

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009 年 7 月 30 日 (30.07.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/093760 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/316 (2006.01) H01L 27/088 (2006.01)
H01L 21/31 (2006.01) H01L 27/115 (2006.01)
H01L 21/76 (2006.01) H01L 29/78 (2006.01)
H01L 21/8234 (2006.01) H01L 29/788 (2006.01)
H01L 21/8247 (2006.01) H01L 29/792 (2006.01)
H01L 27/08 (2006.01)

(30) 優先権データ:

特願2008-013564 2008 年 1 月 24 日 (24.01.2008) 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]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2009/051517

(72) 発明者; および

(22) 国際出願日:

2009 年 1 月 23 日 (23.01.2009)

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 中村秀雄 (NAKAMURA, Hideo) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-8 東京エレクトロン A T 株式会社内 Hyogo (JP). 壁義郎 (KABE, Yoshiro) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-8 東京エレクトロン A T 株式会社内 Hyogo (JP). 北川淳一 (KITAGAWA, Junichi) [JP/JP]; 〒6600891 兵

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

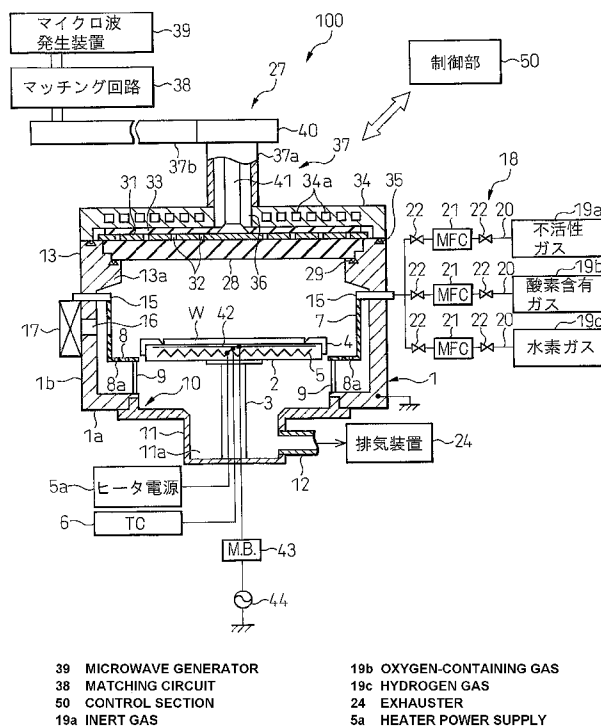
日本語

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR FORMING SILICON OXIDE FILM, STORAGE MEDIUM, AND PLASMA PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: シリコン酸化膜の形成方法、記憶媒体、および、プラズマ処理装置

FIG.1



(57) Abstract: A silicon oxide film is formed on the sidewall as thin as possible as compared with the silicon oxide film formed on the bottom in oxidation of a silicon having an irregular shape. A plasma is generated under such conditions that the ratio of oxygen in a processing gas is within the range of 0.1-50% and the processing pressure is within the range of 1.3-667 Pa by using a plasma processing apparatus (100) which introduces a microwave into a chamber (1) by means of a planar antenna board (31) having a plurality of microwave radiation holes (32), while applying a high-frequency power to a stage (2). The ratio of the thickness of a silicon oxide film formed on the sidewall surface of a silicon having an irregular shape formed on a wafer (W) and the thickness of a silicon oxide film formed on the bottom wall surface of a recess (film thickness of sidewall surface/ film thickness of bottom wall surface) is set within the range of 0.6 or less by this plasma.

(57) 要約: 凹凸形状を有するシリコンの酸化処理において、側壁に形成されるシリコン酸化膜の膜厚を底部に比べて極力薄く形成する。複数のマイクロ波放射孔 32 を有する平面アンテナ板 31 によりチャンバ 1 内にマイクロ波を導入するプラズマ処理装置 100 を用い、載置台 2 に高周波電力を印加しながら、処理ガス中の酸素の割合が 0.1% 以上 50% 以下の範囲内であり、かつ処理圧力が 1.3 Pa 異常 667 Pa 以下の範囲内の条件でプラズ

マを生成させる。このプラズマにより、ウエハ W 上に形成された凹凸形状のシリコンの側壁面に形成されるシリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面に形成されるシリコン酸化膜の膜厚との

[続葉有]



兵庫県尼崎市扶桑町1-8東京エレクトロンＡＴ株式会社
社内 Hyogo (JP).

NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(74) 代理人: 青木篤, 外(AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423
東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森ビ
ル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

明 細 書

シリコン酸化膜の形成方法、記憶媒体、および、プラズマ処理装置

技術分野

本発明は、シリコン酸化膜の形成方法に関し、詳細には、例えば、半導体装置の製造過程でシリコンに形成されたトレンチ内を酸化したり、トランジスタのゲート電極をエッチングにより形成した後でライン&スペースの凹凸パターンに酸化処理を行ったりする場合に適用可能なシリコン酸化膜の形成方法に関する。

背景技術

シリコン基板上に形成される素子を電氣的に分離する技術として、シャロートレンチアイソレーション (Shallow Trench Isolation; STI) が知られている。STIでは、シリコン窒化膜などをマスクとしてシリコンをエッチングしてトレンチを形成し、その中に SiO_2 などの絶縁膜を埋め込んだ後、化学機械研磨 (CMP; Chemical Mechanical Polishing) 処理によりマスク (シリコン窒化膜) をストッパーとして平坦化する工程が実施される。STIにおいては、エッチングによって形成されたトレンチの内面を酸化処理してシリコン酸化膜を形成する工程が行われている。この酸化処理工程は、シリコン酸化膜の形成によってトレンチの形状を非鋭角的に加工することにより、リーク電流の発生などを防止することを目的としている。

また、例えばトランジスタのゲート電極をエッチングによって形成した後に、エッチングダメージを修復する目的で、ライン&ス

ースの凹凸パターンに上記と同様の方法で酸化処理を行うことも行われている。

上記トレンチやライン&スペースなどの凹凸形状を有するシリコン表面にシリコン酸化膜を形成する方法としては、酸化炉やRTP (Rapid Thermal Process) 装置を用いる熱酸化処理と、プラズマ処理装置を用いるプラズマ酸化処理に大別される。

例えば、熱酸化処理の一つである酸化炉によるウェット酸化処理では、800℃超の温度にシリコン基板を加熱し、WVG (Water Vapor Generator) 装置を用いて酸化雰囲気曝すことによりシリコン表面を酸化してシリコン酸化膜を形成する。

熱酸化処理は、良質なシリコン酸化膜を形成できる方法であると考えられている。しかし、熱酸化処理は、800℃超の高温による処理が必要であることから、サーマルバジェットが増大し、熱応力によってシリコン基板に歪みなどを生じさせてしまうという問題があった。

一方、プラズマ酸化処理としては、アルゴンガスと酸素ガスを含み、酸素の流量比率が約1%の処理ガスを用い、133.3Paのチャンバー内圧力で形成されたマイクロ波励起プラズマをシリコン表面に作用させてプラズマ酸化処理を行なう方法が提案されている(例えば、特許文献1)。この特許文献1の方法では、処理温度が400℃前後と比較的低温でプラズマ酸化処理が行われるため、熱酸化処理におけるサーマルバジェットの増大や基板の歪みなどの問題を回避することができる。また、処理圧力133.3Pa程度、処理ガス中のO₂流量1%程度の条件(説明の便宜上、「低圧力、低酸素濃度条件」という)でプラズマ酸化処理を行なうことによっ

て、高い酸化レートが得られるとともに、凹凸を有するシリコン表面を酸化した場合に、凹凸表面全体に均一な膜厚でシリコン酸化膜を形成できるとともに、凸部上端のシリコンのコーナーに丸み形状を導入し、この部位からの電界集中によるリーク電流を抑制できるという長所を有している。

特許文献 1 WO 2004 / 008519 号

発明の開示

発明が解決しようとする課題

近年では、半導体デバイスの微細化が益々進んでおり、パターンの寸法精度を極力高める努力が進められている。このため、STIにおけるトレンチ内面の酸化処理や、ゲートエッチング後のダメージ修復目的の酸化処理など凹凸形状を有するシリコン表面の酸化処理において、凹凸の側壁部分で横方向の酸化膜形成が進むと、デバイスを製造する領域（例えばトランジスタのゲート電極、STIにおける素子形成領域など）が酸化膜によって狭められてしまい、デバイスの微細設計が困難になる。従って、凹凸の側壁部分と底部で酸化処理の選択性を高め、側壁に形成される酸化膜を薄く形成することにより、デバイスを製造する領域の寸法精度を確保することが望まれている。

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、凹凸形状を有するシリコンの酸化処理において、側壁に形成されるシリコン酸化膜の膜厚を底部に比べて薄く形成することが可能なシリコン酸化膜の形成方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

本発明のシリコン酸化膜の形成方法は、プラズマ処理装置の処理室内で、凹凸形状を有する被処理体の表面に露出したシリコン部分に処理ガスのプラズマを作用させて酸化処理を施し、シリコン酸化膜を形成するシリコン酸化膜の形成方法であって、前記処理室内で被処理体を載置する載置台に被処理体の面積当たり 0.2 W/cm^2 以上 2.3 W/cm^2 以下の範囲内の出力で高周波電力を印加しながら、前記処理ガス中の酸素の割合が 0.1% 以上 50% 以下の範囲内であり、処理圧力が 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内の条件で前記プラズマを生成させることにより、前記凹凸形状の側壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕を 0.6 以下とするものである。

本発明のシリコン酸化膜の形成方法では、前記凹凸形状の側壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚と、前記凹部の底壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕が 0.01 以上 0.6 以下であり、前記処理ガス中の酸素の割合が 0.5% 以上 50% 以下の範囲内であり、かつ前記処理圧力が 6.7 Pa 以上 133 Pa 以下の範囲内である。

また、本発明のシリコン酸化膜の形成方法では、前記凹凸形状の側壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚と、前記凹部の底壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕が 0.01 以上 0.4 以下であり、前記処理ガス中の酸素の割合が 0.5% 以上 25% 以下の範囲内であり、かつ前記処理圧力が 20 Pa 以上 60 Pa 以下の範囲内が好ましい。

また、本発明のシリコン酸化膜の形成方法では、前記処理ガス中に水素を含有するものである。この場合、前記処理ガス中の水素と酸素の合計流量に対する水素流量の比率が 1% 以上 90% 以下の範

囲内が好ましい。

また、本発明のシリコン酸化膜の形成方法では、前記高周波電力の周波数は、 100 kHz 以上 60 MHz 以下の範囲内が好ましい。

また、本発明のシリコン酸化膜の形成方法では、処理温度が室温以上 600°C 以下の範囲内が好ましい。

また、本発明のシリコン酸化膜の形成方法において、前記プラズマは、前記処理ガスと、複数のスロットを有する平面アンテナにより前記処理室内に導入されるマイクロ波と、によって形成されるマイクロ波励起プラズマである。この場合、前記マイクロ波のパワー密度が、被処理体の面積あたり 0.255 W/cm^2 以上 2.55 W/cm^2 以下の範囲内が好ましい。

