

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003年10月16日 (16.10.2003)

PCT

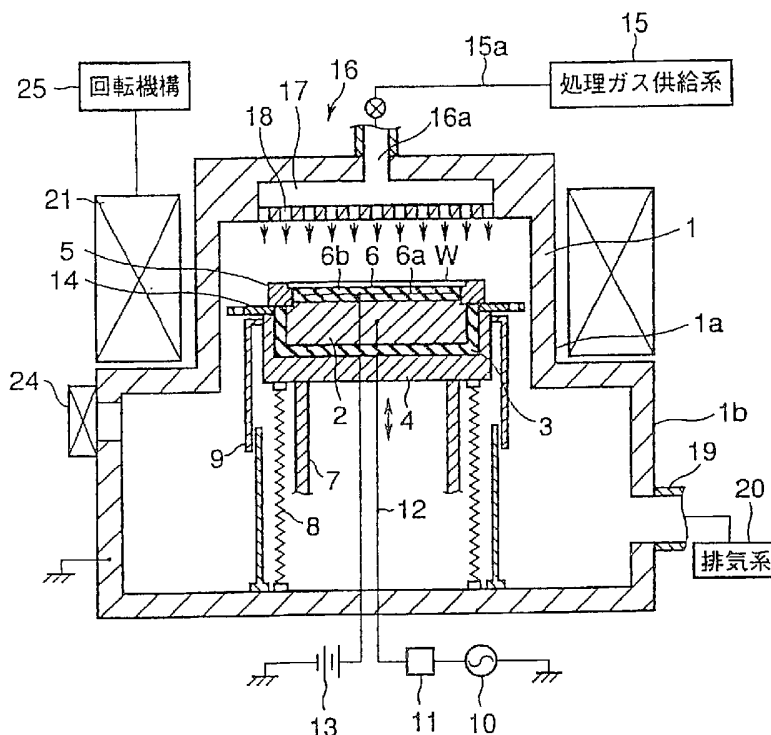
(10) 国際公開番号
WO 03/085716 A1

- (51) 国際特許分類7: H01L 21/3065
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/04410
- (22) 国際出願日: 2003年4月7日 (07.04.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-105249 2002年4月8日 (08.04.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒107-8481 東京都港区赤坂五丁目3番6号 Tokyo (JP). 株式会社東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒105-8001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松山 昇一郎 (MATSUYAMA, Shoichiro) [JP/JP]; 〒407-8511 山梨県韮崎市藤井町北下条2381番地の1 東京エレクトロンAT株式会社内 Yamanashi (JP). 本田 昌伸 (HONDA, Masanobu) [JP/JP]; 〒407-8511 山梨県韮崎市藤井町北下条2381番地の1 東京エ

[続葉有]

(54) Title: PLASMA ETCHING METHOD AND PLASMA ETCHING DEVICE

(54) 発明の名称: プラズマエッチング方法及びプラズマエッチング装置



25...ROTATION MECHANISM
15...PROCESS GAS SUPPLY SYSTEM
20...EXHAUST SYSTEM

(57) Abstract: A plasma etching method characterized in that it comprises an arrangement step of arranging a pair of electrodes in a chamber, placing a substrate to be processed and having a silicon film and an inorganic material film adjacently between the electrodes, and allowing one of the electrodes to support the substrate and an etching step of applying a high-frequency power to at least one of the electrodes to produce a high-frequency electric field between the pair of electrodes, supplying a process gas into the chamber to produce a plasma of the process gas by the electric field, and plasma-etching the silicon film of the substrate by the plasma, and that in the etching step, the frequency of the high-frequency power applied to at least one of the electrodes is in the range from 50 to 150 MHz.

(57) 要約: 本発明は、チャンパー内に一対の電極を対向して配置し、両電極の間にシリコン膜と無機材料膜とを隣接して有する被処理基板が配置されるように、一方の電極によって当該被処理基板を支持させる配置工程と、少なくとも一方の電極に高周波電力を印加して前記一対の電極間に高周波電

界を形成するとともに、チャンパー内に処理ガスを供給し、前記電界により処理ガスのプラズマ

[続葉有]



WO 03/085716 A1



クトロント株式会社内 Yamanashi (JP), 永関 一也 (NAGASEKI, Kazuya) [JP/JP]; 〒407-8511 山梨県 韮崎市 藤井町北下条 2381 番地の 1 東京エレクトロント株式会社内 Yamanashi (JP), 林 久貴 (HAYASHI, Hisataka) [JP/JP]; 〒240-0065 神奈川県 横浜市 保土ヶ谷区 和田 2-17-9-203 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 吉武 賢次, 外 (YOSHITAKE, Kenji et al.); 〒100-0005 東京都 千代田区 丸の内三丁目 2 番 3 号 富士ビル 323 号 協和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK,

SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

を形成し、該プラズマにより前記被処理基板の前記シリコン膜をプラズマエッチングするエッチング工程と、を備え、前記エッチング工程において、前記少なくとも一方の電極に印加する高周波電力の周波数が、50～150 MHz であることを特徴とするプラズマエッチング方法である。

明 細 書

プラズマエッチング方法及びプラズマエッチング装置

技 術 分 野

本発明は、シリコン膜とそれに隣接する無機材料膜とを有する半導体ウエハ等の被処理基板のシリコン膜をプラズマエッチングするプラズマエッチング方法および装置に関する。

背 景 技 術

半導体デバイスの製造工程においては、半導体ウエハにポリシリコン膜等のシリコン膜や絶縁膜等の多層膜が形成された後、所定の配線パターンを形成するためにプラズマエッチングが行われる。

このようなプラズマエッチングを行うために、種々の装置が用いられている。その中でも、容量結合型平行平板プラズマエッチング装置が主流である。容量結合型平行平板プラズマ処理装置では、チャンバー内に一对の平行平板電極（上部および下部電極）が配置され、処理ガスがチャンバー内に導入されるとともに、電極の少なくとも一方に高周波電力が印加されて電極間に高周波電界が形成される。この高周波電界により、処理ガスのプラズマが形成され、被処理基板に対してプラズマエッチング処理が施される。

このようなプラズマ処理装置においては、下部電極に13.56～40MHz程度の高周波電力が供給されてエッチングが行われている。

このような条件で、例えばSiO₂等の無機系材料膜をマスクとして用いてポリシリコン膜等のシリコン膜をエッチングする場合には、無機材料膜に対するエッチング選択比を向上させるために、比較的高圧の圧力条件でエッチングが行われている。

しかしながら、従来のように比較的高圧の圧力条件でエッチングが行われる場合には、シリコン膜の無機材料膜に対するエッチング選択比は向上するものの、エッチング形状制御性が悪いという問題がある。このような問題は、無機材料膜

をマスクとして用いる場合のみならず、シリコン膜の下地に無機材料膜が形成されている場合でも同様に生じる。

発明の要旨

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、無機系材料膜に隣接したシリコン膜をエッチングする際に、高エッチング選択比を維持したまま、形状制御性を良好にすることができるプラズマエッチング方法および装置を提供することを目的とする。

本発明者らの検討結果によれば、ポリシリコン膜等のシリコン膜のエッチングでは、プラズマ密度が支配的であって、イオンエネルギーの寄与が小さいのに対し、 SiO_2 や SiN 膜等の無機系材料膜のエッチングでは、プラズマ密度とイオンエネルギーの両方が必要である。したがって、プラズマ密度が高く、かつ、イオンエネルギーがある程度低ければ、無機系材料膜に対するシリコン膜のエッチング選択比を高くすることができる。この場合、プラズマのイオンエネルギーは、エッチングの際における電極の自己バイアス電圧と間接的に対応する。従って、無機系材料膜に対するシリコン膜のエッチング選択比を高くするためには、結局、高プラズマ密度かつ低バイアスの条件でエッチングすることが必要である。

一方、エッチングの形状制御性を良好なものにするためには、プロセスが低圧で行われることが必要である。しかしながら、上記の条件であれば、より低圧のプロセスで高エッチング選択比を実現することができる。すなわち、高プラズマ密度および低自己バイアス電圧が実現されれば、より低圧条件下で無機系材料膜に対するシリコン膜のエッチング選択比を高くことができ、高エッチング選択比と良好なエッチング形状制御性とを両立させることができる。

本発明者らの更なる検討結果によれば、電極に印加する高周波電力の周波数が高ければ、プラズマ密度が高くかつ自己バイアス電圧が小さい状態を実現することができることが判明した。

本発明は、チャンバー内に一对の電極を対向して配置し、両電極の間にシリコン膜と無機材料膜とを隣接して有する被処理基板が配置されるように、一方の電極によって当該被処理基板を支持させる配置工程と、少なくとも一方の電極に高

周波電力を印加して前記一对の電極間に高周波電界を形成するとともに、チャンパー内に処理ガスを供給し、前記電界により処理ガスのプラズマを形成し、該プラズマにより前記被処理基板の前記シリコン膜をプラズマエッチングするエッチング工程と、を備え、前記エッチング工程において、前記少なくとも一方の電極に印加する高周波電力の周波数が、50～150MHzであることを特徴とするプラズマエッチング方法である。

本発明によれば、電極に印加される高周波電力の周波数が50～150MHzであって従来よりも高いため、より低圧の条件であっても、高プラズマ密度と低い自己バイアス電圧とを実現することができ、シリコン膜を、無機系材料膜に対して高エッチング選択比で、かつ、良好な形状制御性で、エッチングすることができる。

電極に印加される高周波電力の周波数は、70～100MHz、特に100MHz、であることがより好ましい。

また、前記エッチング工程において、前記高周波電力のパワー密度は、0.15～5W/cm²であることが好ましい。

また、前記エッチング工程において、前記チャンパー内のプラズマ密度は、 $5 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であることが好ましい。

また、前記エッチング工程において、前記チャンパー内の圧力は、13.3Pa以下であることが好ましい。

また、本発明は、チャンパー内に一对の電極を対向して配置し、両電極の間にシリコン膜と無機材料膜とを隣接して有する被処理基板が配置されるように、一方の電極によって当該被処理基板を支持させる配置工程と、少なくとも一方の電極に高周波電力を印加して前記一对の電極間に高周波電界を形成するとともに、チャンパー内に処理ガスを供給し、前記電界により処理ガスのプラズマを形成し、該プラズマにより前記被処理基板の前記シリコン膜をプラズマエッチングするエッチング工程と、を備え、前記エッチング工程において、処理ガスはHBrガス及びCl₂ガスのいずれか1つを含み、前記チャンパー内のプラズマ密度が $5 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であって、かつ、電極の自己バイアス電圧が200V以下であることを特徴とするプラズマエッチング方法である。

本発明によれば、前記チャンバー内のプラズマ密度が $5 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10}$ cm^{-3} であり、かつ、電極の自己バイアス電圧が200V以下であるという条件で、HBrガス及び Cl_2 ガスのいずれか1つを含むガスのプラズマが形成されるため、シリコン膜を、無機系材料膜に対して高エッチング選択比でかつ良好な形状制御性でエッチングすることができる。

以上において、前記無機系材料膜は、例えば、シリコン酸化物、シリコン窒化物、シリコン酸窒化物、及び、シリコン炭化物の少なくとも一つからなる。

また、前記高周波電力は、前記被処理基板を支持する電極に印加されることが好ましい。この場合に、被処理基板を支持する電極に、前記高周波電力に重畳させて3.2～13.56MHzの第2高周波電力が印加されてもよい。このように、より低い周波数の第2高周波電力を重畳させることにより、プラズマ密度およびイオン引き込み作用を調整することができ、無機系材料膜に対するエッチング選択比を確保した上でシリコン膜のエッチングレートをより上昇させることが可能である。

重畳させる第2高周波電力は、13.56MHzであることが好ましい。重畳させる高周波電力の周波数が13.56MHzの場合、そのパワー密度は 0.64 W/cm^2 以下であることが好ましい。また、3.2～13.56MHzの第2高周波電力が印加される場合、前記被処理基板を支持する電極の自己バイアス電圧は、200V以下であることが好ましい。

また、本発明は、シリコン膜と無機系材料膜とを隣接して有する被処理基板を収容するチャンバーと、前記チャンバー内に設けられ、その一方が前記被処理基板を支持する一対の電極と、前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、前記チャンバー内を排気する排気系と、前記電極のうち少なくとも一方にプラズマ形成用の高周波電力を供給する高周波電源と、を備え、前記高周波電源から発生される高周波電力の周波数が、50～150MHzであることを特徴とするプラズマエッチング装置である。

