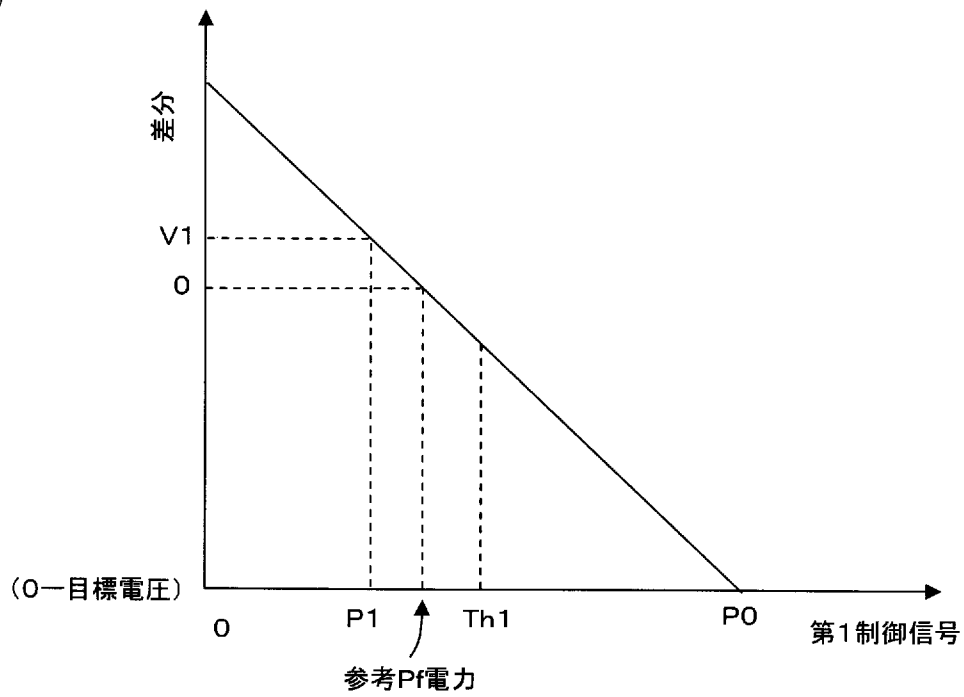
[0059] また、警報を発する機能は、例えば、コントローラ 30 の基台電力制御部 33 が具備してもよい。例えば、基台電力制御部 33 に、P f 電力が第 1 しきい値以下で第 2 しきい値 T_{h2} 以上であることが所定時間以上続くと警報を発するソフトウェアを導入し、しきい値設定部 35 が第 1 しきい値と第 2 しきい値 T_{h2} とを基台電力供給部 33 に入力する構成とする。これにより、基台電力制御部 33 が警報を発する機能を具備することができる。