本発明の第2の観点のコンピュータ読み取り可能な記憶媒体は、コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたものである。このコンピュータ読み取り可能な記憶媒体において、前記制御プログラムは、実行時に、プラズマ処理装置の処理室内で、凹凸形状を有する被処理体の表面に露出したシリコン部分に対し、被処理体を載置する載置台に被処理体の面積当たり 0.2 W/cm^2 以上 2.3 W/cm^2 以下の範囲内の出力で高周波電力を印加しながら、処理ガス中の酸素の割合が 0.1% 以上 50% 以下の範囲内であり、かつ処理圧力が 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内である条件で生成させた処理ガスのプラズマを作用させることによって酸化処理を施し、前記凹凸形状の側壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕が 0.6 以下になるようにシリコン酸化膜を形成するシリコン酸化膜の形成方法が行われるようにコンピュータに前記プラズマ処理装置を制御させるものである。

本発明の第3の観点のプラズマ処理装置は、プラズマを用いて被処理体进行处理する上部が開口した処理室と、前記処理室の前記開口部を塞ぐ誘電体部材と、前記誘電体部材の外側に設けられ、前記処理室内に電磁波を導入するためのアンテナと、前記処理室内に原料ガスを供給するガス供給機構と、前記処理室内を減圧排気する排気機構と、前記処理室内で被処理体を載置する載置台と、前記載置台に接続された高周波電源と、前記処理室内で、凹凸形状を有する被処理体表面に露出したシリコン部分に処理ガスのプラズマによる酸化処理を施してシリコン酸化膜を形成するにあたり、前記載置台に被処理体の面積当たり 0.2 W/cm^2 以上 2.3 W/cm^2 以下の範囲内の出力で高周波電力を印加するとともに、前記ガス供給機構によって供給される前記処理ガス中の酸素の割合を 0.1% 以上 50% 以下の範囲内とし、かつ前記排気機構により処理圧力を 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内としながら、前記アンテナによって前記処理室内に電磁波を導入することにより前記プラズマを生成させて、前記凹凸形状の側壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚との比 [側壁面の膜厚/底壁面の膜厚] が 0.6 以下となるように制御する制御部と、を備えている。

発明の効果

本発明のシリコン酸化膜の形成方法では、被処理体を載置する載置台に被処理体の面積当たり 0.2 W/cm^2 以上 2.3 W/cm^2 以下の範囲内の出力で高周波電力を印加しながら、処理ガス中の酸素の割合を 0.1% 以上 50% 以下の範囲内とし、かつ処理圧力を 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内としてプラズマ酸化処理を行い、凹凸形状の側壁面と底壁面の膜厚の比 [側壁面の膜厚/底壁面

の膜厚]を0.6以下とする。このように極端に大きな選択比で異方性の高い酸化処理を行うことで、例えばSTIのトレンチ内のシリコン酸化膜形成やトランジスタのゲート電極エッチング後のダメージ修復のためのシリコン酸化膜形成において、凹凸形状の側壁面のシリコン酸化膜の膜厚を極力薄く形成しつつ、凹部の底壁面に十分な厚みでシリコン酸化膜を形成できる。従って、本発明のシリコン酸化膜の形成方法を各種デバイス作製過程で利用することにより、横方向の寸法ロスを極力抑え、デバイスを製造する領域の寸法精度を確保し、微細化への対応を図ることが可能になる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明のシリコン酸化膜の形成方法の実施に適したプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図である。

図2は、平面アンテナの構造を示す図面である。

図3は、制御部の構成を示す説明図である。

図4A－図4Iは、STIにおけるトレンチ内のシリコン酸化膜形成への適用例を示す説明図である。

図5A－図5Bは、トランジスタのゲート電極エッチング後のダメージ修復目的のシリコン酸化膜形成への適用例を示す説明図である。

図6A－図6Cは、プラズマ処理条件と酸化処理における等方性または異方性の関係を示す説明図である。

図7は、凹凸パターンが形成されたウエハの表面付近の断面構造を示す説明図である。

図8は、実施例1～3における処理ガス中の酸素の比率と側壁／底部の膜厚比との関係を示すグラフ図面である。

図9は、実施例2～4における処理圧力と側壁／底部の膜厚比と

の関係を示すグラフ図面である。

図 1 0 は、実施例 1 ～ 4 および比較例 1 における処理ガス中の酸素分圧と側壁／底部膜厚比との関係を示すグラフ図面である。

図 1 1 は、実施例 1 におけるプラズマ酸化処理時間と、平均膜厚およびウエハ面内均一性との関係を示すグラフ図面である。

図 1 2 は、実施例 2 におけるプラズマ酸化処理時間と、平均膜厚およびウエハ面内均一性との関係を示すグラフ図面である。

図 1 3 は、実施例 5 ～ 8 および比較例 2、3 における側壁／底部膜厚比と高周波バイアス電流の電流密度との関係を示すグラフ図面である。

図 1 4 は、実施例 8 におけるプラズマ酸化処理時間と、平均膜厚およびウエハ面内均一性との関係を示すグラフ図面である。

図 1 5 A ～ 1 5 D は、フラッシュメモリにおけるトレンチ内へのシリコン酸化膜形成への適用例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図 1 は、本発明の実施の形態にかかるシリコン酸化膜の形成方法に利用可能なプラズマ処理装置 1 0 0 の概略構成を模式的に示す断面図である。また、図 2 は、図 1 のプラズマ処理装置 1 0 0 の平面アンテナを示す平面図である。

プラズマ処理装置 1 0 0 は、複数のスロット状の孔を有する平面アンテナ、特に R L S A (R a d i a l L i n e S l o t A n t e n n a ; ラジアルラインスロットアンテナ) にて直接処理室内にマイクロ波を導入して処理室内でプラズマを発生させることにより、高密度かつ低電子温度のマイクロ波励起プラズマを発生させる得る R L S A マイクロ波プラズマ処理装置として構成されている。

プラズマ処理装置 100 では、 $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ のプラズマ密度で、かつ $0.7 \sim 2 \text{ eV}$ の低電子温度を有するプラズマによる処理が可能である。プラズマを生成する方式としては、誘導結合型方式 (ICP, Induction Couplet Plasma)、マグネトロン方式、ECR 方式 (Electron cyclotron Resonance)、表面波方式で生成したプラズマも適用される。従って、プラズマ処理装置 100 は、各種半導体装置の製造過程において、シリコン酸化膜 (例えば SiO_2 膜) を形成する目的で好適に利用できる。

プラズマ処理装置 100 は、主要な構成として、気密に構成されたチャンバー (処理室) 1 と、チャンバー 1 内にガスを供給するガス供給部としてのガス供給機構 18 と、チャンバー 1 内を減圧排気するための排気機構としての排気装置 24 と、チャンバー 1 の上部に設けられ、チャンバー 1 内にマイクロ波を導入するマイクロ波導入機構 27 と、これらプラズマ処理装置 100 の各構成部を制御する制御部 50 と、を備えている。

チャンバー 1 は、接地された略円筒状の容器により形成されている。なお、チャンバー 1 は角筒形状の容器により形成してもよい。チャンバー 1 は、アルミニウム等の材質からなる底壁 1a と側壁 1b とを有している。

チャンバー 1 の内部は、被処理体であるシリコン基板 (ウエハ W) を水平に支持するための載置台 2 が設けられている。載置台 2 は、熱伝導性の高い材質例えば AlN 等のセラミックスにより構成されている。この載置台 2 は、排気室 11 の底部中央から上方に延びる円筒状の支持部材 3 により支持されている。支持部材 3 は、例えば AlN 等のセラミックスにより構成されている。

また、載置台 2 には、その外縁部をカバーし、ウエハ W をガイド

し、載置台 2 を覆うためのカバーリング 4 が設けられている。このカバーリング 4 は、環状に形成されていてもよく、載置台 2 の全面をカバーしていることが好ましい。カバーリング 4 によって、ウエハ W への不純物の混入防止を図ることができる。カバーリング 4 は、例えば石英、単結晶シリコン、ポリシリコン、アモルファスシリコン、SiN 等の材質で構成され、これらの中でも石英がもっとも好ましい。また、カバーリング 4 を構成する前記材質は、アルカリ金属、金属などの不純物の含有量が少ない高純度のものが好ましい。

また、載置台 2 には、温度調節機構としての抵抗加熱型のヒータ 5 が埋め込まれている。このヒータ 5 は、ヒータ電源 5 a から給電されることにより載置台 2 を加熱して、その熱で被処理体であるウエハ W を均一に加熱する。

また、載置台 2 には、熱電対 (TC) 6 が配備されている。この熱電対 6 によって温度計測を行うことにより、ウエハ W の加熱温度を例えば室温から 900℃までの範囲で制御可能となっている。

また、載置台 2 には、ウエハ W を支持して昇降させるためのウエハ支持ピン (図示せず) が設けられている。各ウエハ支持ピンは、載置台 2 の表面に対して突没可能に設けられている。

チャンバー 1 の内周には、石英からなる円筒状のライナー 7 が設けられている。また、載置台 2 の外周側には、チャンバー 1 内を均一排気するため、多数の排気孔 8 a を有する石英製のバッフルプレート 8 が環状に設けられている。このバッフルプレート 8 は、複数の支柱 9 により支持されている。

チャンバー 1 の底壁 1 a の略中央部には、円形の開口部 10 が形成されている。底壁 1 a にはこの開口部 10 と連通し、下方に向けて突出する排気室 11 が設けられている。この排気室 11 には、排

気管 1 2 が接続されており、この排気管 1 2 を介して排気装置 2 4 に接続されている。

チャンバー 1 の上部には、環状のアッププレート 1 3 が接合されている。アッププレート 1 3 の内周は、内側（チャンバー内空間）へ向けて突出し、環状の支持部 1 3 a を形成している。

チャンバー 1 の側壁 1 b には、環状をなすガス導入部 1 5 が設けられている。このガス導入部 1 5 は、酸素含有ガスやプラズマ励起用ガスを供給するガス供給機構 1 8 に接続されている。なお、ガス導入部 1 5 はノズル状またはシャワー状に設けてもよい。

また、チャンバー 1 の側壁 1 b には、プラズマ処理装置 1 0 0 と、これに隣接する搬送室（図示せず）との間で、ウエハ W の搬入出を行うための搬入出口 1 6 と、この搬入出口 1 6 を開閉するゲートバルブ 1 7 とが設けられている。

ガス供給機構 1 8 は、例えば不活性ガス供給源 1 9 a および酸素含有ガス供給源 1 9 b および水素ガス供給源 1 9 c を有している。なお、ガス供給機構 1 8 は、上記以外の図示しないガス供給源として、例えばチャンバー 1 内雰囲気を置換する際に用いるパージガス供給源、チャンバー 1 内をクリーニングする際に用いるクリーニングガス供給源等を有していてもよい。