前記高周波電源から発生される高周波電力の周波数は、70～100MHz、特には100MHz、であることが好ましい。

好ましくは、前記高周波電力のパワー密度は、 $0.15 \sim 5 \text{ W/cm}^2$ である。

また、前記チャンバー内の圧力は、 13.3 Pa 以下であることが好ましい。

また、好ましくは、前記被処理基板を支持する電極に、前記高周波電力が印加される。

また、好ましくは、前記プラズマエッチング装置は、前記被処理基板を支持する電極に前記高周波電力に重畳させて $3.2\sim 13.56\text{ MHz}$ の第2高周波電力を印加する第2高周波電源を更に備える。この場合、好ましくは、前記第2高周波電力の周波数は、 13.56 MHz である。また、好ましくは、前記第2高周波電力のパワー密度は、 0.64 W/cm^2 以下である。

ところで、パッシェンの法則 (Paschen's law) より、放電開始電圧 V_s は、ガス圧力 p と電極間距離 d の積 pd がある値の時に極小値 (パッシェン最小値) をとり、パッシェン最小値をとる積 pd の値は、高周波電力の周波数が高いほど小さくなる。従って、高周波電力の周波数が高い場合に、放電開始電圧 V_s を小さくして放電を容易にして安定させるためには、ガス圧力 p が一定であれば電極間距離 d を小さくする必要がある。そのため、本発明では、電極間距離を 50 mm 未満とすることが好ましい。また、電極間距離を 50 mm 未満とすることで、チャンバー内でのガスのレジデンスタイムを短くすることができる。これにより、反応生成物が効率的に排出され、エッチングストップを低減することができるという効果も得られる。

また、前記一对の電極間のプラズマ領域の周囲に磁場を形成する磁場形成手段を更に備えることが好ましい。

印加する高周波電力の周波数が高い場合には、エッチングレートが周辺部に比較して給電位置である中央部において高くなるという現象が生じ得るが、一对の電極間のプラズマ領域の周囲に磁場を形成することにより、プラズマ閉じこめ効果が発揮されて、印加する高周波電力の周波数が高い場合でも、処理空間にある被処理基板におけるエッチングレートを、被処理基板のエッジ部 (周辺部) と中央部とでほぼ同等とすることができる。すなわち、エッチングレートを均一化することができる。

前記磁場形成手段が前記一对の電極間のプラズマ領域の周囲に形成する磁場の強度は、 $0.03\sim 0.045\text{ T}$ ($300\sim 450\text{ Gauss}$) であることが好

ましい。

また、被処理基板を支持する電極の周囲にフォーカスリングが設けられ、前記プラズマ領域の周囲に磁場が形成された際に、フォーカスリング上の磁場強度が 0.001 T (10 Gauss)以上であり、被処理基板上の磁場強度が 0.001 T 以下であることが好ましい。

フォーカスリング上の磁場強度を 0.001 T 以上とすることにより、フォーカスリング上で電子のドリフト運動が生じ、周辺部のプラズマ密度が上昇してプラズマ密度が均一化される。一方、被処理基板上の磁場強度を実質的に被処理基板に影響を及ぼさない 0.001 T 以下とすることにより、チャージアップダメージを防止することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施の形態のプラズマエッチング装置を示す概略断面図である。

図2は、図1のプラズマエッチング装置のチャンバーの周囲に配置されたリング磁石を模式的に示す水平断面図である。

図3は、本発明のプラズマエッチングが適用される半導体ウエハの構造の一例を示す断面図である。

図4は、本発明のプラズマエッチングが適用される半導体ウエハの構造の他の例を示す断面図である。

図5は、プラズマ生成用の高周波電源とイオン引き込み用の高周波電源とを備えたプラズマ処理装置を部分的に示す概略断面図である。

図6は、アルゴンガスのプラズマにおいて、高周波電力の周波数が 40 MHz と 100 MHz との場合の、自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ とプラズマ密度 N_e との関係を示す図である。

図7Aは、高周波電力が 100 MHz の場合におけるウエハの位置に対するポリシリコン膜のエッチングレートの値を、高周波電力パワーが 500 W 、 1000 W 、 1500 W の各場合について示す図である。

図7Bは、高周波電力が 40 MHz の場合におけるウエハの位置に対するポリ

シリコン膜のエッチングレートの値を、高周波電力パワーが500W、1000W、1500Wの各場合について示す図である。

図8は、高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係を、高周波電力が40MHzと100MHzとの場合について示す図である。

図9は、高周波電力パワーとSiO₂膜のエッチングレートとの関係を、高周波電力が40MHzと100MHzとの場合について示す図である。

図10は、高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、および、高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係を、高周波電力が40MHzと100MHzとの場合について示す図である。

図11は、ポリシリコン膜のエッチングレートとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係を、高周波電力が40MHzと100MHzとの場合について示す図である。

図12Aは、エッチングの際のチャンバー内圧力と高周波電力が100MHzの場合および40MHzの場合におけるポリシリコン膜のエッチングレートとの関係を示す図である。

図12Bは、エッチングの際のチャンバー内圧力と高周波電力が100MHzの場合および40MHzの場合におけるSiO₂膜のエッチングレートとの関係を示す図である。

図13は、チャンバー内圧力とエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係を、高周波電力が40MHzと100MHzとの場合について示す図である。

図14は、チャンバー内圧力とポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、および、高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係を、高周波電力が40MHzと100MHzとの場合について示す図である。

図15は、ポリシリコン膜のエッチングレートとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係を、高周波電力が40MHzと100MHzとの場合について示す図である。

図16は、HBrガスのプラズマにおいて、高周波電力の周波数が100MHzであり第2高周波電力が13MHzであって、各高周波電力パワーが変えられた場合の（高周波電力：500W、1000W、1500W、2000W、第2高周波電力：0W、200W、600W）、自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ とプラズマ密度 N_e との関係を示す図である。

図17は、高周波電力の高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、および、高周波電力の高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係について示す図である。

図18は、第2高周波電力の高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、および、第2高周波電力の高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係について示す図である。

図19は、プラズマガスとしてArガスを用いた場合の、Arガス流量とウエハ中心部と周辺部の圧力差 ΔP との関係を、電極間ギャップ25mmの場合と40mmの場合とで比較して示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

図1は、本発明の実施に用いられるプラズマエッチング装置を示す断面図である。このエッチング装置は、気密に構成され、小径の上部1aと大径の下部1bとからなる段つき円筒状のチャンバー1を備えている。チャンバー1の壁部は、例えばアルミニウム製である。

チャンバー1内には、被処理基板であるウエハWを水平に支持する支持テーブル2が設けられている。支持テーブル2は例えばアルミニウムで構成され、絶縁板3を介して導体の支持台4上に支持されている。また、支持テーブル2の上方の外周には、導電性材料または絶縁性材料で形成されたフォーカスリング5が設けられている。ウエハWの直径が200mmφの場合、フォーカスリング5は240~280mmφであることが好ましい。支持テーブル2、絶縁板3、支持台

4及びフォーカスリング5は、ボールねじ7を含むボールねじ機構により昇降可能となっている。支持台4の下方の昇降駆動部分は、ステンレス鋼（SUS）製のベローズ8で覆われている。チャンバー1は接地されている。また、支持テーブル2の中には冷媒流路（図示せず）が設けられて支持テーブル2を冷却可能となっている。また、ベローズ8の外側にはベローズカバー9が設けられている。

支持テーブル2のほぼ中央には、高周波電力を供給するための給電線12が接続されている。この給電線12には、マッチングボックス11を介して高周波電源10が接続されている。高周波電源10からは、所定の周波数の高周波電力が支持テーブル2に供給されるようになっている。一方、支持テーブル2の上方には、後述するシャワーヘッド16が互いに平行に対向するように設けられている。シャワーヘッド16は、接地されている。したがって、支持テーブル2は下部電極として機能し、シャワーヘッド16は上部電極として機能して、すなわち、支持テーブル2とシャワーヘッド16とは一对の平板電極を構成している。

なお、これらの電極間の距離は、50mm未満に設定されることが好ましい。その理由は以下のとおりである。

パッシェンの法則（Paschen's law）により、放電開始電圧 V_s は、ガス圧力 p と電極間距離 d の積 pd がある値の時に極小値（パッシェン最小値）をとり、パッシェン最小値をとる積 pd の値は、高周波電力の周波数が高いほど小さくなる。従って、本実施形態のように高周波電力の周波数が高い場合に、放電開始電圧 V_s を小さくして放電を容易にして安定させるためには、ガス圧力 p が一定であれば電極間距離 d を小さくする必要がある。そのため、電極間距離を50mm未満とすることが好ましい。また、電極間距離を50mm未満とすることで、チャンバー内でのガスのレジデンスタイムを短くすることができる。これにより、反応生成物が効率的に排出され、エッチングストップを低減することができるという効果も得られる。

しかし、電極間距離を小さくしすぎると、被処理基板であるウエハWの表面の圧力分布（中心部と周辺部の圧力差）が大きくなる。この場合、エッチング均一性の低下等の問題が生じ得る。ガス流量によらず、圧力差を0.27Pa（2mTorr）より小さくするためには、電極間距離は35mm以上であることが好

ましい。

支持テーブル2の表面上には、ウエハWを静電吸着するための静電チャック6が設けられている。この静電チャック6は、絶縁体6bの間に電極6aが介在されて構成されている。電極6aには直流電源13が接続されている。そして、電極6aに直流電源13から電圧が印加されることにより、例えばクーロン力によって半導体ウエハWが吸着されるようになっている。

支持テーブル2の内部には、図示しない冷媒流路が形成されている。その中に適宜の冷媒を循環させることによって、ウエハWを所定の温度に制御可能となっている。また、冷媒からの冷熱を効率よくウエハWに伝達するために、ウエハWの裏面にHeガスを供給するガス導入機構(図示せず)が設けられている。さらに、フォーカスリング5の外側にはバッフル板14が設けられている。バッフル板14は、支持台4及びベローズ8を通して、チャンバー1と導通している。

チャンバー1の天井壁部分には、支持テーブル2に対向するようにシャワーヘッド16が設けられている。シャワーヘッド16は、その下面に多数のガス吐出孔18が設けられており、かつその上部にガス導入部16aを有している。そして、その内部には空間17が形成されている。ガス導入部16aにはガス供給配管15aが接続されており、このガス供給配管15aの他端には、エッチング用の反応ガス及び希釈ガスからなる処理ガスを供給する処理ガス供給系15が接続されている。

反応ガスとしては、ハロゲン系のガスが用いられ、希釈ガスとしては、Arガス、Heガス等、通常この分野で用いられるガスが用いられ得る。

このような処理ガスが、処理ガス供給系15からガス供給配管15a及びガス導入部16aを介してシャワーヘッド16の空間17に至り、ガス吐出孔18から吐出され、ウエハWに形成された膜がエッチングされる。

チャンバー1の下部1bの側壁には、排気ポート19が形成されており、この排気ポート19には真空ポンプを有する排気系20が接続されている。そして真空ポンプを作動させることにより、チャンバー1内は所定の真空度まで減圧され得るようになっている。一方、処理室1の下部1bの側壁上側には、ウエハWの搬入出口と、当該搬入出口を開閉するゲートバルブ24と、が設けられている。

一方、チャンバー1の上部1aの周囲には、同心状に、リング磁石21が配置されており、支持テーブル2とシャワーヘッド16との間の処理空間の周囲に磁界を形成するようになっている。このリング磁石21は、回転機構25により配置の中心軸周りに（周方向に）回転可能となっている。

リング磁石21は、図2の水平断面図に示すように、永久磁石からなる複数のセグメント磁石22が図示しない支持部材により支持された状態でリング状に配置されて構成されている。この例では、16個のセグメント磁石22がリング状（同心円状）にマルチポール状態で配置されている。すなわち、リング磁石21においては、隣接するセグメント磁石22同士の磁極の向きが互いに逆向きになるように配置されている。したがって、磁力線は図示のように隣接するセグメント磁石22間に形成され、処理空間の周辺部のみに例えば0.02~0.2T（200~2000Gauss）、好ましくは0.03~0.045T（300~450Gauss）の磁場が形成される。一方、ウエハ配置領域は、実質的に無磁場状態となる。前記のような磁場強度が規定されるのは、磁場が強すぎると洩れ磁場の原因となり得るし、磁場が弱すぎるとプラズマ閉じこめ効果が得られなくなるためである。もともと、適正な磁場強度は、装置構造等にも依存する。すなわち、適正な磁場強度の範囲は、装置によって異なり得る。