請求の範囲

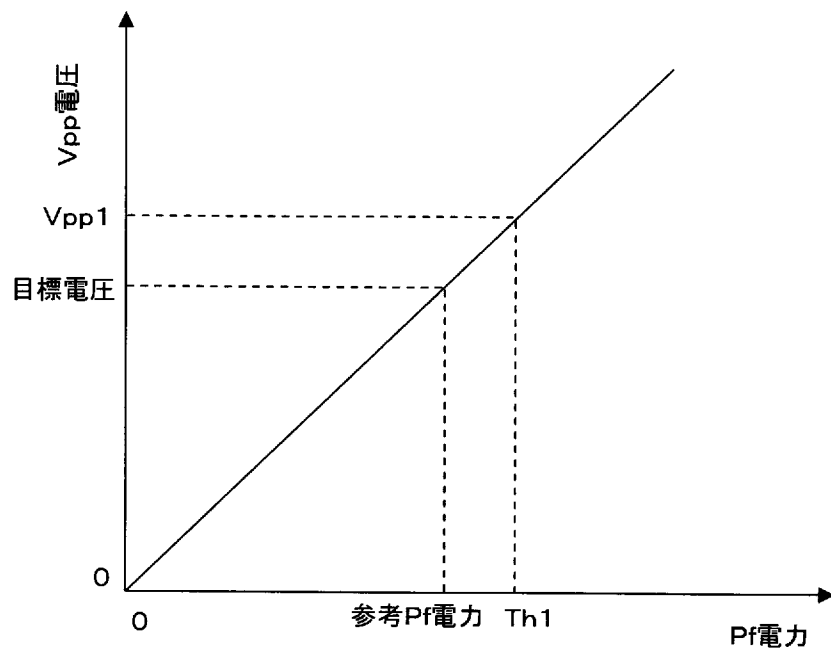
- [請求項1] プラズマによってエッチングを行うエッチング装置に高周波電力を供給するプラズマ制御装置であって、
- 前記エッチング装置は、
- プラズマとの間に電位差が生じることで、載置された被エッチング材がエッチングされる基台を備え、
- 前記プラズマ制御装置は、
- 前記基台に高周波電力を供給する電源部と、
- 前記高周波電力の供給によって前記基台に印加される印加高周波電圧を目標電圧と略同じ電圧値にする高周波電力の電力値に相当する第1制御信号を出力する制御部と、
- 前記制御部から出力された第1制御信号が第1しきい値に相当する第2制御信号以上の場合は、該第2制御信号を前記電源部に入力し、前記制御部から出力された第1制御信号が前記第2制御信号未満の場合は、前記第1制御信号を前記電源部に入力するリミッターとを備え、
- 前記電源部は、リミッターから入力された第1制御信号又は第2制御信号に対応する前記高周波電力を出力することを特徴とするプラズマ制御装置。
- [請求項2] 前記エッチング装置は、前記被エッチング材をエッチングするエッチング工程と、前記エッチング工程によって露出した前記被エッチング材の表面に保護膜を形成する保護膜形成工程とを交互に繰り返し行うことによって、前記被エッチング材をエッチングすることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ制御装置。
- [請求項3] 前記電源部が出力する前記高周波電力が、前記第1しきい値以下で第2しきい値以上であることが所定時間以上続くと、警報を発する警報部を備えることを特徴とする請求項1又は2に記載のプラズマ制御装置。

[図1]

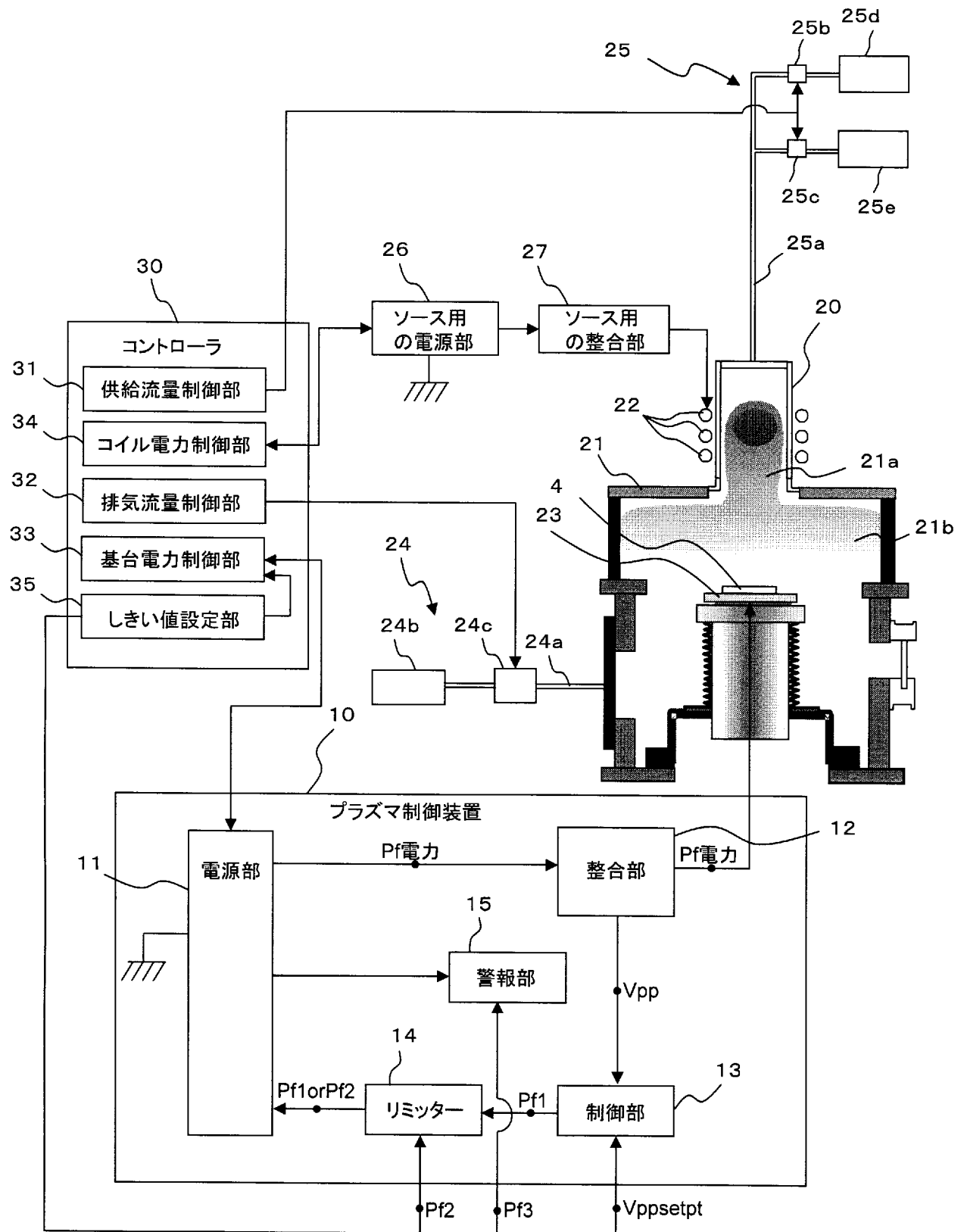
(a)