不活性ガスはプラズマ励起用ガスとして使われ、安定したプラズマを生成することができ、例えば希ガスなどを用いることができる。希ガスとしては、例えば A r ガス、K r ガス、X e ガス、H e ガスなどを用いることができる。これらの中でも、経済性に優れている点で A r ガスを用いることが特に好ましい。また、酸素含有ガスとしては、例えば酸素ガス（ O_2 ）、水蒸気（ H_2O ）、一酸化窒素（ NO ）、一酸化二窒素（ N_2O ）などを用いることができる。

不活性ガス、酸素含有ガスおよび水素ガスは、ガス供給機構 1 8

の不活性ガス供給源 19 a、酸素含有ガス供給源 19 b および水素ガス供給源から、ガスライン 20 を介してガス導入部 15 に至り、ガス導入部 15 からチャンバー 1 内に導入される。各ガス供給源に接続する各々のガスライン 20 には、マスフローコントローラ 21 およびその前後の開閉バルブ 22 が設けられている。このようなガス供給機構 18 の構成により、供給されるガスの切替えや流量等の制御が出来るようになっている。

排気機構としての排気装置 24 は、例えばターボ分子ポンプなどの高速真空ポンプ等の真空ポンプを備えている。前記のように、真空ポンプ 24 は、排気管 12 を介してチャンバー 1 の排気室 11 に接続されている。チャンバー 1 内のガスは、排気室 11 の空間 11 a 内へ均一に流れ、さらに空間 11 a から真空ポンプ 24 を作動させることにより、排気管 12 を介して外部へ排気される。これにより、チャンバー 1 内を所定の真空度、例えば 0.133 Pa まで高速に減圧することが可能となっている。

次に、マイクロ波導入機構 27 の構成について説明する。マイクロ波導入機構 27 は、主要な構成として、透過板 28、アンテナとしての平面アンテナ 31、遅波材 33、金属カバー 34、導波管 37、マッチング回路 38 およびマイクロ波発生装置 39 を備えている。

マイクロ波を透過させる透過板 28 は、アッププレート 13 において内周側に突出した支持部 13 a 上に配備されている。透過板 28 は、誘電体、例えば石英や Al_2O_3 、AlN 等のセラミックス等の部材で構成されている。この透過板 28 と支持部 13 a との間は、Oリング等のシール部材 29 を介して気密にシールされている。したがって、チャンバー 1 内は気密に保持される。

アンテナとしての平面アンテナ 31 は、透過板 28 の上方（チャ

ンバ 1 の外側) において、載置台 2 と対向するように設けられている。平面アンテナ 3 1 は、円板状をなしている。なお、平面アンテナ 3 1 の形状は、円板状に限らず、例えば四角板状でもよい。この平面アンテナ 3 1 は、アッパープレート 1 3 の上端に係止されている。

平面アンテナ 3 1 は、例えば表面が金または銀メッキされた銅板、アルミニウム板、ニッケル板およびそれらの合金などの導電性部材で構成されている。平面アンテナ 3 1 は、マイクロ波を放射する多数のスロット状のマイクロ波放射孔 3 2 を有している。マイクロ波放射孔 3 2 は、所定のパターンで平面アンテナ 3 1 を貫通して形成されている。

個々のマイクロ波放射孔 3 2 は、例えば図 2 に示すように、細長い長形状 (スロット状) をなしている。そして、典型的には隣接するマイクロ波放射孔 3 2 が「T」字状に配置されている。また、このように所定の形状 (例えば T 字状) に組み合わせて配置されたマイクロ波放射孔 3 2 は、さらに全体として同心円状に配置されている。

マイクロ波放射孔 3 2 の長さや配列間隔は、マイクロ波の波長 (λ_g) に応じて決定される。例えば、マイクロ波放射孔 3 2 の間隔は、 $\lambda_g / 4$ 、 $\lambda_g / 2$ または λ_g となるように配置される。なお、図 2 においては、同心円状に形成された隣接するマイクロ波放射孔 3 2 どうしの間隔を Δr で示している。なお、マイクロ波放射孔 3 2 の形状は、円形状、円弧状等の他の形状であってもよい。さらに、マイクロ波放射孔 3 2 の配置形態は特に限定されず、同心円状のほか、例えば、螺旋状、放射状等に配置することもできる。

平面アンテナ 3 1 の上面には、真空よりも大きい誘電率を有する遅波材 3 3 が設けられている。この遅波材 3 3 は、真空中ではマイ

クロ波の波長が長くなることから、マイクロ波の波長を短くしてプラズマを調整する機能を有している。遅波材の材質としては、例えば石英、ポリテトラフルオロエチレン樹脂、ポリイミド樹脂などを用いることができる。

なお、平面アンテナ 31 と透過板 28 との間、また、遅波材 33 と平面アンテナ 31 との間は、それぞれ接触させても離間させてもよいが、接触させることが好ましい。

チャンバー 1 の上部には、これら平面アンテナ 31 および遅波材 33 を覆うように、金属カバー 34 が設けられている。金属カバー 34 は、例えばアルミニウムやステンレス鋼等の金属材料によって形成されている。金属カバー 34 と平面アンテナ 31 によって、偏平導波路が形成され、マイクロ波をチャンバー 1 内に均一に供給できるようになっている。アッププレート 13 の上端と金属カバー 34 とは、シール部材 35 によりシールされている。また、金属カバー 34 の内部には、冷却水流路 34a が形成されている。この冷却水流路 34a に冷却水を通流させることにより、金属カバー 34、遅波材 33、平面アンテナ 31 および透過板 28 を冷却できるようになっている。なお、金属カバー 34 は接地されている。

金属カバー 34 の上壁（天井部）の中央には、開口部 36 が形成されており、この開口部 36 には導波管 37 が接続されている。導波管 37 の他端側には、マッチング回路 38 を介してマイクロ波を発生するマイクロ波発生装置 39 が接続されている。

導波管 37 は、上記金属カバー 34 の開口部 36 から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管 37a と、この同軸導波管 37a の上端部にモード変換器 40 を介して接続された水平方向に延びる矩形導波管 37b とを有している。モード変換器 40 は、矩形導波管 37b 内を TE モードで伝播するマイクロ波を TEM モードに変換す

る機能を有している。

同軸導波管 37 a の中心には内導体 41 が延在している。この内導体 41 は、その下端部において平面アンテナ 31 の中心に接続固定されている。このような構造により、マイクロ波は、同軸導波管 37 a の内導体 41 を介して平面アンテナ 31 により形成される偏平導波路へ放射状に効率よく均一に伝播される。

また、載置台 2 の表面側には電極 42 が埋設されている。この電極 42 にマッチングボックス (M. B.) 43 を介してバイアス印加用の高周波電源 44 が接続されており、電極 42 に高周波バイアス電力を供給することにより、ウエハ W (被処理体) にバイアスを印加できる構成となっている。電極 42 の材質としては、例えばモリブデン、タングステンなどの導電性材料を用いることができる。電極 42 は、例えば網目状、格子状、渦巻き状等の形状に形成されている。

以上のような構成のマイクロ波導入機構 27 により、マイクロ波発生装置 39 で発生したマイクロ波が導波管 37 を介して平面アンテナ 31 へ伝搬され、さらにマイクロ波放射孔 32 (スロット) から透過板 28 を介してチャンバー 1 内に導入されるようになっている。なお、マイクロ波の周波数としては、例えば 2.45 GHz が好ましく用いられ、他に 8.35 GHz、1.98 GHz 等を用いることもできる。

プラズマ処理装置 100 の各構成部は、制御部 50 に接続されて制御される構成となっている。制御部 50 は、典型的にはコンピュータであり、例えば図 3 に示したように、CPU を備えたプロセスコントローラ 51 と、このプロセスコントローラ 51 に接続されたユーザーインターフェース 52 および記憶部 53 を備えている。プロセスコントローラ 51 は、プラズマ処理装置 100 において、例

例えば温度、圧力、ガス流量、マイクロ波出力、バイアス印加用の高周波出力などのプロセス条件に関係する各構成部（例えば、ヒータ電源 5 a、ガス供給機構 1 8、排気装置 2 4、マイクロ波発生装置 3 9、高周波電源 4 4 など）を統括して制御する制御手段である。

ユーザーインターフェース 5 2 は、工程管理者がプラズマ処理装置 1 0 0 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置 1 0 0 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等を有している。また、記憶部 5 3 には、プラズマ処理装置 1 0 0 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 5 1 の制御にて実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や処理条件データ等が記録されたレシピなどが保存されている。

そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース 5 2 からの指示等にて任意のレシピを記憶部 5 3 から呼び出してプロセスコントローラ 5 1 に実行させることで、プロセスコントローラ 5 1 により制御されてプラズマ処理装置 1 0 0 のチャンバー 1 内で所望の処理が行われる。また、前記制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体、例えば C D - R O M、ハードディスク、フレキシブルディスク、フラッシュメモリ、D V D、ブルーレイディスクなどに格納された状態のものを利用できる。さらに、前記レシピを他の装置から例えば専用回線を介して伝送させて利用することも可能である。

このように構成されたプラズマ処理装置 1 0 0 では、6 0 0 ℃以下例えば室温（2 5 ℃程度）以上 6 0 0 ℃以下の低温で、被処理体上に形成された下地膜や基板（ウエハ W）等へのダメージフリーなプラズマ処理を行うことができる。また、プラズマ処理装置 1 0 0 は、プラズマの均一性に優れていることから、大口径のウエハ W（被処理体）に対してもプロセスの均一性を実現できる。

次に、R L S A方式のプラズマ処理装置100を用いたプラズマ酸化処理について説明する。まず、ゲートバルブ17を開にして搬入出口16からウエハWをチャンバー1内に搬入し、載置台2上に載置する。

次に、チャンバー1内を真空ポンプにより減圧排気しながら、ガス供給機構18の不活性ガス供給源19a、酸素含有ガス供給源19bおよび水素ガス供給源19cから、不活性ガス、酸素含有ガスおよび必要に応じて水素ガスを所定の流量でそれぞれガス導入部15を介してチャンバー1内に導入する。このようにして、チャンバー1内を所定の圧力に調節する。

次に、マイクロ波発生装置39で発生させた所定周波数例えば2.45GHzのマイクロ波を、マッチング回路38を介して導波管37に導く。導波管37に導かれたマイクロ波は、矩形導波管37bおよび同軸導波管37aを順次通過し、内導体41を介して平面アンテナ31に供給される。つまり、マイクロ波は、矩形導波管37b内ではTEモードで伝搬し、このTEモードのマイクロ波はモード変換器40でTEMモードに変換されて、同軸導波管37a内を平面アンテナ31に向けて伝搬されていく。そして、マイクロ波は、平面アンテナ31に貫通形成されたスロット状のマイクロ波放射孔32から誘電体としての透過板28を介してチャンバー1内におけるウエハWの上方空間に放射される。この際のマイクロ波出力は、例えば200mm径以上のウエハWを処理する場合には、パワー密度として0.255~2.55W/cm²の範囲内から選択することができる。