また、処理空間の周辺部に前記のような磁場が形成される場合、フォーカスリング5上の磁場強度は0.001T（10Gauss）以上となることが望ましい。この場合、フォーカスリング上に電子のドリフト運動（E×Bドリフト）が生じて、ウエハ周辺部のプラズマ密度が上昇してプラズマ密度が均一化される。一方、ウエハWのチャージアップダメージを防止する観点から、ウエハWの存在部分の磁場強度は0.001T（10Gauss）以下となることが望ましい。

ここで、ウエハ配置領域における実質的に無磁場とは、ウエハ配置領域におけるエッチング処理に影響を与える磁場が形成されていないことをいう。すなわち、実質的にウエハ処理に影響を与えない磁場が存在する場合も含まれる。

図2に示す状態では、ウエハ周辺部に、例えば磁束密度0.42mT（4.2Gauss）以下の磁場が印加されている。これにより、プラズマを閉じ込める機能が発揮される。

このようなマルチポール状態のリング磁石によって磁場が形成されると、チャンバー 1 の壁部の磁極に対応する部分（例えば図 2 に P で示す部分）が局部的に削られる現象が生じるおそれがある。従って、上記回転機構 2 5 によりリング磁石 2 1 がチャンバーの円周方向に沿って回転させられる。これにより、チャンバー一壁に対して局部的に磁極が当接する（位置する）ことが回避され、チャンバー壁が局部的に削られることが防止される。

上記各セグメント磁石 2 2 は、図示しないセグメント磁石回転機構により、垂直方向の軸を中心に回転自在に構成されている。このように、セグメント磁石 2 2 を回転させることにより、実質的にマルチポール磁場が形成される状態とマルチポール磁場が形成されない状態との間での切替が可能となっている。条件によっては、マルチポール磁場が有効に作用する場合と作用しない場合とがある。従って、このようにマルチポール磁場が形成される状態と形成されない状態とを切替可能とすることにより、条件に応じて適切な状態を選択することができる。

磁場の状態はセグメント磁石の配置に応じて変化するから、セグメント磁石の配置を種々変化させることにより、種々の磁場強度プロファイルを形成することができる。従って、必要な磁場強度プロファイルが得られるように、セグメント磁石を配置することが好ましい。

なお、セグメント磁石の数はこの例に限定されるものではない。また、その断面形状もこの例のように長方形に限らず、円、正方形、台形等、任意の形状を採用することができる。セグメント磁石 2 2 を構成する磁石材料も特に限定されるものではなく、例えば、希土類系磁石、フェライト系磁石、アルニコ磁石等、公知の磁石材料を適用することができる。

上記構成のプラズマエッチング装置は、 SiO_2 、 SiN 等の無機系材料膜に隣接するポリシリコンをエッチングする場合に適用可能である。以下、上記構成のプラズマエッチング装置を用いてこのようなエッチングを行う場合の処理動作について説明する。

エッチング対象のウエハ W は、例えば、図 3 に示すように、シリコン基板 3 1 の上にポリシリコン膜 3 2 が形成され、当該シリコン膜 3 2 上にハードマスクとして所定のパターンの無機系材料膜 3 3 が形成された構成を有している。あるいは

は、ウエハWは、図4に示すように、シリコン基板41の上にゲート酸化膜としてSiO₂からなる無機系材料膜42が形成され、当該無機系材料膜42の上にゲートとなるポリシリコン膜43が形成され、さらに当該ポリシリコン膜43の上にマスクとなる所定パターンのレジスト膜44が形成された構成を有している。

無機系材料膜33は、一般的にハードマスクとして用いられる材料で構成されている。シリコン酸化物、シリコン窒化物、シリコン酸窒化物、シリコン炭化物等が、好適な例として挙げられ得る。すなわち、無機系材料膜33は、これらの少なくとも一つからなることが好ましい。

これらの構造のウエハWについて、ポリシリコン膜32または43がエッチングされる。まず、ゲートバルブ24が開けられて、搬送アームにてウエハWがチャンバー1内に搬入され、支持テーブル2上に載置される。その後、搬送アームが退避されてゲートバルブ24が閉じられ、支持テーブル2が図1に示す位置まで上昇される。また、排気系20の真空ポンプにより、排気ポート19を介してチャンバー1内が所定の真空度とされる。

その後、チャンバー1内に処理ガス供給系15から所定の処理ガス、例えばHBrガス、が例えば0.02~0.4L/min(20~400sccm)で導入され、チャンバー1内が所定の圧力に維持される。この状態で、高周波電源10から支持テーブル2に、周波数が50~150MHz、好ましくは70~100MHzの高周波電力が供給される。この際の単位面積当たりのパワー、すなわちパワー密度は、約0.15~約5.0W/cm²の範囲であることが好ましい。このとき、直流電源13から静電チャック6の電極6aに所定の電圧が印加され、ウエハWは例えばクーロン力により静電チャック6に吸着される。

このように下部電極である支持テーブル2に高周波電力が印加されることにより、上部電極であるシャワーヘッド16と下部電極である支持テーブル2との間の処理空間に高周波電界が形成される。これにより、処理空間に供給された処理ガスがプラズマ化され、そのプラズマによりウエハW上のポリシリコン膜がエッチングされる。

このエッチング工程の際に、マルチポール状態のリング磁石21により、処理空間の周囲に図2に示すような磁場が形成され得る。この場合、プラズマ閉じこ

め効果が発揮され、本実施形態のようにプラズマの不均一が生じやすい高周波数の場合でも、ウエハWのエッチングレートが均一化され得る。また、条件によっては、このような磁場を形成しない方がよい場合もある。その場合には、セグメント磁石22を回転させて、処理空間の周囲に実質的に磁場が形成されない状態にして処理を行えばよい。

上記磁場が形成された場合には、支持テーブル2上のウエハWの周囲に設けられた導電性または絶縁性のフォーカスリング5により、プラズマ処理の均一化効果を一層高めることができる。すなわち、ウエハ周辺部のプラズマ密度が高く、ウエハ周辺部のエッチングレートがウエハ中心部のエッチングレートに比べて大きい場合は、シリコンやSiC等の導電性材料で形成されたフォーカスリングを用いることによって、フォーカスリング領域までが下部電極として機能するため、プラズマ形成領域がフォーカスリング5上まで広がり、ウエハWの周辺部におけるプラズマ処理が促進されエッチングレートの均一性が向上される。一方、ウエハ周辺部のプラズマ密度が低く、ウエハ周辺部のエッチングレートがウエハ中心部のエッチングレートに比べて小さい場合は、石英等の絶縁性材料で形成されたフォーカスリングを用いることによって、フォーカスリング5とプラズマ中の電子やイオンとの間で電荷が授受され得ないので、プラズマを閉じこめる作用が増大され得てエッチングレートの均一性が向上される。

プラズマ密度およびイオン引き込み作用を調整するために、プラズマ生成用の前記高周波とプラズマ中のイオンを引き込むための第2高周波とを重畳させてもよい。具体的には、図5に示すように、プラズマ生成用の高周波電源10の他に、イオン引き込み用の第2高周波電源26がマッチングボックス11に接続されて、これらが重畳される。この場合に、イオン引き込み用の第2高周波電源26の周波数は、3.2~13.56MHzが好ましく、この範囲では13.56MHzが特に好ましい。これにより、イオンエネルギーを制御するパラメータが増加するので、必要十分な無機系材料膜に対するエッチング選択比を確保した上でポリシリコン膜のエッチングレートをより上昇させることができるような最適な処理条件を容易に設定することができる。

ところで、本発明者等の検討結果によると、ポリシリコン膜のエッチングでは、

プラズマ密度が支配的であってイオンエネルギーの寄与が小さいのに対し、無機系材料のエッチングでは、プラズマ密度とイオンエネルギーの両方が必要である。したがって、図3及び図4に示すように無機系材料膜に隣接したポリシリコン膜のエッチングにおいては、無機系材料膜に対するエッチング選択比を高くしてエッチングするためには、プラズマ密度が高く、かつ、イオンエネルギーが低いことが必要である。つまり、無機系材料のエッチングに必要なイオンエネルギーを低く、ポリシリコンのエッチングに支配的なプラズマ密度を高くすれば、ポリシリコン膜が選択的にエッチングされることとなる。ここで、プラズマのイオンエネルギーは、エッチングの際における電極の自己バイアス電圧と間接的に対応するから、ポリシリコン膜を高エッチング選択比でエッチングするためには、結局、高プラズマ密度かつ低自己バイアス電圧の条件でエッチングすることが必要である。一方、エッチングの形状制御性を良好なものにするためには、エッチングが低圧で行われることが必要であるが、上記の条件が満たされれば、より低圧のプロセスで高エッチング選択比を実現することができる。すなわち、高プラズマ密度および低自己バイアス電圧が実現されれば、より低圧の条件下でも、無機系材料膜に対するポリシリコン膜のエッチング選択比を高くすることができ、高エッチング選択比と良好なエッチング形状制御性とを両立させることができることとなる。そして、そのためには、電極に印加する高周波電力の周波数を50～150 MHzと従来よりも高くすればよいことが判明した。

以下、そのことが図6を参照して説明される。図6は、高周波電力の周波数が40 MHz、100 MHzにおける自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ とプラズマ密度との関係を示す図である。横軸が自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ であり、縦軸がプラズマ密度である。ここで、プラズマガスとしては、実際のエッチングガスではなく、評価用にArが用いられた。なお、各周波数において、印加する高周波パワーを変化させることにより、プラズマ密度 N_e および自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ の値が変化された。つまり、各周波数とも、印加する高周波パワーが大きくなるほど、プラズマ密度 N_e および自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ はともに大きくなる。また、プラズマ密度は、マイクロ波干渉計により測定された。

図6に示すように、高周波電力の周波数が従来の40MHzの場合には、ポリシリコン膜のエッチングレートを高くすべくプラズマ密度を上昇させると、 $|V_{dc}|$ も大きく上昇した。一方、高周波電力の周波数が従来よりも高い100MHzの場合には、プラズマ密度を上昇させても $|V_{dc}|$ はあまり上昇せず、ほぼ100V以下に抑えられた。すなわち、高プラズマ密度および低自己バイアス電圧が実現可能であることが見出された。すなわち、従来のように比較的周波数が低い場合には、低圧下においては、実際のエッチングにおいてポリシリコン膜のエッチングレートを上昇させると、同程度に無機系材料膜もエッチングされて良好な選択エッチング性が得られない一方、100MHzという高い周波数により、ポリシリコン膜を無機系材料膜に対する高エッチング選択比でエッチングすることが可能であることが知見された。

また、図6からも理解されるように、低圧下において、従来よりも高プラズマ密度および低自己バイアス電圧にしてポリシリコン膜をより高選択比でエッチングするためには、アルゴンガスのプラズマを形成した場合、プラズマ密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ電極の自己バイアス電圧が100V以下、あるいは、プラズマ密度が $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ電極の自己バイアス電圧が200V以下、となるような条件でプラズマを形成することが好ましいと考えられる。そして、そのようなプラズマ条件を満足するためには、高周波電力が50MHz以上必要なことが推測される。

従って、プラズマ形成用の高周波電力の周波数は、上述したように50MHz以上とされる。ただし、プラズマ形成用の高周波電力の周波数が150MHzを超えると、プラズマの均一性が損なわれ得る。このため、プラズマ形成用の高周波電力の周波数は150MHz以下とすることが好ましい。特に上記効果を有効に発揮させるためには、プラズマ形成用の高周波電力の周波数は70~100MHzが好ましい。

エッチングの際のチャンバー内圧力は、13.3Pa(100mT)以下とすることが好ましい。無機系材料膜に対するポリシリコン膜のエッチング選択比とエッチング形状制御性とを両立させる観点からは、チャンバー内圧力は4Pa(30mT)以下がより好ましい。エッチング形状制御性をより重視すれば、チ

チャンバー内圧力は1.33 Pa (10 mT) 以下が更に好ましい。

次に、ポリシリコン膜の実際のエッチングレートおよび無機系材料膜に対するエッチング選択比を把握するために、ポリシリコン膜および無機系材料膜であるSiO₂の全面形成膜のエッチングを行った実験結果について説明する。

ここでは、ウエハWとして200 mmウエハを用い、エッチングガスとして、HBrガス：0.2 L/min (圧力が0.133 Paのときのみ0.02 L/min) が供給され、電極間ギャップは27 mm、チャンバー内圧力は4 Paとしてエッチング処理が施された。