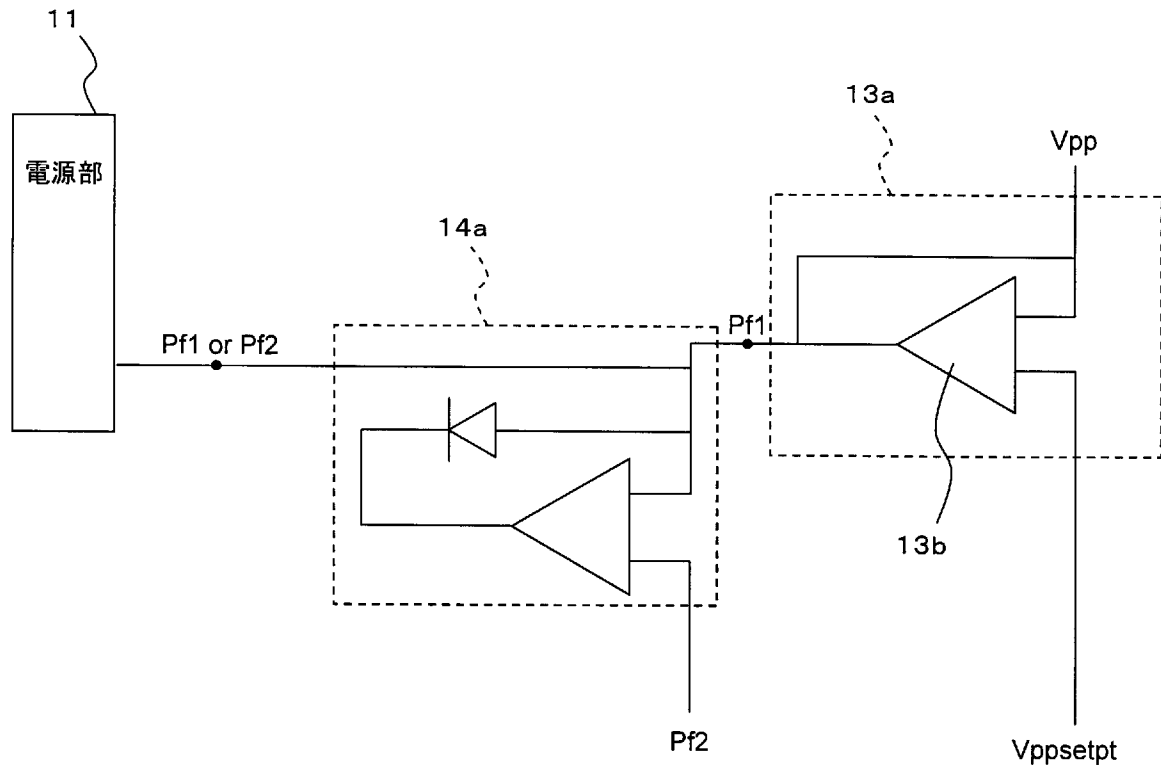
(b)