平面アンテナ31から透過板28を経てチャンバー1に放射されたマイクロ波により、チャンバー1内で電磁界が形成され、不活性ガスおよび酸素含有ガスがそれぞれプラズマ化する。このマイクロ

波励起プラズマは、マイクロ波が平面アンテナ 31 の多数のマイクロ波放射孔 32 から放射されることにより、略 $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ の高密度で、かつウエハ W 近傍では、略 1.2 eV 以下の低電子温度プラズマとなる。このようにして形成されるプラズマは、基板（ウエハ W）へのイオン等によるプラズマダメージが少ない。その結果、プラズマ中の活性種例えばラジカルやイオンの作用によりウエハ W 表面に形成されたシリコン（単結晶シリコン、多結晶シリコンまたはアモルファスシリコン）に対してプラズマ酸化処理が行われ、ダメージのないシリコン酸化膜が形成される。

また、プラズマ酸化処理を行なっている間、載置台 2 に高周波電源 44 から所定の周波数およびパワーの高周波電力を供給する。この高周波電源 44 から供給される高周波電力によって、基板に高周波バイアス電圧（高周波バイアス）が印加され、その結果、プラズマの低い電子温度を維持しつつ、プラズマ酸化処理の異方性が促進される。すなわち、高周波バイアスが基板に印加されることにより、基板近傍に電磁界が形成され、これがプラズマ中のイオンを基板（ウエハ W）へ引き込むように作用するため、シリコンの凹部や凸部の側壁へのイオンによる酸化作用を弱め、これらの部位での酸化レートを抑制する一方で、凹部の底壁では酸化レートを増大させるように作用する。従って、シリコンの凹部や凸部の側壁では等方性の酸化が抑制されて横方向に酸化膜が形成されにくくなり、凹凸パターンの寸法精度を維持できる。それに対して、凹部の底部では、高周波バイアスによってイオンが引き込まれ、十分な膜厚でシリコン酸化膜を形成することができる。

<プラズマ酸化処理条件>

ここで、プラズマ処理装置 100 において行なわれるプラズマ酸化処理の好ましい条件について説明を行う。処理ガスとしては、希

ガスとしてArガスを、酸素含有ガスとしてO₂ガスをそれぞれ使用することが好ましい。このとき、処理ガス中に含まれるO₂ガスの流量比率（体積比率）は、プラズマ処理の異方性を高め、凹凸の側壁の酸化を抑制しつつ、凹部の底部の酸化を促進させる観点から、0.1%以上50%以下の範囲内が好ましく、0.5%以上25%以下の範囲内がより好ましく、0.5%以上10%以下の範囲内がさらに好ましく、0.5%以上1%以下の範囲内が望ましい。つまり、チャンバー内の酸素分圧を低くしてプラズマを生成することによって、凹凸の内部はさらに酸素（イオン）分圧が低くなるので、バイアス印加により、酸素イオンが底部に引き込まれ、側壁部への酸素イオンの作用が抑制されるからである。

また、本実施の形態では、処理ガス中に水素を含めることも可能である。水素を添加することにより、プラズマ中にOHラジカルが生成するため、酸化レートを増加させることが可能である。水素を使用する場合、高い酸化レートを得るために、処理ガス全体に対して水素と酸素の合計の流量比率（体積比率）を、0.1%以上50%以下の範囲内とすることが好ましく、0.5%以上25%以下の範囲内とすることがより好ましく、0.5%以上10%以下の範囲内とすることがさらに好ましく、0.5%以上1%以下の範囲内とすることが望ましい。この場合、水素と酸素の合計流量に対する水素流量の体積比率（ $[\text{H}_2 \text{ 流量} / (\text{H}_2 + \text{O}_2 \text{ の合計流量})] \times 100$ ）を1%以上90%以下の範囲内に設定することが好ましく、凹部の底部の酸化レートを向上させる観点からは10%以上60%以下の範囲内がより好ましく、特に凹凸部の側壁に形成されるシリコン酸化膜を凹部の底部に形成されるシリコン酸化膜よりも選択的に薄く形成する観点からは1%以上50%以下の範囲内とすることが望ましい。

また、処理圧力は、プラズマ酸化処理の異方性を高め、凹凸の側壁の酸化を抑制しつつ、凹部の底部の酸化を促進させる観点から、
1.3 Pa以上6.67 Pa以下の範囲内に設定することが好ましく、
6.7 Pa以上13.3 Pa以下の範囲内がより好ましく、20 Pa以上60 Pa以下の範囲内が望ましい。

また、上記処理ガス中の酸素流量比率と処理圧力の好ましい組み合わせは以下のとおりである。凹凸形状の側壁面のシリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面のシリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕を0.01以上0.6以下とする場合には、処理ガス中の酸素の割合を0.5%以上50%以下の範囲内とし、かつ処理圧力を6.7 Pa以上13.3 Pa以下の範囲内とすることが好ましい。

また、凹凸形状の側壁面のシリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面のシリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕を0.01以上0.4以下とする場合には、処理ガス中の酸素の割合を0.5%以上25%以下の範囲内とし、かつ処理圧力を20 Pa以上60 Pa以下の範囲内とすることが好ましい。

本実施の形態では、プラズマ酸化処理を行なっている間、高周波電源44から所定の周波数およびパワーの高周波電力を載置台2に供給し、基板（ウエハW）に高周波バイアスを印加する。高周波電源44から供給される高周波電力の周波数は、例えば100 kHz以上60 MHz以下の範囲内が好ましく、400 kHz以上13.5 MHz以下の範囲内がより好ましい。高周波電力は、ウエハWの面積当たりのパワー密度として例えば0.2 W/cm²以上2.3 W/cm²以下の範囲内で印加することが好ましく、0.35 W/cm²以上1.2 W/cm²以下の範囲内で印加することがより好ましい。また、高周波のパワーは200 W以上2000 W以下の範囲

内が好ましく、300W以上1200W以下の範囲内がより好ましい。載置台2に印加された高周波電力は、プラズマの低い電子温度を維持しつつ、プラズマ中のイオン種をウエハWへ引き込む作用を有している。従って、高周波電力を印加することにより、プラズマ酸化の異方性を高め、凹凸部の側壁部分に比べて底壁部分に形成されるシリコン酸化膜の膜厚を極端に大きくすることができる。また、本実施の形態では、ウエハWへ高周波バイアスを印加しても、低電子温度のプラズマであるため、シリコン酸化膜へのプラズマ中のイオン等によるダメージがなく、低温かつ短時間で良質なシリコン酸化膜を形成することが出来る。

また、プラズマ酸化処理におけるマイクロ波のパワー密度は、ラジカル成分を減らし、異方性を向上させる観点から、 0.255 W/cm^2 以上 2.55 W/cm^2 以下の範囲内とすることが好ましい。なお、本発明においてマイクロ波のパワー密度は、ウエハWの面積 1 cm^2 あたりのマイクロ波パワーを意味する。例えば300mm径以上のウエハWを処理する場合には、マイクロ波パワーを500W以上5000W未満の範囲内とすることが好ましく、1000W以上3000W以下とすることがより好ましい。

また、ウエハWの加熱温度は、載置台2の温度として、例えば室温（25℃程度）以上600℃以下の範囲内とすることが好ましく、200℃以上500℃以下の範囲内に設定することがより好ましく、400℃以上500℃以下の範囲内に設定することが望ましい。

以上の条件は、制御部50の記憶部53にレシピとして保存されている。そして、プロセスコントローラ51がそのレシピを読み出してプラズマ処理装置100の各構成部例えばガス供給機構18、排気装置24、マイクロ波発生装置39、ヒータ電源5a、高周波

電源 44 などへ制御信号を送出することにより、所望の条件でのプラズマ酸化処理が実現する。

次に、図 4A～図 4I を参照しながら、本発明のシリコン酸化膜の形成方法により STI におけるトレンチ内表面にシリコン酸化膜を形成する場合を例に挙げて説明する。図 4A～図 4I は、STI におけるトレンチの形成とその後で行なわれる酸化膜形成までの工程を図示したものである。

まず、図 4A および図 4B において、シリコン基板 101 に例えば熱酸化などの方法により SiO_2 などのシリコン酸化膜 102 を形成する。次に、図 4C では、シリコン酸化膜 102 上に、例えば CVD (Chemical Vapor Deposition) により Si_3N_4 などのシリコン窒化膜 103 を形成する。さらに、図 4D では、シリコン窒化膜 103 の上に、フォトリソグラフィ技術によりパターニングしてレジスト層 104 を形成する。

次に、レジスト層 104 をエッチングマスクとし、例えばハロゲン系のエッチングガスを用いてシリコン窒化膜 103 とシリコン酸化膜 102 を選択的にプラズマエッチングする。このようにして、レジスト層 104 のパターンに対応してシリコン基板 101 を露出させる (図 4E)。また、シリコン窒化膜 103 により、トレンチのためのマスクパターンが形成される。図 4F は、例えば酸素などを含む処理ガスを用いた酸素含有プラズマにより、いわゆるアッシング処理を実施し、レジスト層 104 を除去した状態を示している。

図 4G では、シリコン窒化膜 103 およびシリコン酸化膜 102 をマスクとして、シリコン基板 101 に対し異方性プラズマエッチングを実施して、トレンチ 105 を形成する。このエッチングは、

例えば Cl_2 、 HBr 、 SF_6 、 CF_4 などのハロゲンまたはハロゲン化合物や、前記ハロゲン化合物に O_2 を含むエッチングガスを使用して行なうことができる。

図 4 H は、STI におけるエッチング後のウエハ W のトレンチ 105 に対し、シリコン酸化膜を形成する工程を示している。ここでは、載置台 2 の電極 42 に上記範囲の周波数およびパワー（パワー密度）で高周波電力を供給しながら、処理ガス中の酸素の割合が 0.1% 以上 50% 以下の範囲内で、かつ処理圧力が 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内の条件でプラズマ酸化処理を行う。このような条件でプラズマ酸化処理を行なうことにより、図 4 I に示したように、トレンチ 105 の内表面を酸化してシリコン酸化膜 111 を形成することができる。このように選択的な酸化処理によって形成されたシリコン酸化膜 111 は、トレンチ 105 の側壁に形成されたシリコン酸化膜 111 a の膜厚と、トレンチ 105 の底部に形成されたシリコン酸化膜 111 b の膜厚との比 [シリコン酸化膜 111 a の膜厚 / シリコン酸化膜 111 b の膜厚] が、0.6 以下例えば 0.01 から 0.6 の範囲内（好ましくは、0.01 から 0.4 の範囲内）であり、トレンチ 105 の側壁部分のシリコン酸化膜 111 a の厚みを極端に抑えることができる。この場合、ゲート電極を形成する際にゲート長を減少させずに済み、デバイスのより微細化が実現される。