図7Aは、高周波電力が100 MHzの場合における、ウエハの位置に対するポリシリコン膜のエッチングレートの値を、高周波電力パワーが500 W (1.59 W/cm²)、1000 W (3.18 W/cm²)、1500 W (4.77 W/cm²)の各場合について示す図である。図7Bは、高周波電力が40 MHzの場合における、ウエハの位置に対するポリシリコン膜のエッチングレートの値を、高周波電力パワーが500 W (1.59 W/cm²)、1000 W (3.18 W/cm²)、1500 W (4.77 W/cm²)の各場合について示す図である。また、図8は、高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係を、40 MHzおよび100 MHzの各場合について示す図である。図9は、高周波電力パワーとSiO₂膜のエッチングレートとの関係を、40 MHzおよび100 MHzの各場合について示す図である。図10は、高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、及び、高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレート比 (図10においてエッチング選択比と記載) との関係を、40 MHzおよび100 MHzの各場合について示す図である。図11は、ポリシリコン膜のエッチングレートとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレート比 (図11においてもエッチング選択比と記載) との関係を、40 MHzおよび100 MHzの各場合について示す図である。

これらの図から、ポリシリコン膜のエッチングレートは、高周波電力パワーが増加すると大きくなる傾向にあるが、40 MHzでのエッチングレートと100

MHzでのエッチングレートとに大きな開きはない。また、同じガス圧力および同じパワーでは、ポリシリコン膜の40MHzでのエッチングレートと100MHzでのエッチングレートとは同程度であるが、SiO₂膜のエッチングレートは100MHzの場合よりも40MHzの場合のほうが高い。従って、40MHzの場合よりも100MHzの場合のほうがSiO₂膜に対するポリシリコン膜のエッチング選択比に相当する、ポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレート比が高いことが確認された。すなわち、評価用サンプルでの実験結果から、4Paにおいて、40MHzよりも100MHzの高周波電力を用いるほうが、ポリシリコン膜を高エッチング選択比でエッチングできる可能性が高いことが確認された。ポリシリコン膜のエッチングレートとエッチング選択比とはトレードオフの関係にあるので、高周波電力パワーを大きくしすぎるとポリシリコン膜のエッチングレートは増大するがエッチング選択比が低下する。従って、100MHzの高周波電力のパワー密度は、5W/cm² (約1500W) 以下が好ましい。

一方、100MHzでは、パワー密度が低い方向で、ポリシリコン膜のエッチングレートが低下し、SiO₂膜に対するエッチング選択比は向上する。エッチング対象膜の下地がSiO₂等のゲート酸化膜の場合には、その厚さは通常数nm程度であるため、SiO₂のエッチングレートを0.1nm/minオーダーまで下げる必要がある。例えば、1.33Pa (10mTorr) の圧力条件の場合、1.5W/cm² (約500W) のパワー密度では、ポリシリコン膜のエッチングレートは100nm/min、エッチング選択比は70であり、SiO₂のエッチングレートは1.43nm/minである。従って、SiO₂のエッチングレートを0.1nm/minオーダーまで下げるためには、パワー密度を0.15~0.3W/cm² (約50~100W) 程度まで下げる必要があると予想される。以上の点を考慮すると、最低の高周波電力パワーは0.3W/cm² 以上が好ましく更に0.15W/cm² (約50W) 以上が好ましい。エッチング選択性のみの観点では、高周波電力パワーは1.5W/cm² (約500W) 以下が好ましい。

次に、HBrガスの流量が0.02~0.2L/minの間で変化されて、チ

チャンバー内圧力が0.133~13.3 Paの間で変化されて、高周波電力パワーを500 Wに固定し、その他は上記条件にて、エッチングが行われた。

図12 Aは、エッチングの際のチャンバー内圧力と高周波電力が100 MHzの場合および40 MHzの場合におけるポリシリコン膜のエッチングレートとの関係を示す図であり、図12 Bは、エッチングの際のチャンバー内圧力と高周波電力が100 MHzの場合および40 MHzの場合におけるSiO₂膜のエッチングレートとの関係を示す図である。図13は、チャンバー内圧力とエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比（図13においてエッチング選択比と記載）との関係を、40 MHzおよび100 MHzの各場合について示す図である。図14は、チャンバー内圧力とポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、および、高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比（図14においてもエッチング選択比と記載）との関係を40 MHzおよび100 MHzの各場合について示す図である。図15は、ポリシリコン膜のエッチングレートとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比（図15においてもエッチング選択比と記載）との関係を40 MHzおよび100 MHzの各場合について示す図である。

これらの図から、同じ高周波電力パワーおよびチャンバー内圧力であれば、40 MHzの場合よりも100 MHzの場合のほうがポリシリコン膜のエッチングレートが若干高く、エッチング選択比も高いことが確認された。また、同じ高周波電力パワーであれば、40 MHzの場合よりも100 MHzのほうが、より低圧力で高いエッチング選択比が得られることが確認された。さらに、図15に示すように、同じ高周波電力パワーおよびエッチングレートでは、40 MHzの場合よりも100 MHzの場合のほうがエッチング選択比が高いことも確認された。これらのことから、100 MHzの場合に、エッチング形状制御性に有利な低圧条件下で高いエッチング選択比を得ることができ、高エッチング選択性と良好なエッチング形状制御性の両方を実現可能なことが確認された。

圧力の影響については、40 MHzの場合も100 MHzの場合も、高圧の方

が、ポリシリコン膜のエッチングレート及びエッチング選択比が良いことが確認された。しかし、ポリシリコン膜のエッチング形状制御性の観点から、低圧の方、具体的には13.3 Pa以下、が好ましいことが確認された。

次に、実際のエッチングガス(HBr)を用いて100 MHzの高周波電力を印加した場合の自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ とプラズマ密度を把握した(測定した)結果について説明する。

図16は、高周波電力の周波数を100 MHzとして、HBrガスでプラズマを形成した場合について、自己バイアス電圧の絶対値とプラズマ密度との関係を比較して示す図である。横軸が自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ であり、縦軸がプラズマ密度である。プラズマ密度は、マイクロ波干渉計により測定された。

このときのチャンバー内圧力は、2.7 Pa(20 Torr)であった。また、100 MHzの高周波電力のパワーを500~2000 Wの間で変化させることにより、プラズマ密度および自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ が変化された。更に、100 MHzの高周波電力のパワーが500 Wの場合について、13 MHzの第2高周波電力が0 W、200 W、600 Wで重畳された。

図16から分かるように、各周波数とも、印加する高周波パワーが大きくなるほど、プラズマ密度 N_e および自己バイアス電圧の絶対値 $|V_{dc}|$ はともに大きくなる。

図16に示すように、実際のエッチングガスのプラズマでは、Arガスのプラズマと比較して(図6参照)、若干プラズマ密度が低くなる傾向にある。また、より低い周波数の第2高周波電力(13 MHz)が重畳されて、そのパワーが増大されると、自己バイアス電圧が高くなって行く傾向にある。

また、図16から分かるように、第2高周波電力が重畳されない場合において、プラズマ密度を上昇させても $|V_{dc}|$ はあまり上昇せず、ほぼ100 V以下に抑えられた。すなわち、高プラズマ密度および低自己バイアス電圧が実現可能であることが見出された。

図17は、第2高周波電力が重畳されない場合についての、高周波電力の高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、および、高周波電力の高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチン

グレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係について示す図である。

高周波電力パワーが大きくなるとポリシリコン膜のエッチングレートが大きくなるが選択比が小さくなるので約1500W(約4.77W/cm²)以下が好ましい。一方、パワーが小さくなるとエッチングレートが小さくなるが選択比が大きくなるので、約500W(約1.5W/cm²)以上が好ましい。

図16及び図17から、100MHzという高い周波数により、必要なポリシリコンのエッチングレートが得られ、かつ、ポリシリコン膜を無機系材料膜に対して高エッチング選択比でエッチングすることが可能であることが確認できた。

また、図16及び図17から理解されるように、低圧下において、従来よりも高プラズマ密度および低自己バイアス電圧にしてポリシリコン膜をより高選択比かつ必要なエッチングレートでエッチングするためには、プラズマ密度が $5 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であって、かつ、電極の自己バイアス電圧が200V以下であることが好ましいと考えられる。

なお、処理ガスとしては、HBrガスを含むガスの他に、Cl₂ガスを含むガスも用いられ得るが、後者の場合も、好適なプラズマ密度の範囲は上記と同様であることが確認された。

一方、図18は、高周波電力の高周波電力パワーが500Wに固定されて、第2高周波電力の高周波電力パワーが重畳される場合についての、第2高周波電力の高周波電力パワーとポリシリコン膜のエッチングレートとの関係、および、第2高周波電力の高周波電力パワーとエッチング選択比に相当するポリシリコン膜のエッチングレート/SiO₂膜のエッチングレートの比との関係について示す図である。

図16及び図18から分かるように、13MHzの第2高周波電力が重畳され、そのパワーが増大されていくと、エッチングレートが上昇する一方で、電極の自己バイアス電圧をも増大する。自己バイアス電圧が大きくなると、エッチング選択比が低下する傾向にあり、自己バイアス電圧200V、つまり第2高周波電力パワー約200W(約0.64W/cm²)までは、エッチング選択比を許容範囲に維持することが可能である。

したがって、重畳される第2高周波電力のパワー(バイアスパワー)が増加さ

れていくことにより、エッチング選択比10以上を維持しつつエッチングレートを高めることができる。

以上の試験では、電極間ギャップが27mmであったが、上述したように、電極間距離が小さすぎると、被処理基板であるウエハWの表面の圧力分布（中心部と周辺部との圧力差）が大きくなって、エッチング均一性の低下等の問題を生じ得る。従って、実際の電極間距離は、35～50mmがより好ましい。このことを図19を参照して説明する。

図19は、プラズマガスとしてArガスを用いた場合のArガス流量とウエハ中心部とウエハ周辺部の圧力差 ΔP との関係を電極間ギャップ25mmの場合と40mmの場合とで比較して示す図である。図19に示すように、ギャップが40mmのほうが25mmよりも圧力差 ΔP が小さい。また、ギャップ25mmの場合には、Arガス流量の上昇にともなって圧力差 ΔP が急激に大きくなる傾向にあり、ガス流量が0.3L/min程度以上でエッチング均一性の低下等の問題の生じない許容最大圧力差 ΔP である0.27Pa(2mTorr)を超えてしまう。これに対し、ギャップ40mmの場合には、ガス流量によらず、圧力差が0.27Pa(2mTorr)より小さい。従って、電極間ギャップはおよそ35mm以上であれば、ガス流量によらずエッチング均一性の低下等の問題の生じない許容最大圧力差を保つことができると予想される。

なお、本発明は上記実施の形態に限定されることなく種々変更可能である。例えば、上記実施形態では、シリコン膜としてポリシリコン膜が用いられた場合について示したが、これに限らず、単結晶シリコン膜や、アモルファスシリコン膜等の他のシリコン膜が用いられてもよい。

また、上記実施形態では、磁場形成手段として永久磁石からなる複数のセグメント磁石がチャンバーの周囲にリング状に配置されてなるマルチポール状態のリング磁石が用いられたが、処理空間の周囲に磁場を形成してプラズマを閉じこめることができれば、この態様に限定されるものではない。また、このようなプラズマ閉じこめ用の周辺磁場は、必ずしも必要ではない。つまり、磁場が存在しない状態でエッチングを行ってもよい。また、処理空間に水平磁場を印加して直交電磁界中でプラズマエッチングを行うプラズマエッチング処理にも本発明は適用

可能である。

さらに、上記実施形態では下部電極にプラズマ形成用の高周波電力が印加されているが、これに限らず、上部電極に印加されてもよい。さらにまた、被処理基板の層構造は、上記実施形態の図3または図4に示されるものに限定されない。更には、被処理基板として半導体ウエハを用いた場合について示したが、これに限らず、他の被処理基板におけるポリシリコン膜のエッチングにも適用することができる。

請求の範囲

1. チャンバー内に一對の電極を対向して配置し、両電極の間にシリコン膜と無機材料膜とを隣接して有する被処理基板が配置されるように、一方の電極によって当該被処理基板を支持させる配置工程と、

少なくとも一方の電極に高周波電力を印加して前記一對の電極間に高周波電界を形成するとともに、チャンバー内に処理ガスを供給し、前記電界により処理ガスのプラズマを形成し、該プラズマにより前記被処理基板の前記シリコン膜をプラズマエッチングするエッチング工程と、