[図2]

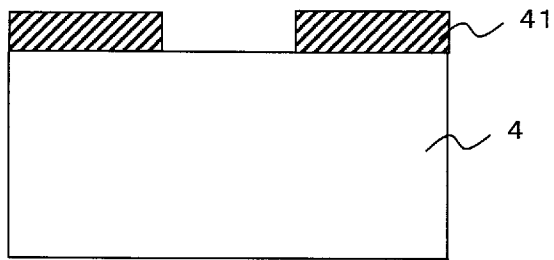


[図3]

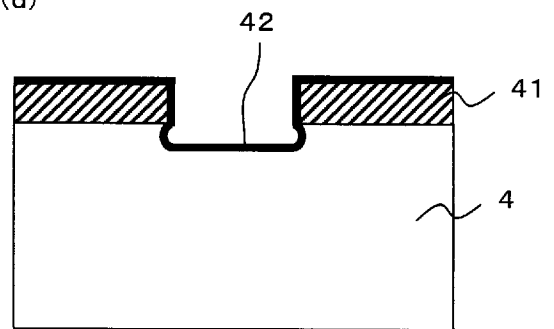


[図4]

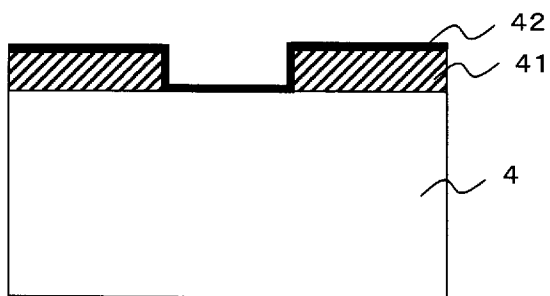
(a)



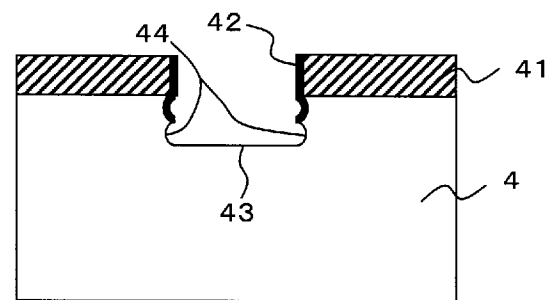
(d)



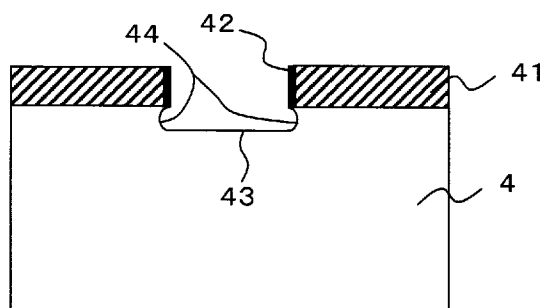
(b)



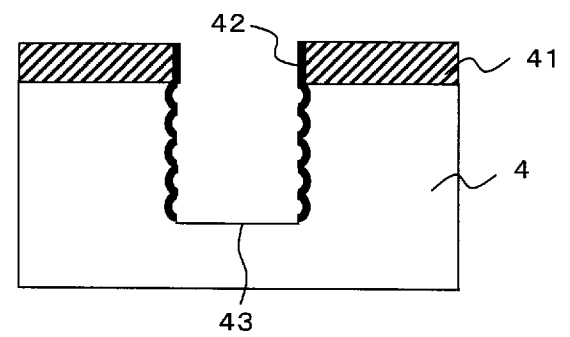
(e)



(c)

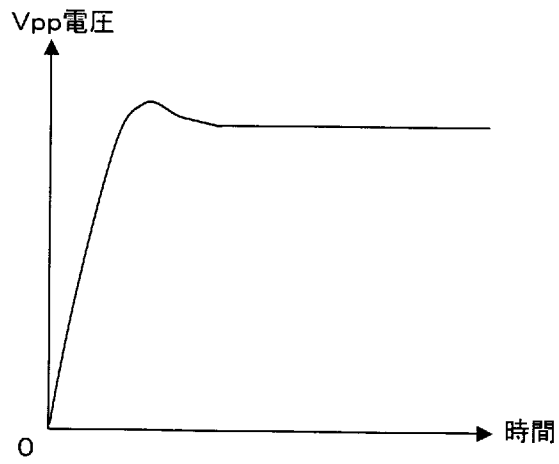


(f)