STI における素子分離膜を埋めこむためのトレンチ 105 の側壁のシリコン酸化膜 111 a がシリコン基板 101 内で横方向に（側壁部分を）厚膜化すると、その分デバイス形成領域（例えば、DRAM であればメモリセル形成領域）の面積が縮小させられてしまう。例えば、トレンチ 105 の側壁に形成されたシリコン酸化膜 111 a の膜厚と、トレンチ 105 の底部に形成されたシリコン酸化

膜 1 1 1 b の膜厚との比 [シリコン酸化膜 1 1 1 a の膜厚 / シリコン酸化膜 1 1 1 b の膜厚] が 0.6 を超えると、寸法精度に誤差が生じて微細化への対応が困難になる。従って、デバイス形成領域の面積を十分に確保しつつ微細化を図るためには、トレンチ 1 0 5 の側壁に形成されるシリコン酸化膜 1 1 1 a の膜厚を選択的に極力薄くすることが必要になる。本実施の形態では、トレンチ 1 0 5 の内面の酸化処理において、底部と側壁の酸化の選択性を高くして、側壁に形成されるシリコン酸化膜 1 1 1 a を底部のシリコン酸化膜 1 1 1 b に比べて極端に薄く形成することにより、デバイスの微細化への対応を図ることが可能になる。

なお、本実施の形態のシリコン酸化膜の形成方法によってシリコン酸化膜 1 1 1 を形成した後は、S T I による素子分離領域形成の手順に従い、例えば C V D 法によりトレンチ 1 0 5 内に SiO_2 などの絶縁膜を埋込んだ後、シリコン窒化膜 1 0 3 をストッパー層として C M P (Chemical Mechanical Polishing) によって研磨を行ない平坦化する。平坦化した後は、エッチングまたは C M P によってシリコン窒化膜 1 0 3 および埋込み絶縁膜の上部を除去することにより、素子分離構造が形成される。

また、本実施の形態のシリコン酸化膜の形成方法は、トランジスタのゲートエッチング後に行われるエッチングダメージ修復のための酸化処理にも適用可能である。例えば、図 5 A は、トランジスタのゲート電極となるポリシリコン電極 2 0 0 に対し、プラズマ酸化処理を施している状態を示している。シリコン基板 1 0 1 上に SiO_2 等の絶縁膜 2 0 2 を介してポリシリコン層を形成し、このポリシリコン層をレジスト等のエッチングマスク 2 0 1 を利用してライン & スペースのパターン形状にプラズマエッチングすることにより

、ポリシリコン電極 200 が形成される。このプラズマエッチングの際に、ポリシリコン電極 200 の側面および基板表面にプラズマダメージが入る。この例では、ポリシリコン電極 200 が形成されたシリコン基板 101 に、図 1 のプラズマ処理装置 100 を用いてプラズマ酸化処理を行うことにより、エッチングによるプラズマダメージを修復するようにしている。プラズマ酸化処理は、載置台 2 に上記範囲の周波数およびパワー（パワー密度）で高周波電力を供給しながら、処理ガス中の酸素の割合が 50 % 以下例えば 0.1 % 以上 50 % 以下の範囲内で、かつ処理圧力が 667 Pa 以下例えば 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内の条件で行う。なお、プラズマ酸化処理により、図 5 B に示すように、ポリシリコン電極 200 の側面に薄いシリコン酸化膜 203 が形成される。

トランジスタ設計上、ゲート電極となるポリシリコン電極 200 の側壁部分のシリコン酸化膜 203 が横方向（側壁部分）に厚膜化すると、その分ポリシリコン電極 200 内でトランジスタ形成部分の面積（チャンネル幅）が縮小してエッチングにより形成されたライン＆スペースの寸法との間に誤差が生じてしまう。例えば、ポリシリコン電極 200 の側壁に形成されたシリコン酸化膜 203 の膜厚が厚くなると、上記誤差が大きくなり過ぎて、微細化への対応が困難になる。したがって、トランジスタ形成部分の面積を確保するためには、ポリシリコン電極 200 の側壁部分のシリコン酸化膜 203 の厚みを極端に薄く抑制する必要がある。本実施の形態のシリコン酸化膜の形成方法では、シリコン基板 101 とポリシリコン電極 200 の側壁との酸化処理の選択性を高め、側壁に形成されるシリコン酸化膜 203 を薄くすることにより寸法精度を維持し、微細化を図る上でもトランジスタ形成部分の面積を十分に確保することができるようになる。

また、プラズマ処理装置 100 を用いて、凹凸形状を有するシリコン表面に対してプラズマ酸化処理を行なう場合、主として載置台 2 へ供給する高周波電力、処理圧力および処理ガス中の酸素比率を調節することにより、凹部の底部と側壁との酸化処理の選択性を制御できる。例えば、図 6 A に示したように、処理圧力を高くするとプラズマ中のラジカルが増加するため酸化の等方性が強くなり、逆に、処理圧力を低くするとプラズマ中のイオンが増加するため酸化の異方性が強まる。また、図 6 B に示したように、処理ガス中の O_2 ガスの比率を増加させるとプラズマ中のイオンが減少するために酸化の等方性が強くなり、 O_2 ガスの比率を低くするとプラズマ中のイオンが増加するために酸化の異方性が強まる。さらに、図 6 C に示したように、載置台 2 に供給する高周波電力が小さいと酸化の等方性が強くなり、高周波電力を大きくするに従い、プラズマ中のイオンがウエハ W へ引き込まれやすくなるために酸化の異方性が極端に強くなる。

本実施の形態のシリコン酸化膜の形成方法では、載置台 2 に高周波電力を供給して基板（ウエハ W）に高周波バイアスを印加し、プラズマ中のイオンを基板（ウエハ W）に引き込むことによって酸化の異方性を極端に高めるとともに、処理圧力を 667 Pa 以下に設定し、かつ処理ガス中の O_2 比率を 50 % 以下に設定した。このような条件設定により、酸化活性種としてイオン主体の酸化を行い、凹凸形状の底部と側壁とに形成されるシリコン酸化膜の厚みを選択的に制御している。

次に、本発明の効果を確認した試験結果について説明する。本実施の形態のシリコン酸化膜の形成方法を、凹凸形状（ライン＆スペース）のパターンが形成されたシリコン表面の酸化膜形成に適用した。図 7 は、凹凸形状のパターン 120 を有するシリコン基板 10

1のシリコン表面を酸化してシリコン酸化膜121を形成した後のウエハWの表面付近の断面構造を模式的に示したものである。本試験では、図1のプラズマ処理装置100を用い、下記の条件でシリコン表面に対してプラズマ酸化処理を行ない、シリコン酸化膜121を形成した。その後、TEM写真を撮影し、その画像から、凹凸形状のパターン120における凸部のトップの膜厚a、凹部の側壁の膜厚bおよび底部の膜厚cを測定し、各部の酸化レートと側壁／底部膜厚比（ b/c ）を算出した。なお、パターン120における凹部の開口幅 L_1 は130nmであり、この開口幅 L_1 と凹部の深さ L_2 との比（アスペクト比 L_2/L_1 ）は5であった。

これらの結果を表1から表3および図8から図14に示した。側壁／底部膜厚比（ b/c ）は、側壁と底部との酸化の選択性の指標であり、この値が小さいほど選択性が良好である。デバイスの微細化に対応するために、側壁のシリコン酸化膜の膜厚bは極力薄く形成することが好ましいからである。側壁／底部膜厚比（ b/c ）は、例えば0.6以下が好ましく、0.4以下がより好ましい。

<実施例1～4の共通条件>

高周波バイアスの周波数：13.56MHz

高周波バイアスのパワー：600W（パワー密度0.702W/cm²）

マイクロ波パワー：1200W（パワー密度0.614W/cm²）

処理温度：465℃

目標膜厚：6nm（トップ膜厚aとして）

ウエハ径：300mm

<比較例1の条件>

高周波バイアスを印加しない点以外は、実施例1～4と同じであ

る。

表 1

	実施例 1 0.5%O ₂	実施例 2 1%O ₂	実施例 3 25%O ₂	実施例 4 1%O ₂	比較例 1 1%O ₂
Ar/O ₂ /H ₂ 体積比 [mL/min]	199/1/0	198/2/0	150/50/0	198/2/0	500/5/0
酸素分圧 [pa]	0.2	0.4	10	1.33	1.32
処理圧力 [pa]	40	40	40	133	133
処理時間 [秒]	180	135	120	320	315
側壁膜厚 b [nm,]	2.31	2.10	2.92	3.15	5.6
底部膜厚 c [nm]	9.82	7.62	7.76	8.62	4.4
側壁酸化レート [nm/min]	0.77	0.93	1.46	0.59	1.06
底部酸化レート [nm/min]	3.27	3.39	3.88	1.62	0.84
膜厚比 b/c	0.235	0.276	0.376	0.365	1.272
c=6nm のときの b [nm]	1.41	1.65	2.26	2.19	—
処理時間* [秒]	110	106	93	223	429

※ 底部のシリコン酸化膜の膜厚が 6 nm に達するまでの処理時間

表 1 から、プラズマ酸化処理における側壁と底部の選択性の指標である側壁／底部膜厚比 b/c に関しては、載置台 2 に高周波バイアスを印加せずにプラズマ酸化処理を行った比較例 1 では、側壁の膜厚が底部の膜厚より厚くなっており、その膜厚比 b/c は、1.272 となっており、略等方的に酸化が進行したことを示している。これに対して、載置台 2 に高周波電力を供給しながら、40 Pa から 133 Pa の範囲内の比較的低い圧力条件でプラズマ酸化処理を行った実施例 1～実施例 4 では、側壁／底部膜厚比 b/c が 0.235～0.376 の範囲内であり、良好な結果を示した。これらの結果から、プラズマ酸化処理における側壁と底部の選択性を高め側壁の膜厚を薄くするには、載置台 2 に高周波バイアス電力を印加しながら 133 Pa 以下例えば 6.7 Pa 以上 133 Pa 以下の比較的低い圧力条件を選択することが有効であり、しかも圧力を低くするほど側壁／底部膜厚比 b/c を小さくでき側壁の膜厚を薄くで

ることが判明した。このことは、 O_2 比率が 1 % と同じである実施例 2 と実施例 4 における膜厚比 b/c の比較からも裏付けられた。

また、処理圧力が同じ 40 Pa である実施例 1 ～実施例 3 の比較から、 O_2 比率が低いほど側壁／底部膜厚比 b/c を低く抑制できることが示された。すなわち、 O_2 比率が 0.5 % から 1 % の範囲内の実施例 1 および実施例 2 では、側壁／底部膜厚比 b/c が 0.235 ～ 0.276 の範囲内であり、 O_2 比率が 25 % の実施例 3 (側壁／底部膜厚比 $b/c = 0.376$) に比べて側壁の膜厚を薄くできるという優れた結果を示した。これは、溝内の酸素イオン、ラジカルの分圧が低くなることで、側壁への酸化作用が抑制されることによるものである。