を備え、

前記エッチング工程において、前記少なくとも一方の電極に印加する高周波電力の周波数が、 $50 \sim 150 \text{ MHz}$ であることを特徴とするプラズマエッチング方法。

2. 前記エッチング工程において、前記少なくとも一方の電極に印加する高周波電力の周波数は、 100 MHz であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

3. 前記エッチング工程において、前記高周波電力のパワー密度が、 $0.15 \sim 5 \text{ W/cm}^2$ であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

4. 前記エッチング工程において、前記チャンバー内のプラズマ密度が、 $5 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

5. 前記エッチング工程において、前記チャンバー内の圧力が、 13.3 Pa 以下であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

6. 前記無機系材料膜は、シリコン酸化物、シリコン窒化物、シリコン酸窒化物、及び、シリコン炭化物の少なくとも一つからなることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

7. 前記エッチング工程において、前記被処理基板を支持する電極に前記高周波電力が印加されることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

8. 前記エッチング工程において、前記被処理基板を支持する電極に前記高周波電力に重畳させて3.2~13.56MHzの第2高周波電力が印加されることを特徴とする請求項7に記載のプラズマエッチング方法。

9. 前記第2高周波電力の周波数は、13.56MHzであることを特徴とする請求項8に記載のプラズマエッチング方法。

10. 前記第2高周波電力のパワー密度が、 0.64 W/cm^2 以下であることを特徴とする請求項9に記載のプラズマエッチング方法。

11. 前記エッチング工程において、前記被処理基板を支持する電極の自己バイアス電圧が200V以下であることを特徴とする請求項8に記載のプラズマエッチング方法。

12. 前記一对の電極の電極間距離は、50mm未満であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

13. 前記エッチング工程において、前記一对の電極間のプラズマ領域の周囲に磁場が形成されることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

14. 前記一对の電極間のプラズマ領域の周囲に形成される磁場の強度は、 $0.03 \sim 0.045$ T ($300 \sim 450$ Gauss) であることを特徴とする請求項13に記載のプラズマエッチング方法。

15. 前記一对の電極間のプラズマ領域の周囲に磁場が形成される際において、前記被処理基板の周囲に設けられたフォーカスリング上の磁場強度が 0.001 T (10 Gauss) 以上であり、前記被処理基板上の磁場強度が 0.001 T 以下であることを特徴とする請求項14に記載のプラズマエッチング方法。

16. 前記シリコン膜は、ポリシリコンで構成されていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

17. チャンバー内に一对の電極を対向して配置し、両電極の間にシリコン膜と無機材料膜とを隣接して有する被処理基板が配置されるように、一方の電極によって当該被処理基板を支持させる配置工程と、

少なくとも一方の電極に高周波電力を印加して前記一对の電極間に高周波電界を形成するとともに、チャンバー内に処理ガスを供給し、前記電界により処理ガスのプラズマを形成し、該プラズマにより前記被処理基板の前記シリコン膜をプラズマエッチングするエッチング工程と、

を備え、

前記エッチング工程において、処理ガスはHBrガス及びCl₂ガスのいずれか1つを含み、前記チャンバー内のプラズマ密度が $5 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10}$ cm⁻³ であって、かつ、電極の自己バイアス電圧が 200 V 以下であることを特徴とするプラズマエッチング方法。

18. チャンバー内に一对の電極を対向して配置し、両電極の間にシリコン膜と無機材料膜とを隣接して有する被処理基板が配置されるように、一方の電極

によって当該被処理基板を支持させる配置工程と、

少なくとも一方の電極に高周波電力を印加して前記一对の電極間に高周波電界を形成するとともに、チャンバー内にArガスを供給し、前記電界により処理ガスのプラズマを形成するプラズマ化工程と、
を備え、

前記プラズマ化工程において、前記チャンバー内のプラズマ密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上であって、かつ、電極の自己バイアス電圧が100V以下であることを確認する工程が実施されることを特徴とするプラズマエッチング条件の確認方法。

19. シリコン膜と無機系材料膜とを隣接して有する被処理基板を収容するチャンバーと、

前記チャンバー内に設けられ、その一方が前記被処理基板を支持する一对の電極と、

前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、

前記チャンバー内を排気する排気系と、

前記電極のうち少なくとも一方にプラズマ形成用の高周波電力を供給する高周波電源と

を備え、

前記高周波電源から発生される高周波電力の周波数が、50～150MHzである

ことを特徴とするプラズマエッチング装置。

20. 前記高周波電源から発生される高周波電力の周波数は、100MHzである

ことを特徴とする請求項19に記載のプラズマエッチング装置。

21. 前記高周波電力のパワー密度が、 $0.15 \sim 5 \text{ W/cm}^2$ であることを特徴とする請求項19に記載のプラズマエッチング装置。

22. 前記チャンバー内の圧力が、13.3 Pa以下であることを特徴とする請求項19に記載のプラズマエッチング装置。
23. 前記被処理基板を支持する電極に、前記高周波電力が印加されることを特徴とする請求項19に記載のプラズマエッチング装置。
24. 前記被処理基板を支持する電極に前記高周波電力に重畳させて3.2～13.56 MHzの第2高周波電力を印加する第2高周波電源を更に備えたことを特徴とする請求項23に記載のプラズマエッチング装置。
25. 前記第2高周波電力の周波数は、13.56 MHzであることを特徴とする請求項24に記載のプラズマエッチング装置。
26. 前記第2高周波電力のパワー密度が、 0.64 W/cm^2 以下であることを特徴とする請求項25に記載のプラズマエッチング装置。
27. 前記一对の電極の電極間距離は、50 mm未満であることを特徴とする請求項19に記載のプラズマエッチング装置。
28. 前記一对の電極間のプラズマ領域の周囲に磁場を形成する磁場形成手段を更に備えたことを特徴とする請求項19に記載のプラズマエッチング装置。
29. 前記磁場形成手段が前記一对の電極間のプラズマ領域の周囲に形成する磁場の強度は、 $0.03 \sim 0.045 \text{ T}$ ($300 \sim 450 \text{ Gauss}$)であることを特徴とする請求項28に記載のプラズマエッチング装置。
30. 前記被処理基板の周囲にフォーカスリングが設けられ、

前記磁場形成手段が前記一対の電極間のプラズマ領域の周囲に磁場を形成する際において、前記フォーカスリング上の磁場強度が 0.001 T (10 Gauss) 以上であり、前記被処理基板上の磁場強度が 0.001 T 以下であることを特徴とする請求項29に記載のプラズマエッチング装置。

31. シリコン膜と無機系材料膜とを隣接して有する被処理基板を収容するチャンバーと、

前記チャンバー内に設けられ、その一方が前記被処理基板を支持する一対の電極と、

前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、

前記チャンバー内を排気する排気系と、

前記電極のうち少なくとも一方にプラズマ形成用の高周波電力を供給する高周波電源とを備え、

HBrガス及び Cl_2 ガスのいずれか1つを含むガスを処理ガスとして用いた場合に、前記チャンバー内のプラズマ密度が $5 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ となつて、かつ、電極の自己バイアス電圧が 200 V 以下となることを特徴とするプラズマエッチング装置。

32. シリコン膜と無機系材料膜とを隣接して有する被処理基板を収容するチャンバーと、

前記チャンバー内に設けられ、その一方が前記被処理基板を支持する一対の電極と、

前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、

前記チャンバー内を排気する排気系と、

前記電極のうち少なくとも一方にプラズマ形成用の高周波電力を供給する高周波電源とを備え、

Arガスを処理ガスとして用いた場合に、前記チャンバー内のプラズマ密度が

$1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上となって、かつ、電極の自己バイアス電圧が100V以下となることを特徴とするプラズマエッチング装置。