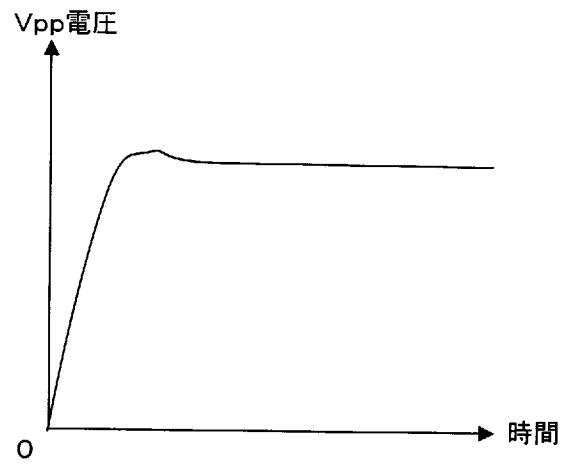


[図5]

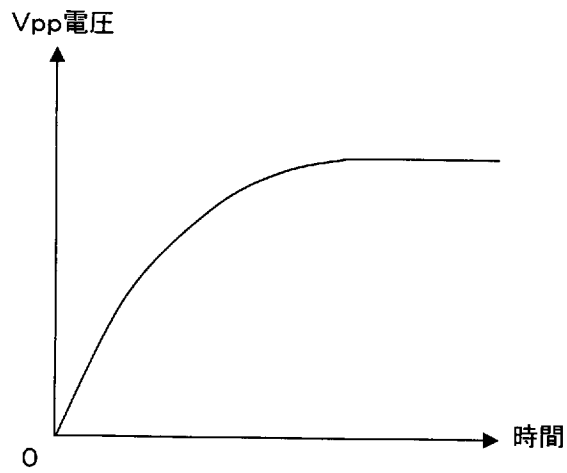
(a)



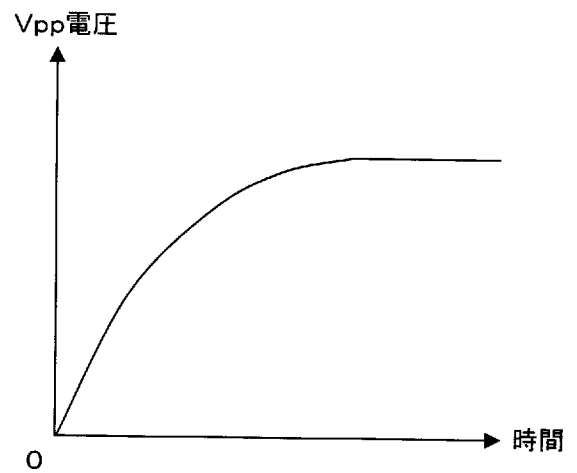
(d)



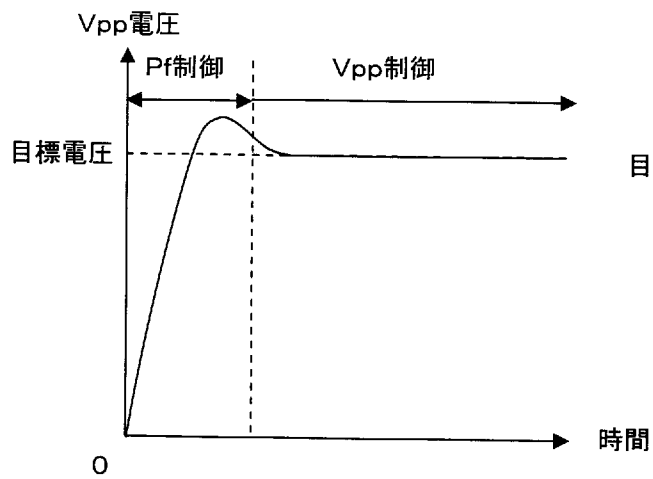
(b)