図 8 は、実施例 1 から実施例 3 におけるプラズマ酸化処理での側壁と底部の膜厚比 b/c と処理ガス中の酸素ガスの割合との関係をグラフ化したものである。この図 8 から、処理圧力が 40 Pa の条件で、処理ガス中の酸素ガスの体積比率を 50 % 以下にすれば、側壁／底部膜厚比 b/c を 0.6 以下にすることが可能であり、同体積比率を 25 % 以下にすれば側壁／底部膜厚比 b/c を 0.4 以下にできることが判明した。

図 9 は、実施例 2 ～4 におけるプラズマ酸化処理での側壁と底部の膜厚比 b/c と処理圧力との関係をグラフ化したものである。この図 9 から、1 % O_2 の条件で、処理圧力 267 Pa 以下にすれば、側壁／底部膜厚比 b/c を 0.6 以下にすることが可能であり、処理圧力を 133 Pa 以下にすれば、側壁／底部膜厚比 b/c を 0.4 以下にでき側壁の膜厚を薄くできることが判明した。

図 10 のグラフは、実施例 1 ～4 および比較例 1 におけるシリコン酸化膜の側壁／底部膜厚比 b/c と処理ガス中の酸素分圧との関

係をプロットしたものである。この図 10 より、側壁／底部膜厚比 b/c が 0.4 以下の、薄い膜厚の側壁にするためには処理ガス中の酸素分圧を 10 以下とすることが好ましく、2 以下とすることがより好ましいことがわかる。

図 11 は、実施例 1 におけるプラズマ酸化処理時間と、トップ膜厚 a の平均膜厚および該平均膜厚のウエハ面内均一性との関係を示している。この図 11 に示されるように、実施例 1 の条件でプラズマ酸化処理を行った場合には、約 180 秒で目標膜厚（トップ膜厚 $a = 6 \text{ nm}$ ）に達しており、十分な酸化レートが得られている。また、プラズマ酸化処理におけるウエハ面内均一性は、4% 以下で推移しており良好な結果であった。なお、図 11 におけるウエハ面内均一性は、（ウエハ面内の最大膜厚－同最小膜厚）／（ウエハ面内の平均膜厚 $\times 2$ ）の百分率（ $\times 100\%$ ）により算出した（図 12、図 14 も同様である）。

図 12 は、実施例 2 におけるプラズマ酸化処理時間と、トップ膜厚 a の平均膜厚および該平均膜厚のウエハ面内均一性との関係を示している。この図 12 に示されるように、実施例 1 の条件でプラズマ酸化処理を行った場合には、約 135 秒で目標膜厚（トップ膜厚 $a = 6 \text{ nm}$ ）に達しており、十分な酸化レートが得られている。また、プラズマ酸化処理におけるウエハ面内均一性は、ほぼ 2% 以下で推移しており極めて良好な結果であった。

図 11 および図 12 から、側壁／底部膜厚比 b/c が 0.4 以下であった実施例 1 および実施例 2 のプラズマ酸化処理条件においても、実用上十分な酸化レートとウエハ面内均一性が得られることが確認された。

次に、処理ガス中に水素を添加した実施例 5～8 および比較例 2、3 の試験結果について、表 2、表 3、図 13 および図 14 を参照

しながら説明する。

<実施例 5 ～ 8、比較例 3 の共通条件>

高周波バイアスの周波数：13.56 MHz

マイクロ波パワー：1200 W（パワー密度 0.614 W/cm

²）

処理温度：465℃

目標膜厚：6 nm（トップ膜厚 a として）

ウエハ径：300 mm

<比較例 2 の条件>

高周波バイアスを印加しない点以外は、実施例 5 ～ 8、比較例 3 と同じである。

表 2

	実施例5 (23%O ₂ /2%H ₂)	実施例6 (0.5%O ₂ / 0.5%H ₂)	実施例7 (0.5%O ₂ / 0.5%H ₂)	実施例8 (0.5%O ₂ / 0.5%H ₂)
Ar/O ₂ /H ₂ 体積比 [mL/min]	1200/370/32	198/1/1	198/1/1	198/1/1
酸素分圧 [Pa]	154	0.2	0.2	0.2
水素分圧 [Pa]	12.5	0.2	0.2	0.2
バイアス電力密度 [W/cm ²]	0.67	0.2	0.35	0.7
処理圧力 [Pa]	667	40	40	40
処理時間 [秒]	45	55	80	90
側壁膜厚 b [nm]	4.1	4.7	4.2	3.56
底部膜厚 c [nm]	6.7	7.6	10.5	10.65
側壁酸化レート [nm/min]	2.05	5.12	3.15	2.37
底部酸化レート [nm/min]	8.93	8.5	7.9	7.10
膜厚比 b/c	0.6	0.6	0.4	0.3
H ₂ /(H ₂ +O ₂) 流量比率 [%]	7.5	50	50	50
処理時間※ [秒]	40	42	46	51

※ 底部のシリコン酸化膜の膜厚が 6 nm に達するまでの処理時間

表 3

	比較例2 (23%O ₂ /2%H ₂)	比較例3 (23%O ₂ /2%H ₂)
Ar/O ₂ /H ₂ 体積比 [mL/min]	1200/370/30	1200/370/31
酸素分圧 [Pa]	154	154
水素分圧 [Pa]	12.5	12.5
バイアス電力密度 [W/cm ²]	0	0.16
処理圧力 [Pa]	667	667
処理時間 [秒]	710	105
側壁膜厚b [nm]	7.2	4.7
底部膜厚c [nm]	6.5	6.1
側壁酸化レート [nm/min]	0.61	2.68
底部酸化レート [nm/min]	0.55	3.48
膜厚比 b/c	1.2	0.8
H ₂ /(H ₂ +O ₂) 流量比率 [%]	7.5	7.5
処理時間* [秒]	652	103

※ 底部のシリコン酸化膜の膜厚が 6 nm に達するまでの処理時間

表 2 および表 3 から、処理ガス中に H₂ を添加し、かつ載置台 2 に高周波バイアス電力を印加しながらプラズマ酸化処理を行うことによって、酸化レートを大幅に向上させ得ることが示された。水素の割合は 0.1 % 以上 2 % 未満が好ましく、0.1 % ~ 1 % がより好ましい。また、H₂ を添加しても、実施例 5 から 8 のように、載置台 2 に高周波バイアス電力を 0.2 [W/cm²] 以上の電力密度で印加しながらプラズマ酸化処理を行うことによって、側壁と底部の選択性（つまり、側壁／底部膜厚比 b/c）が実用上十分な値（側壁／底部膜厚比 b/c = 0.3 ~ 0.6）であった。特に、40 Pa の処理圧力でプラズマ酸化処理を行った実施例 8 は、膜厚比 b/c = 0.3 であり、高い酸化レートと側壁と底部の高い選択性とを両立でき、側壁の膜厚を薄くすることが出来た。このように、処理ガス中に H₂ を添加することにより、酸化レートを高め、スループットを向上させ得ることが判明した。

また、実施例 5 から実施例 8 および比較例 2、3 におけるシリコン酸化膜の側壁／底部膜厚比 b/c と高周波バイアスの電力密度（バイアスパワー）との関係を図 13 に示した。表 2 および図 13 より、処理圧力が 6.67 Pa のときは、被処理体に印加する高周波バイアスの電力密度を $0.2 \text{ [W/cm}^2\text{]}$ 以上とすることによって、側壁／底部膜厚比 b/c を 0.6 以下にでき、側壁の膜厚を薄くできることが判明した。また、処理圧力が 4.0 Pa のときは、被処理体に印加する高周波バイアスの電力密度を $0.2 \text{ [W/cm}^2\text{]}$ 以上とすることによって側壁／底部膜厚比 b/c を 0.6 以下にすることが可能であり、さらに高周波バイアスの電力密度を $0.35 \text{ [W/cm}^2\text{]}$ 以上とすることによって、側壁／底部膜厚比 b/c を 0.4 以下にでき、側壁の膜厚を薄く出来ることが判明した。

一方、処理ガス中に水素を添加した場合でも、被処理体（ウエハ W）に高周波バイアスを印加しなかった比較例 2 や、高周波バイアスの電力密度が $0.16 \text{ [W/cm}^2\text{]}$ と小さかった比較例 3 では、十分な酸化レートが得られず、しかも膜厚比 b/c が $0.8 \sim 1.2$ と選択性が低い結果となった。従って、プラズマ酸化処理における側壁と底部の高い選択性を得ながら、側壁の膜厚を薄くし、酸化レートを大きくしたい場合には、載置台 2 に高周波バイアス電力を供給しながら、処理ガス中に H_2 を添加することが好ましいことが判明した。

図 14 は、実施例 8 におけるプラズマ酸化処理時間と、トップ膜厚 a の平均膜厚および該平均膜厚のウエハ面内均一性との関係を示している。この図 14 に示されるように、実施例 8 の条件でプラズマ酸化処理を行った場合には、約 90 秒で目標膜厚（トップ膜厚 $a = 6 \text{ nm}$ ）に達しており、非常に大きな酸化レートが得られている。このように、処理ガス中に H_2 を添加することにより、 7.1 nm

m/m_{in} という大きな酸化レートを実現することができ、側壁の膜厚を薄く維持しつつスループットを向上させ得ることが確認できた。

以上詳述したように、プラズマ処理装置 100 を使用し、凹凸パターンを有するウエハ W の表面に露出したシリコン部分に処理ガスのプラズマによる酸化処理を施してシリコン酸化膜を形成する場合に、処理ガス中の酸素の割合を 0.1% 以上 50% 以下の範囲内とし、かつ処理圧力を 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内とすることにより、側壁／底部膜厚比 b/c を 0.6 以下例えば 0.01 以上 0.6 以下の範囲内にすることができる。従って、例えば STI におけるトレンチ内の酸化処理や、トランジスタのゲートエッチング後のエッチングダメージ修復のための酸化などにおいて、側壁部分の酸化膜厚を極力薄くしながら、底部に必要な膜厚でシリコン酸化膜を選択的に形成することができる。その結果、凹凸パターンの横方向の寸法精度が確保され、デバイスの微細設計への対応が可能になる。

また、処理ガス中に H_2 を添加することにより、酸化レートを高くして短時間に凹凸形状の凹部の底壁面に 20 nm 以下例えば 6 nm 以上 20 nm 以下の範囲内の膜厚でかつ、側壁には 0.6 nm 以上 12 nm 以下の膜厚でシリコン酸化膜を薄く形成することができる。

以上、本発明の実施の形態を挙げて説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されることなく、種々の変形が可能である。例えば上記実施の形態では、本発明のシリコン酸化膜の形成方法を行う装置として最適な RLSA 方式のプラズマ処理装置を例に挙げて説明した。しかし、例えば ICP プラズマ方式、ECR プラズマ方式、表面反射波プラズマ方式、マグネトロンプラズマ方式等の他のプラ