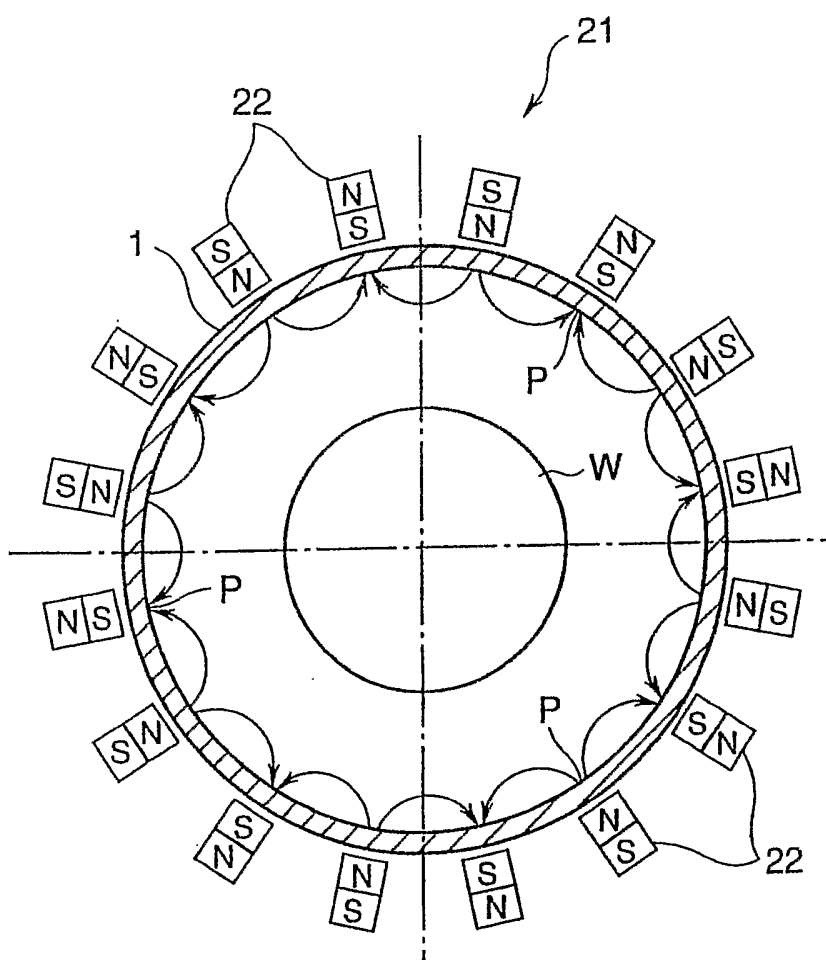


FIG. 2

3/14

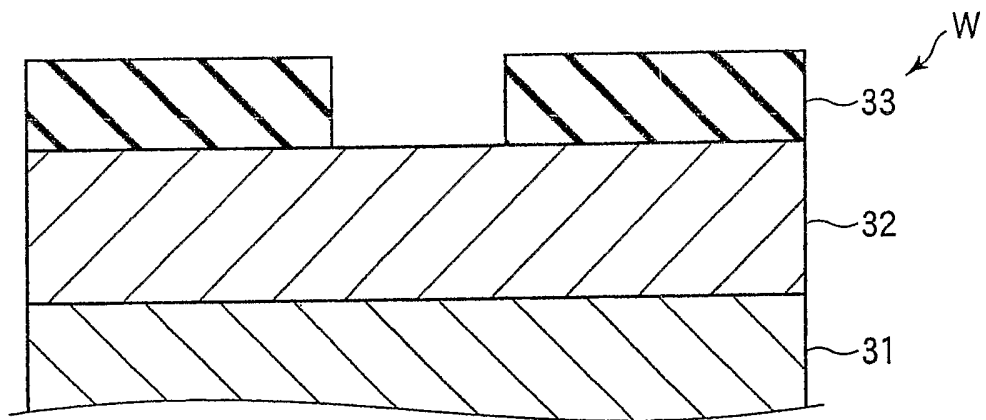


FIG. 3

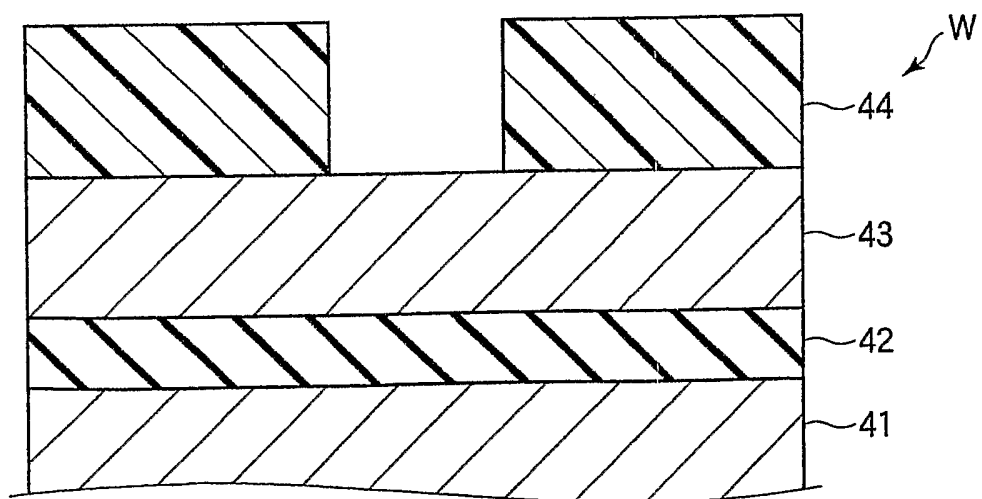


FIG. 4

4/14

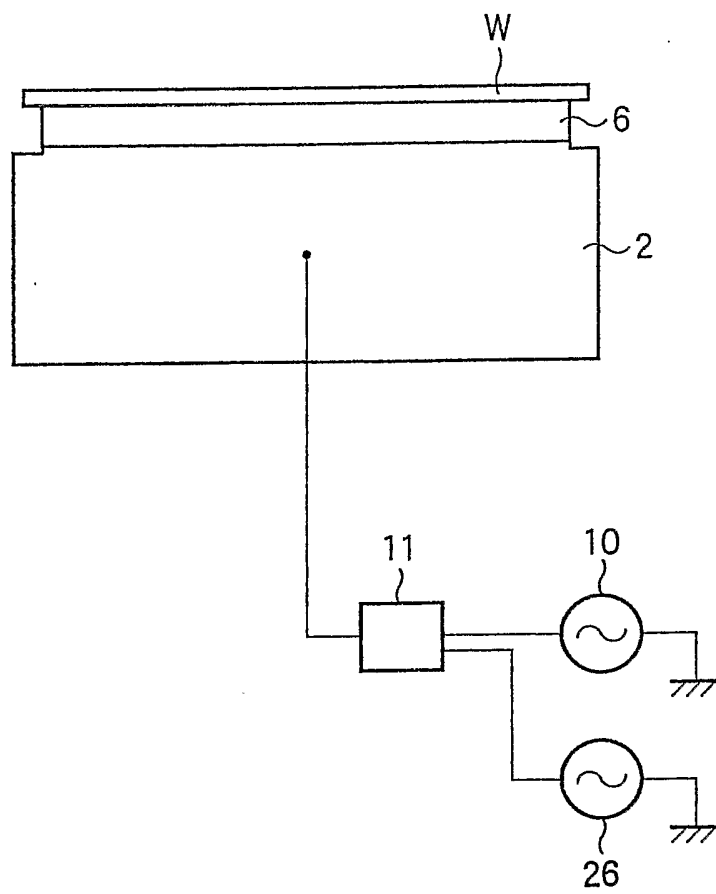


FIG. 5

5/14

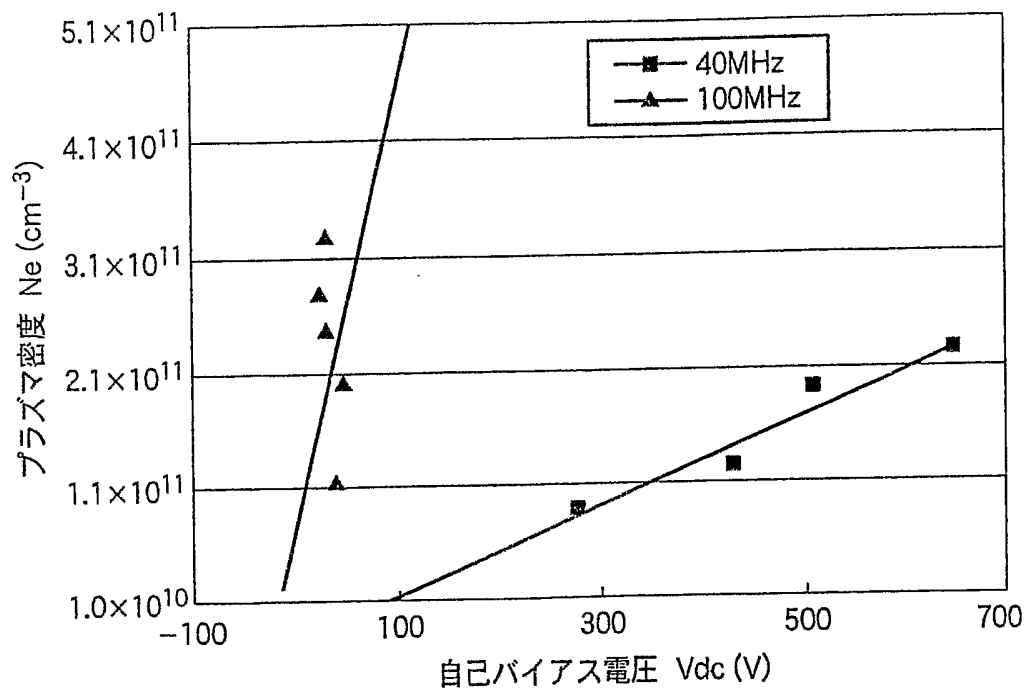


FIG. 6

6/14

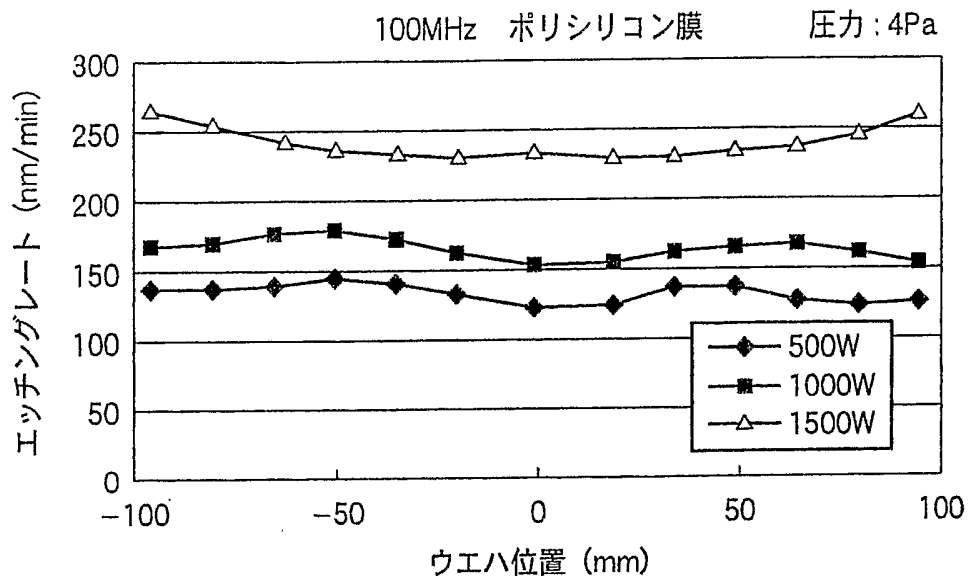


FIG. 7A

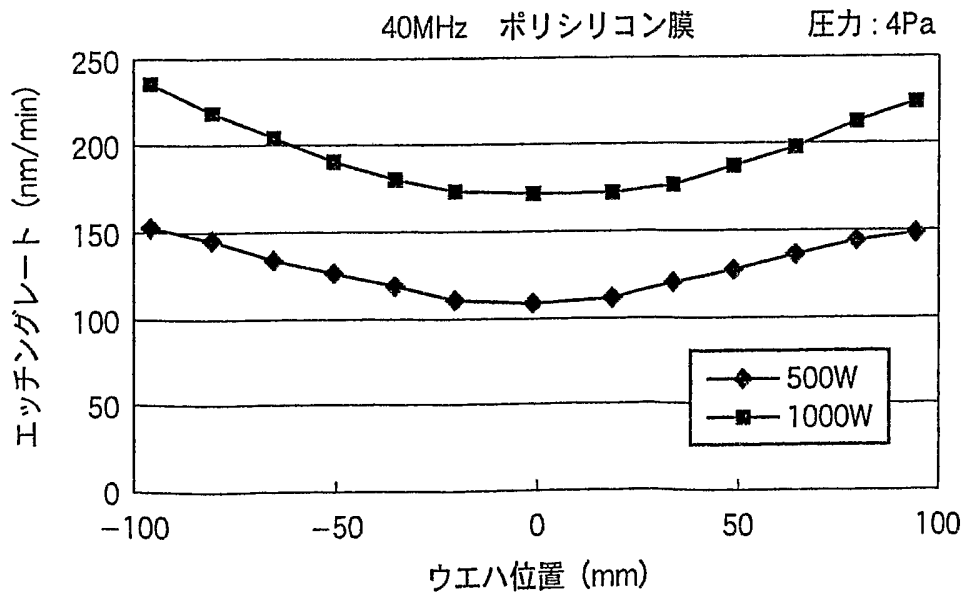


FIG. 7B

7/14

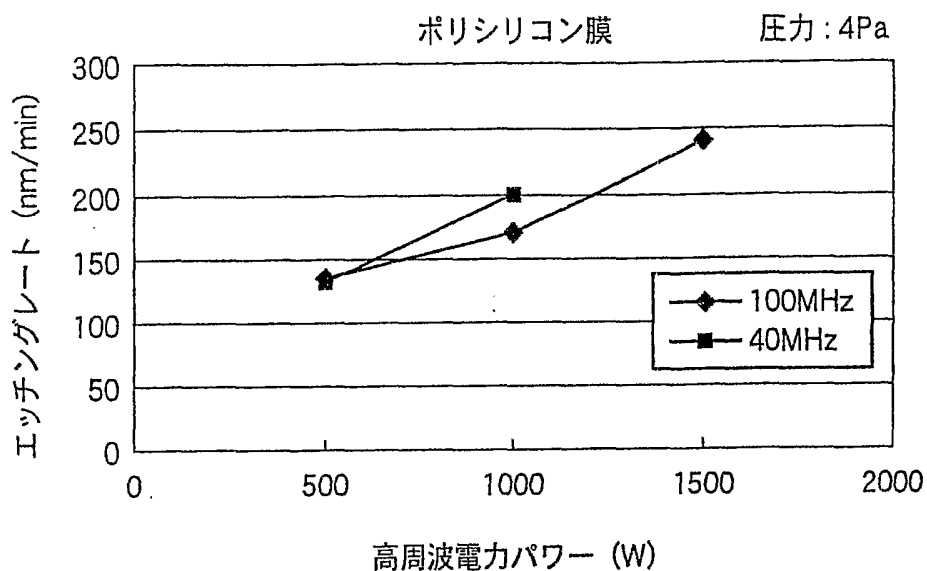


FIG. 8

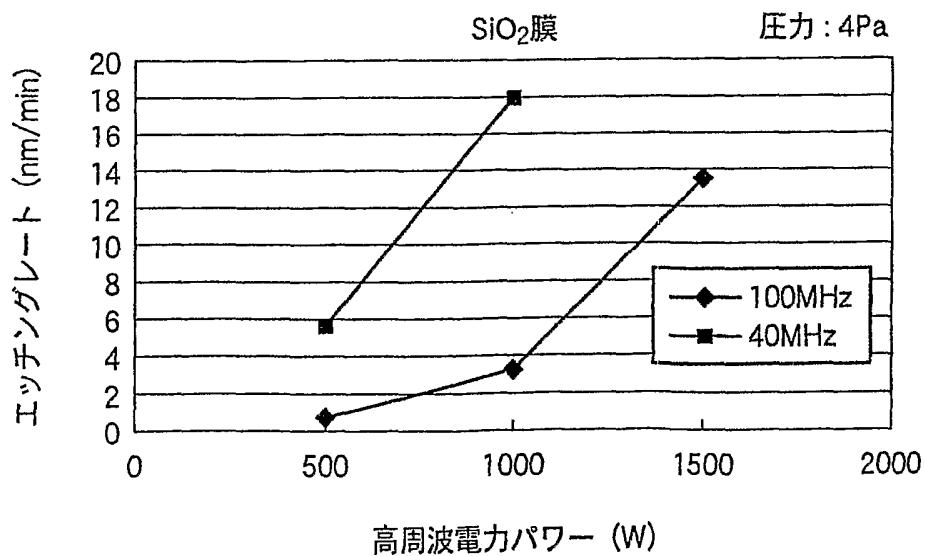


FIG. 9

8/14

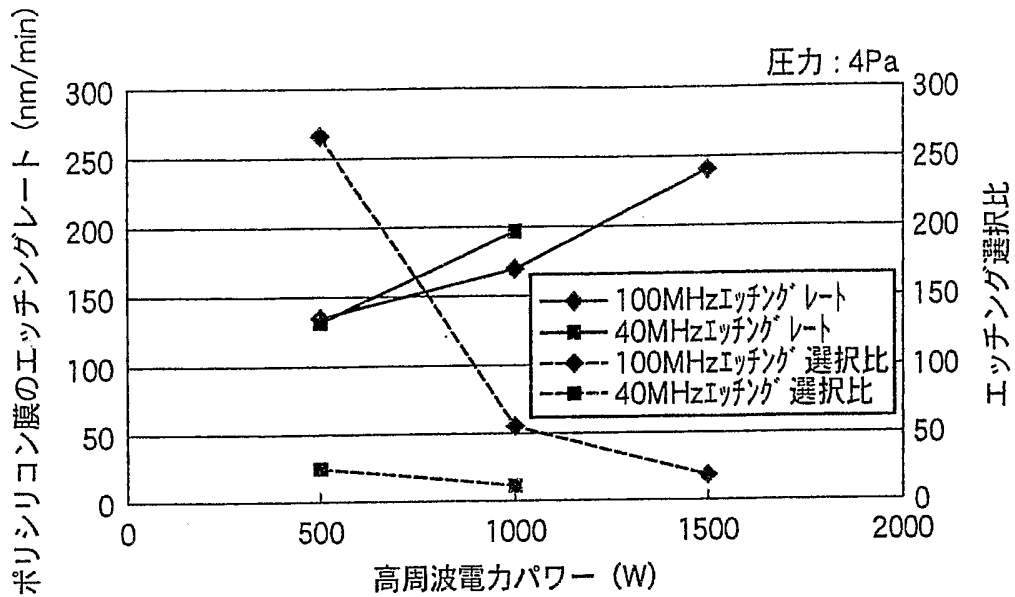


FIG. 10

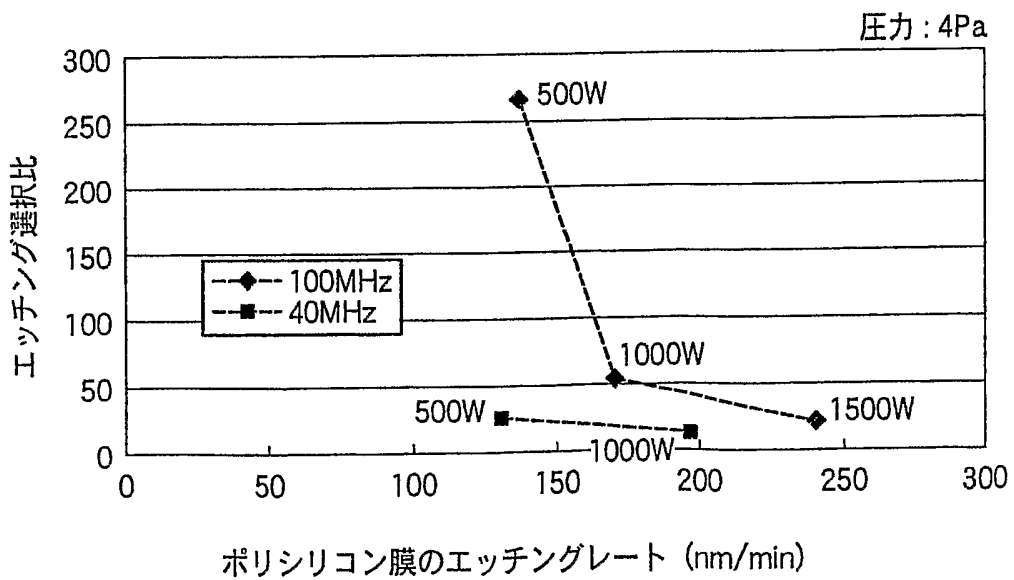


FIG. 11

9/14

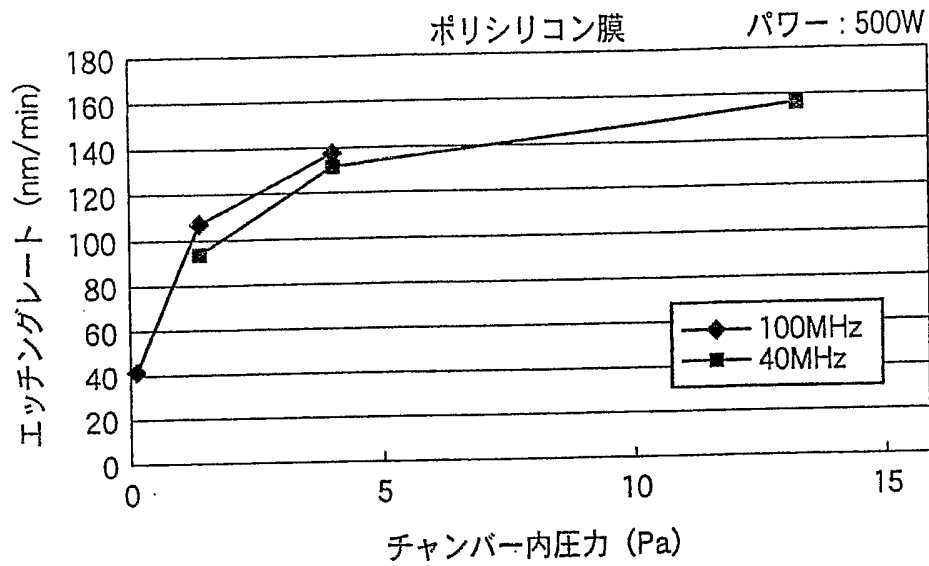


FIG. 12A

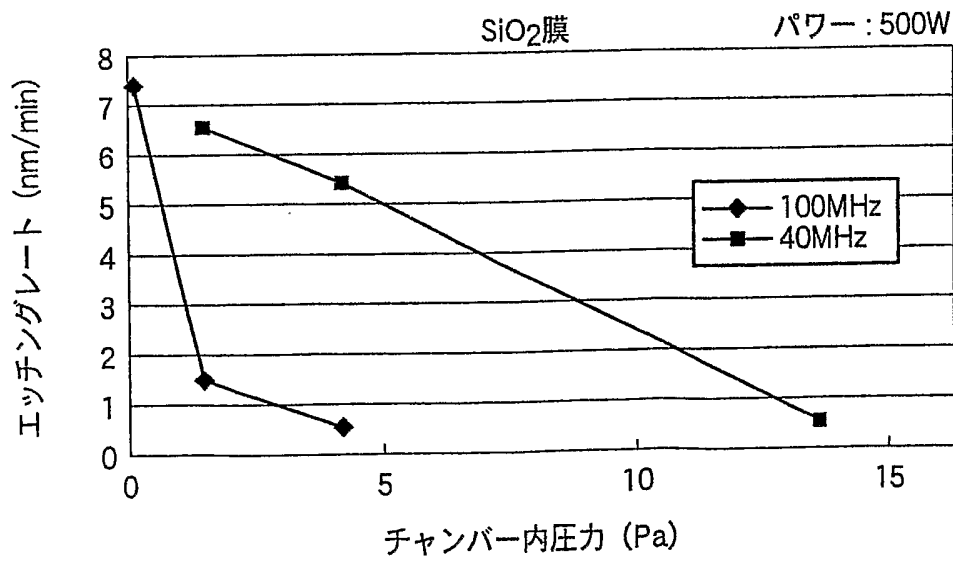


FIG. 12B

10/14

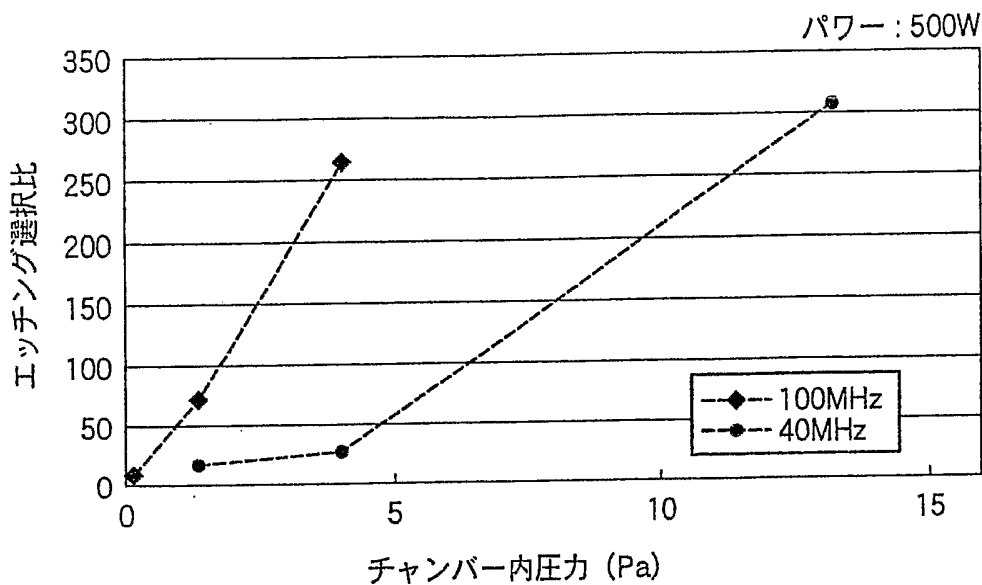


FIG. 13

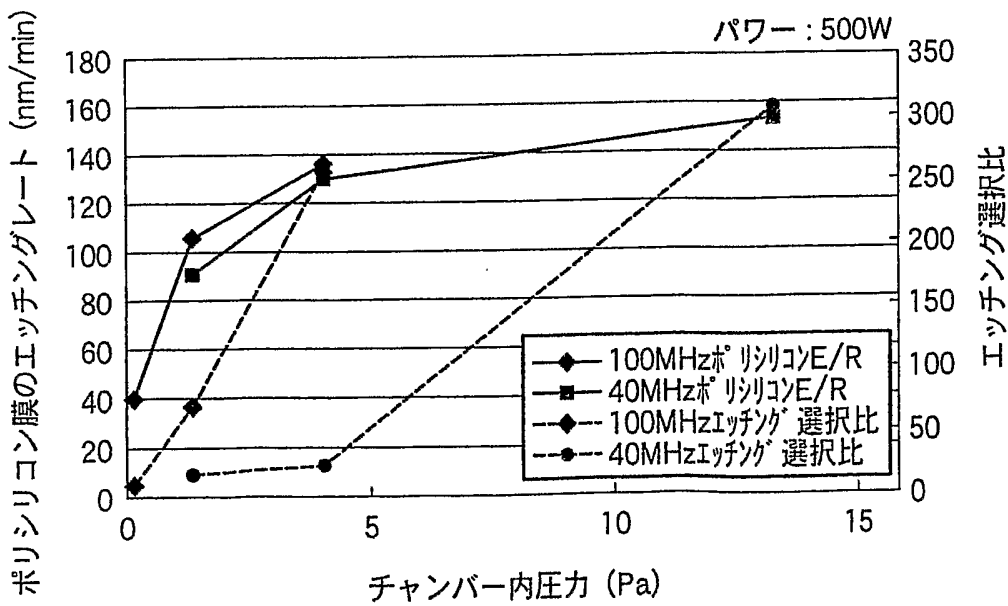


FIG. 14

11/14

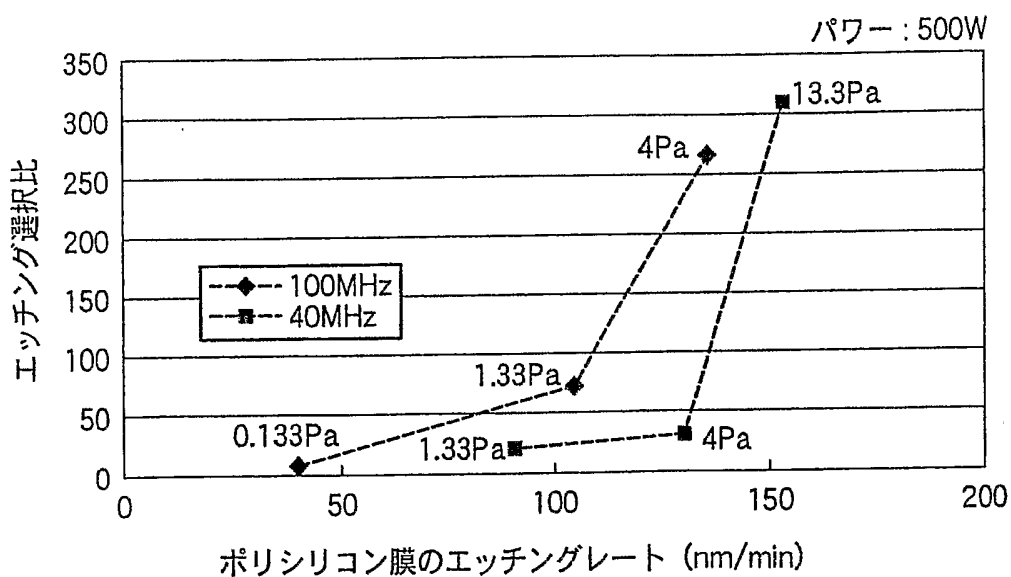


FIG. 15

12/14

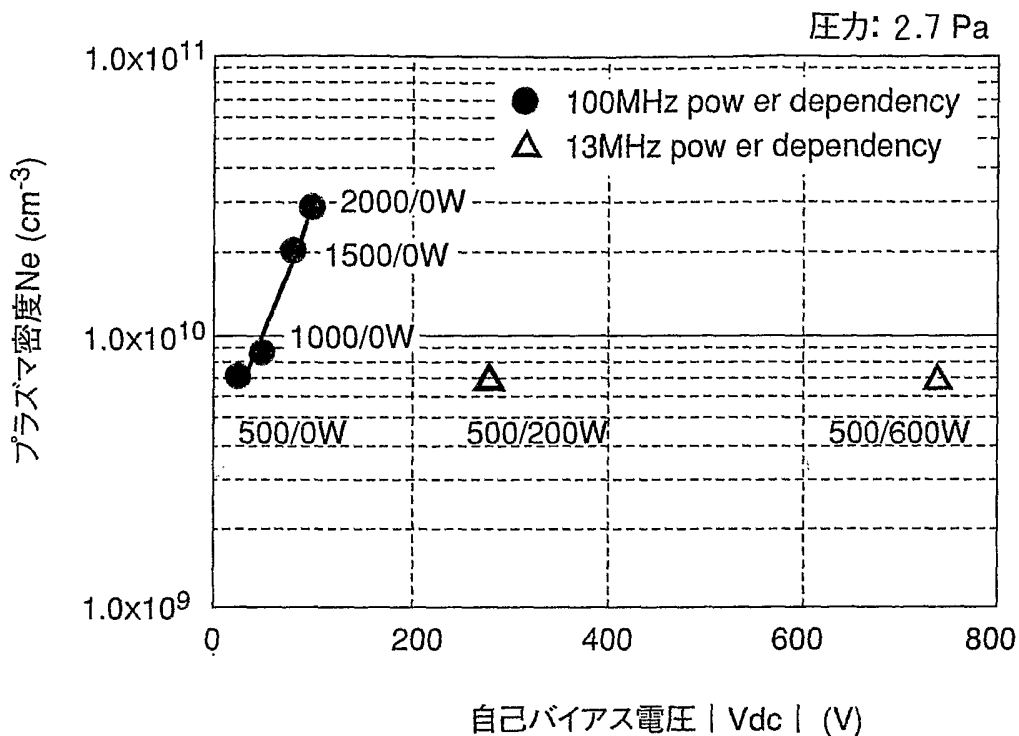


FIG. 16

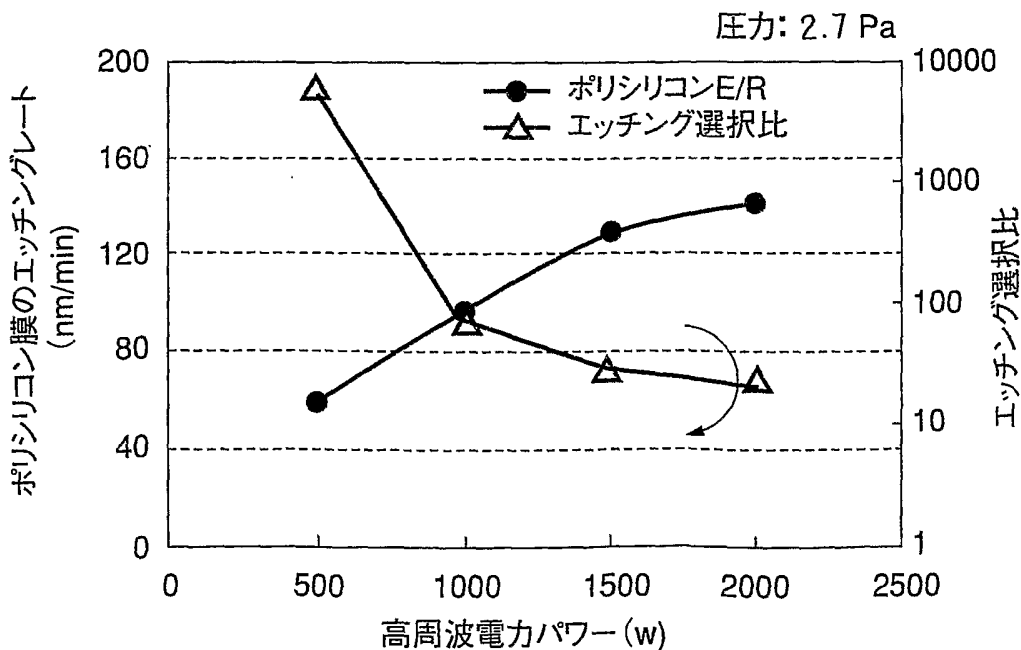


FIG. 17

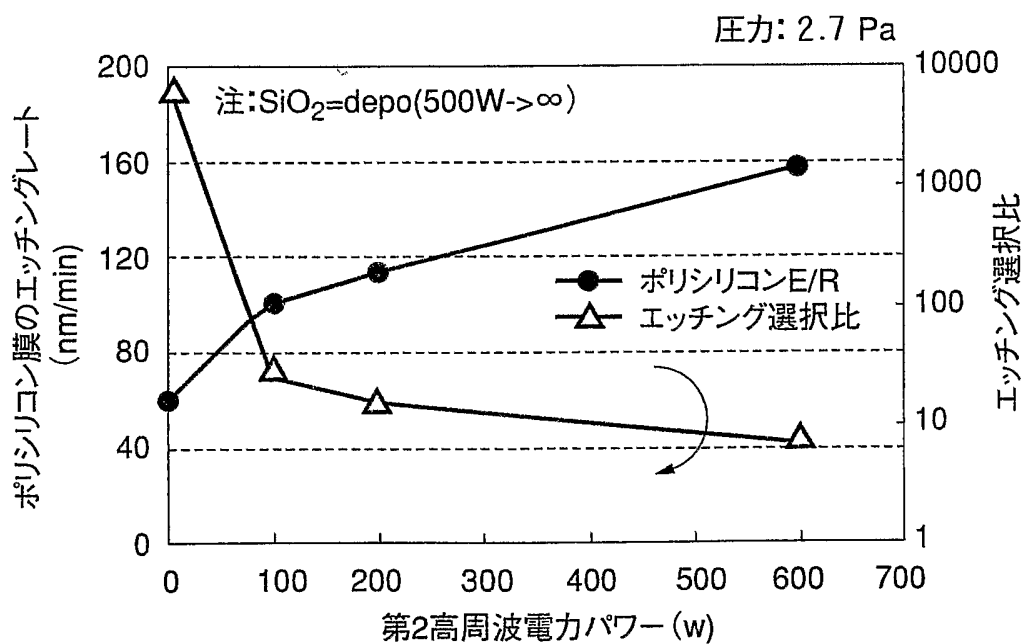


FIG. 18

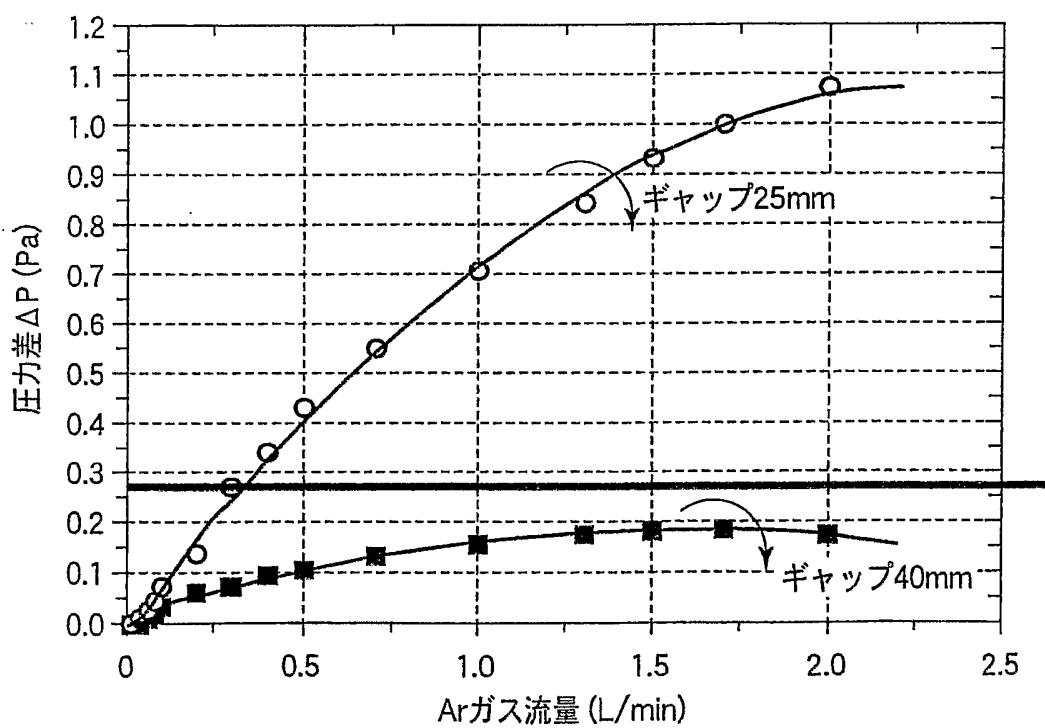