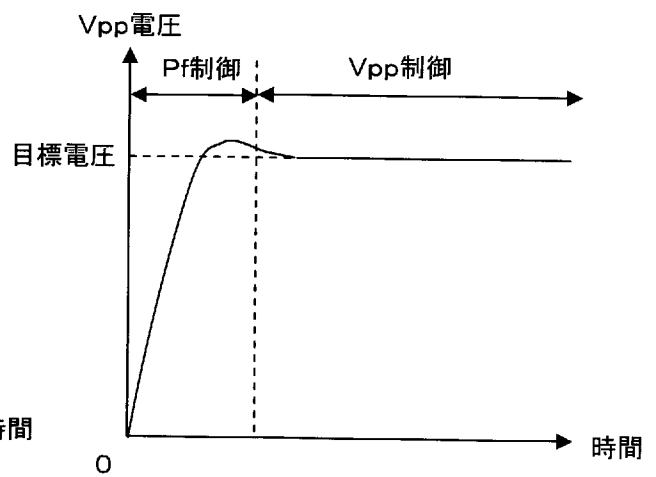
(e)



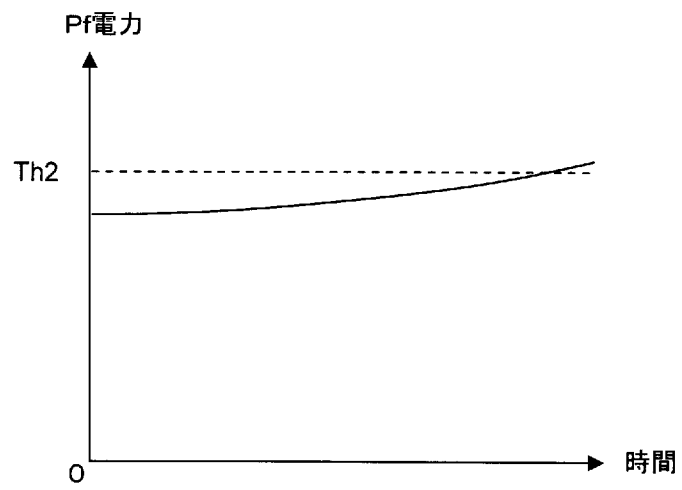
(c)



(f)



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/063994

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, H05H1/46(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/3065, H05H1/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 10-242128 A (Hitachi, Ltd.), 11 September, 1998 (11.09.98), Par. Nos. [0002] to [0026]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1, 3 2
X Y	JP 10-242121 A (Hitachi, Ltd.), 11 September, 1998 (11.09.98), Par. Nos. [0002] to [0035]; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1, 3 2
Y	JP 1-194325 A (Toshiba Corp.), 04 August, 1989 (04.08.89), Page 2, lower left column, line 18 to page 6, upper left column, line 9; Figs. 1 to 4 (Family: none)	2

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 August, 2009 (26.08.09)

Date of mailing of the international search report
08 September, 2009 (08.09.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/063994

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-199378 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 06 August, 1996 (06.08.96), (Family: none)	1-3
A	JP 11-233293 A (Kokusai Electric Co., Ltd.), 27 August, 1999 (27.08.99), (Family: none)	1-3
A	JP 2007-12555 A (Hitachi High-technologies Corp.), 18 January, 2007 (18.01.07), (Family: none)	1-3
A	JP 2006-131954 A (Konica Minolta Holdings, Inc.), 25 February, 2006 (25.02.06), (Family: none)	1-3

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. H01L21/3065(2006.01)i, H05H1/46(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/3065, H05H1/46

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 10-242128 A（株式会社日立製作所）1998.09.11, 【0002】-【0026】, 図1-図4（ファミリーなし）	1, 3 2
X Y	JP 10-242121 A（株式会社日立製作所）1998.09.11, 【0002】-【0035】, 図1-図5（ファミリーなし）	1, 3 2
Y	JP 1-194325 A（株式会社東芝）1989.08.04, 第2頁左下欄第18行 目-第6頁左上欄第9行目, 第1図-第4図（ファミリーなし）	2

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 6 . 0 8 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

0 8 . 0 9 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

菅野 智子

電話番号 03-3581-1101 内線 3471

4 R

9 5 4 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 8-199378 A (住友金属工業株式会社) 1996. 08. 06, (ファミリーなし)	1-3
A	JP 11-233293 A (国際電気株式会社) 1999. 08. 27, (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2007-12555 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2007. 01. 18, (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2006-131954 A (コニカミノルタホールディングス株式会社) 2006. 02. 25, (ファミリーなし)	1-3