ズマ処理装置を使用することも可能である。

また、上記実施の形態では、凹凸パターンに対するシリコン酸化膜形成の例として、STIにおける単結晶のシリコン基板101のトレンチ105内部の酸化処理、およびエッチングによってトランジスタのポリシリコンゲート電極を形成した後のエッチングダメージ修復のための酸化処理について説明した。しかし、本発明のシリコン酸化膜の形成方法は、凹凸パターンの表面にシリコン酸化膜を形成する必要性の高い他の種々のアプリケーションにも適用できる。さらに、凹凸によって部位により面方位が相違するシリコン表面例えばフィン構造や溝ゲート構造などの3次元トランジスタの製造過程で、ゲート絶縁膜等としてのシリコン酸化膜を選択的に側壁に薄く形成する場合にも適用可能である。また、逆に凹凸シリコンの底部に選択的に厚くシリコン酸化膜を形成したい場合にも適用できる。

図15A～15Dに、本発明に係るシリコン酸化膜の形成方法を、フラッシュメモリを製造する工程に適用した事例を示す。図15Aに示すように、まず、シリコン基板301上に、基板を熱酸化処理して SiO_2 の第1の絶縁膜層302を形成し、その上にCVDにより第1のポリシリコン層303、 Si_3N_4 層および SiO_2 層で構成される第2の絶縁膜層304を積層形成し、さらにその上に第2のポリシリコン層305を形成する。周知のように、フラッシュメモリデバイスでは、第1の絶縁層302はトンネル酸化膜として作動し、第1のポリシリコン層303はフローティングゲートとして作動し、第2のポリシリコン層305はコントロールゲートとして作動する。これらの層をシリコン基板301上に形成する方法についても、周知である。

図15Aには示していないが、次に、第2のポリシリコン層30

5 上にフォトレジストを塗布し、これをフォトリソグラフィー技術によってパターンニングしてエッチングのためのマスク 306 とする。その後、このようにして形成されたマスク 306 を利用して、例えばプラズマエッチングを行うことによって、図 15B に示すように、シリコン基板 301 にトレンチ 307 を一気に形成し、各メモリ領域を分離する。

次に、図 15C に示すように、トレンチ 307 に対して本発明の方法に従ってプラズマ酸化処理を行い、トレンチ 307 の内表面にシリコン酸化膜 308 を形成する。このようにすることによって、トレンチ 307 の側壁におけるシリコン酸化膜 308a の膜厚を底部のシリコン酸化膜 308b の膜厚に比べて極端に薄く形成することができるため、本デバイスでは、個々のメモリ素子においてゲート長を長く取ることができる。

次に、図 15D に示すように、マスク 306 を例えばアッシングによって除去し、適宜メタル配線（図示せず）を形成した後、例えば CVD またはプラズマ CVD により SiO_2 などの層間絶縁膜 309 を形成して、各メモリ領域を埋め込み、フラッシュメモリを完成する。上述したように、このフラッシュメモリでは、各メモリ素子の側壁に形成されるシリコン酸化膜の膜厚を非常に薄くすることが可能なため、素子を微細化しつつゲート長を長く取ることができる。これによって、メモリ容量が大きくかつ動作の信頼性が高いフラッシュメモリを得ることができる。

請 求 の 範 囲

1. プラズマ処理装置の処理室内で、凹凸形状を有する被処理体の表面に露出したシリコン部分に処理ガスのプラズマを作用させて酸化処理を施し、シリコン酸化膜を形成するシリコン酸化膜の形成方法であって、

前記処理室内で被処理体を載置する載置台に被処理体の面積当たり 0.2 W/cm^2 以上 2.3 W/cm^2 以下の範囲内の出力で高周波電力を印加しながら、前記処理ガス中の酸素の割合が体積比で 0.1% 以上 50% 以下の範囲内であり、処理圧力が 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内の条件で前記プラズマを生成させることにより、前記凹凸形状の側壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕を 0.6 以下とすることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

2. 請求項 1 に記載の方法において、前記処理ガス中の酸素の割合を体積比で 0.5% 以上 50% 以下とし、かつ前記処理圧力を 67 Pa 以上 133 Pa 以下とすることによって、前記凹凸形状の側壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚と、前記凹部の底壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕を 0.01 以上 0.6 以下とすることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

3. 請求項 1 に記載の方法において、前記処理ガス中の酸素の割合を体積比で 0.5% 以上 25% 以下とし、かつ前記処理圧力を 20 Pa 以上 60 Pa 以下とすることによって、前記凹凸形状の側壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚と、前記凹部の底壁面の前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕を 0.01

以上 0.4 以下とすることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

4. 請求項 1 に記載の方法において、前記処理ガス中に水素を含ませることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

5. 請求項 4 に記載の方法において、前記処理ガス中の水素と酸素の合計流量に対する水素流量の体積比率が 1 % 以上 90 % 以下の範囲内であることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

6. 請求項 1 に記載の方法において、前記高周波電力の周波数は、100 kHz 以上 60 MHz 以下の範囲内であることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

7. 請求項 1 に記載の方法において、処理温度が室温以上 600 °C 以下の範囲内であることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

8. 請求項 1 に記載の方法において、前記プラズマは、前記処理ガスと、複数のスロットを有する平面アンテナにより前記処理室内に導入されるマイクロ波と、によって形成されるマイクロ波励起プラズマであることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

9. 請求項 8 に記載の方法において、前記マイクロ波のパワー密度が、被処理体の面積あたり 0.255 W/cm^2 以上 2.55 W/cm^2 以下の範囲内であることを特徴とするシリコン酸化膜の形成方法。

10. コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたコンピュータ読み取り可能な記憶媒体であって、

前記制御プログラムは、実行時に、プラズマ処理装置の処理室内で、凹凸形状を有する被処理体の表面に露出したシリコン部分に対し、被処理体を載置する載置台に被処理体の面積当り 0.2 W/cm^2 以上 2.3 W/cm^2 以下の範囲内の出力で高周波電力を印加し

ながら、処理ガス中の酸素の割合が体積比で 0.1 % 以上 50 % 以下の範囲内であり、かつ処理圧力が 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内である条件で生成させた処理ガスのプラズマを作用させることによって酸化処理を施し、前記凹凸形状の側壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕が 0.6 以下になるようにシリコン酸化膜を形成するシリコン酸化膜の形成方法が行われるようにコンピュータに前記プラズマ処理装置を制御させるものであることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記憶媒体。

11. プラズマを用いて被処理体を処理する上部が開口した処理室と、

前記処理室の前記開口部を塞ぐ誘電体部材と、

前記誘電体部材の外側に設けられ、前記処理室内に電磁波を導入するためのアンテナと、

前記処理室内に原料ガスを供給するガス供給機構と、

前記処理室内を減圧排気する排気機構と、

前記処理室内で被処理体を載置する載置台と、

前記載置台に接続された高周波電源と、

前記処理室内で、凹凸形状を有する被処理体表面に露出したシリコン部分に処理ガスのプラズマによる酸化処理を施してシリコン酸化膜を形成するにあたり、

前記載置台に被処理体の面積当たり $0.2 \text{ W} / \text{cm}^2$ 以上 $2.3 \text{ W} / \text{cm}^2$ 以下の範囲内の出力で高周波電力を印加するとともに、前記ガス供給機構によって供給される前記処理ガス中の酸素の割合を体積比で 0.1 % 以上 50 % 以下の範囲内とし、かつ前記排気機構により処理圧力を 1.3 Pa 以上 667 Pa 以下の範囲内としなが

ら、前記アンテナによって前記処理室内に電磁波を導入することにより前記プラズマを生成させて、前記凹凸形状の側壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚と、凹部の底壁面に形成される前記シリコン酸化膜の膜厚との比〔側壁面の膜厚／底壁面の膜厚〕が0.6以下となるように制御する制御部と、
を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