FIG. 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04410

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/3065

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)

Int.Cl⁷ H01L21/3065

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

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.
Y	JP 08-293481 A (Hitachi, Ltd.), 05 November, 1996 (05.11.96), Par. Nos. [0012] to [0062] (Family: none)	1-7, 11, 12, 16-23, 27, 31, 32
Y	US 5259922 A (Matsushita Electric Industrial Co.), 09 November, 1993 (09.11.93), Column 4, line 34 to column 14, line 20 & JP 05-6872 A	1-7, 11, 12, 16-23, 27, 31, 32
Y	JP 2002-93776 A (Tokyo Electron Ltd.), 29 March, 2002 (29.03.02), Par. Nos. [0008] to [0056] (Family: none)	8, 13, 24, 28

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 27 June, 2003 (27.06.03)	Date of mailing of the international search report 15 July, 2003 (15.07.03)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04410

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
<u>A</u> , Y	US 5444207 A (Kabushiki Kaisha Toshiba), 22 August, 1995 (22.08.95), Column 3, line 44 to column 42, line 69 & JP 06-53177 A	<u>9, 10, 25, 26,</u> <u>14, 15, 29, 30</u>

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl.⁷ H01L21/3065

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 (IPC))
Int. Cl.⁷ H01L21/3065

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 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003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 請求の範囲の番号
Y	JP 08-293481 A (株式会社日立製作所) 1996. 11. 05, 第12~62段落 (ファミリーなし)	1-7, 11, 12, 16 -23, 27, 31, 32
Y	US 5259922 A (Matsushita Electric Industrial Co.,) 1993. 11. 09, 第4欄第34行~第14欄第20行 & JP 05-6872 A	1-7, 11, 12, 16 -23, 27, 31, 32
Y	JP 2002-93776 A (東京エレクトロン株式会社) 2002. 03. 29, 第8~56段落 (ファミリーなし)	8, 13, 24, 28,
<u>A</u> , Y	US 5444207 A (Kabushiki kaisha Toshiba) 1995. 08. 22, 第3欄第44行~第42欄第69行 & JP 06-53177 A	9, 10, 25, 26, 14, 15, 29, 30

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
27.06.03

国際調査報告の発送日
15.07.03

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/JP)
 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)
 今井 淳一 印
 4R 9055
 電話番号 03-3581-1101 内線 6363