FIG.1

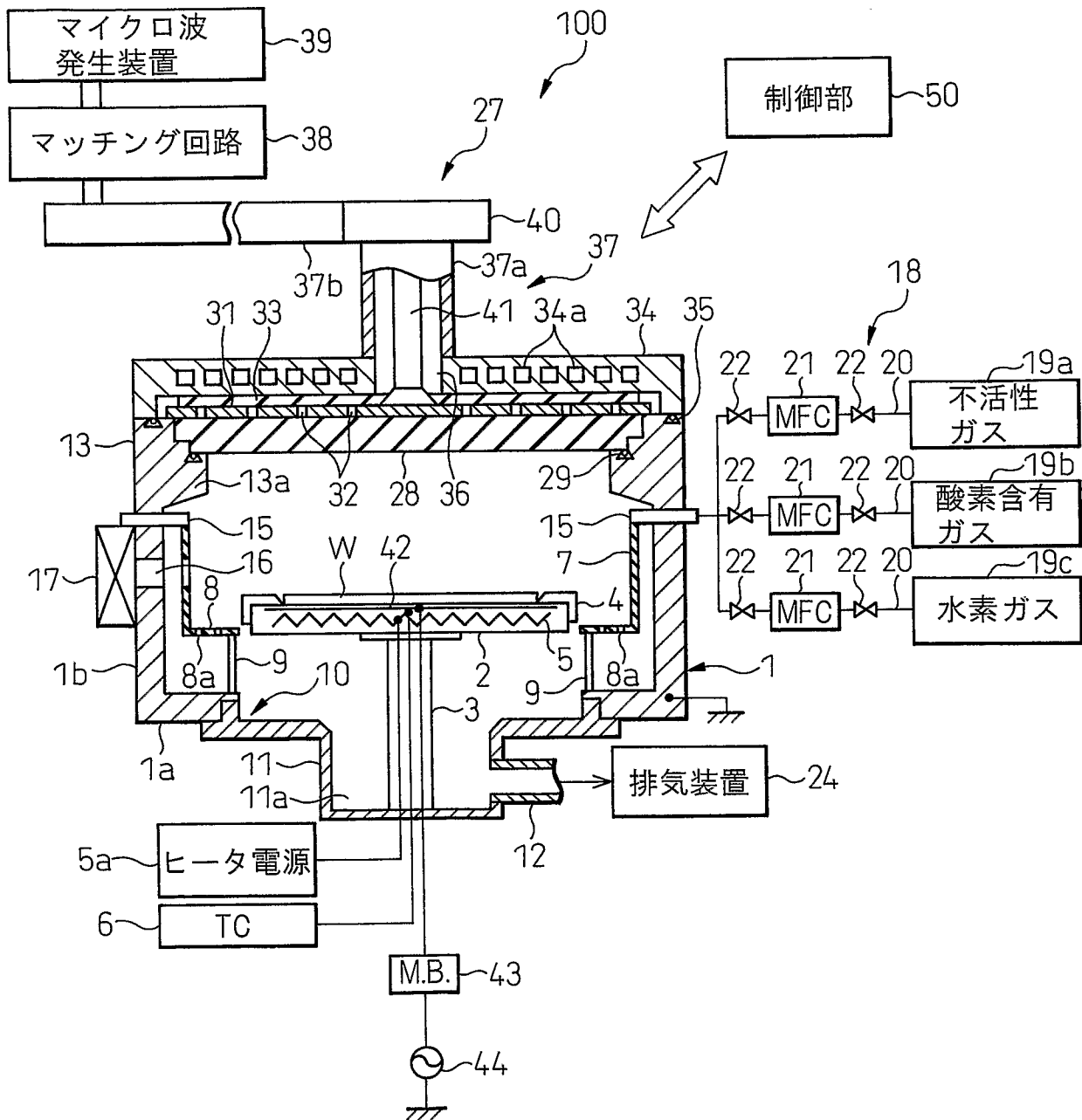


FIG.2

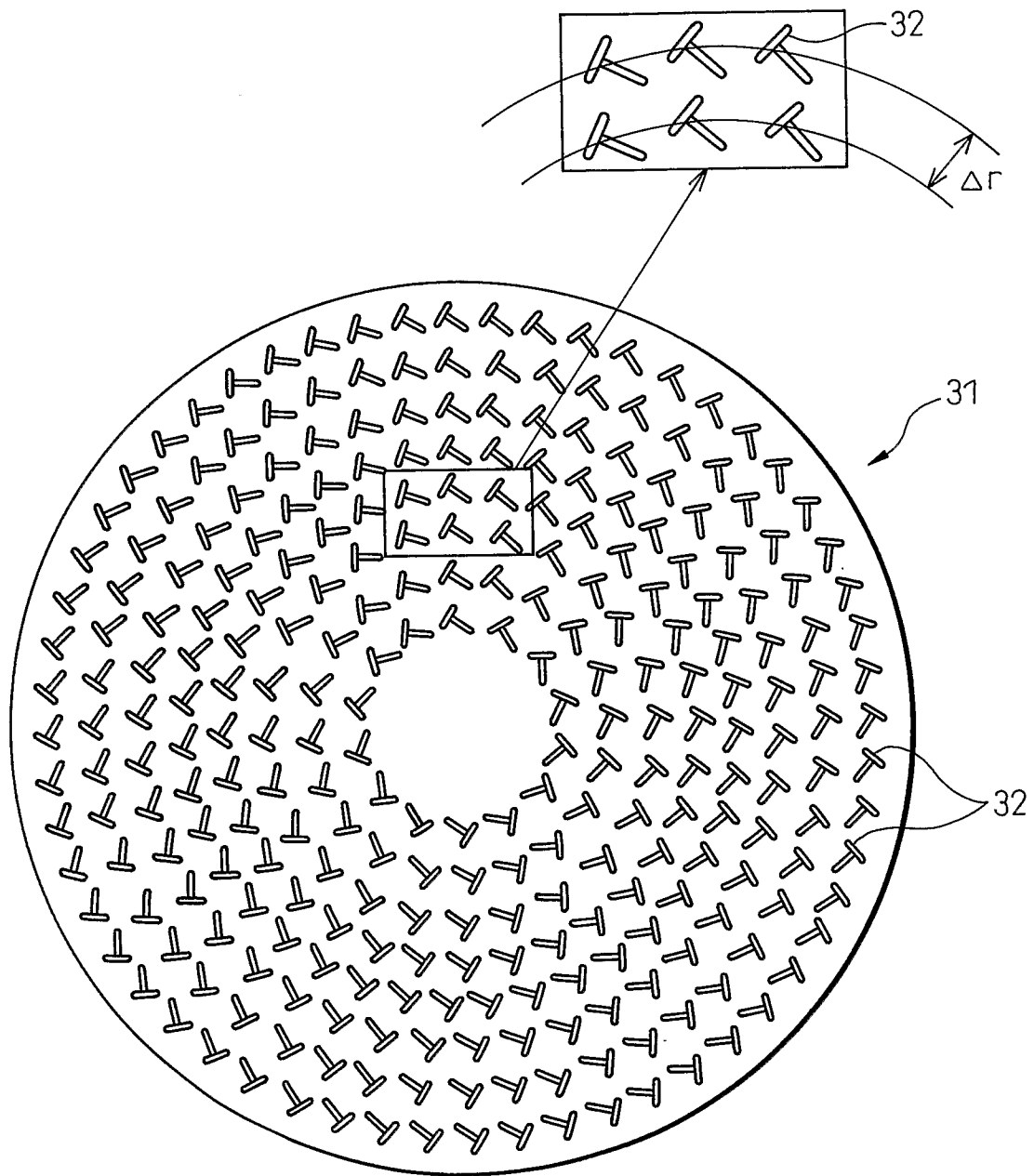


FIG.3

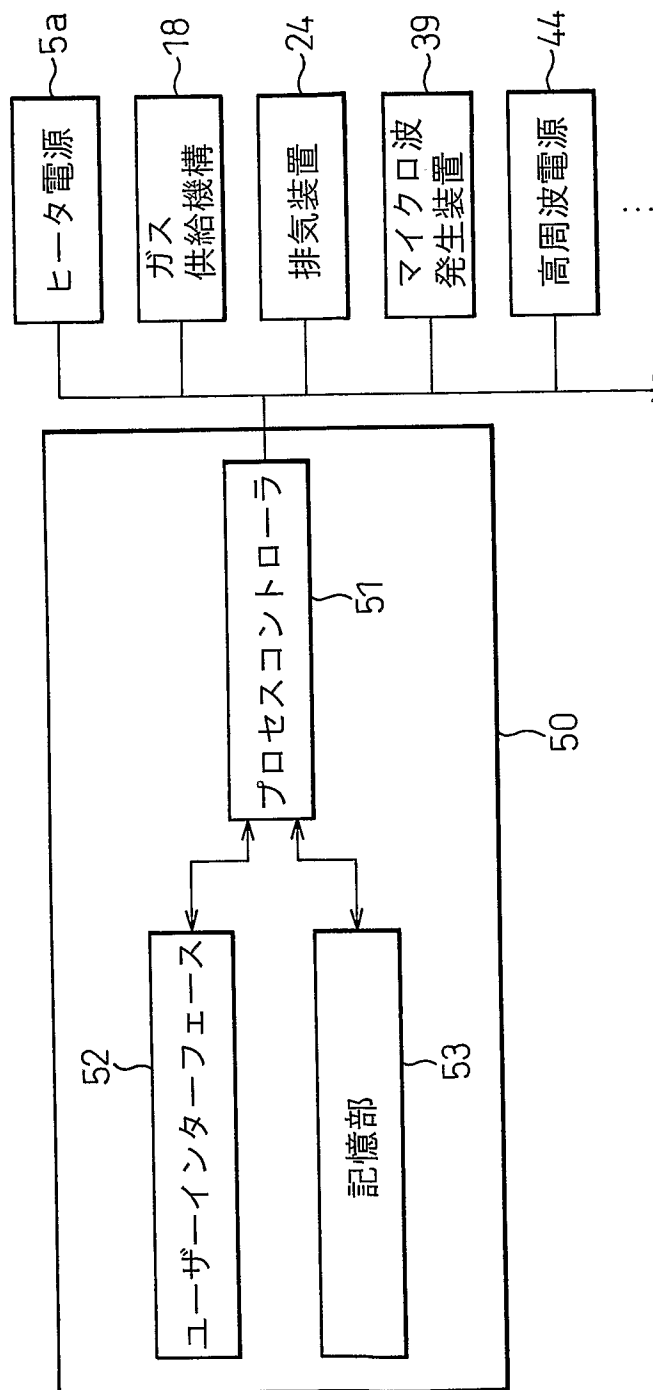


FIG.4A



FIG.4B

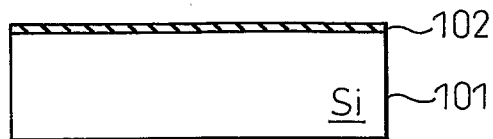


FIG.4C

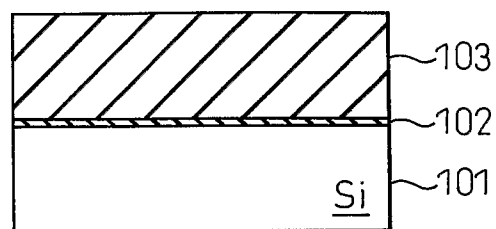


FIG.4D

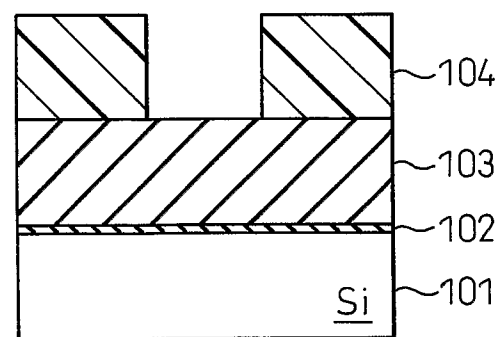


FIG.4E

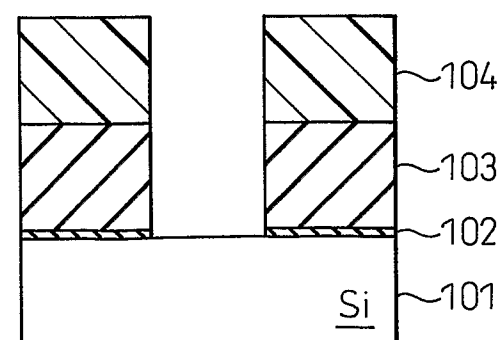


FIG.4F

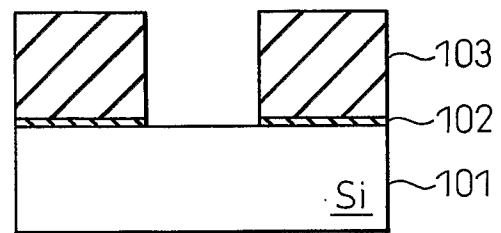


FIG.4G

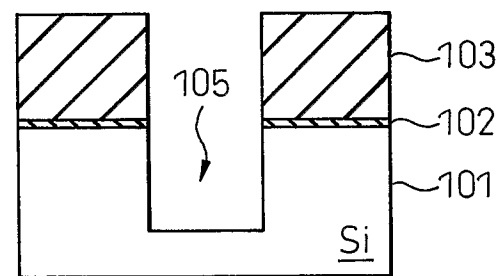


FIG.4H

プラズマ酸化処理
↓ ↓ ↓ ↓ ↓

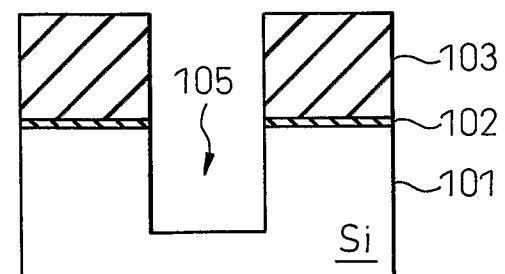


FIG.4I

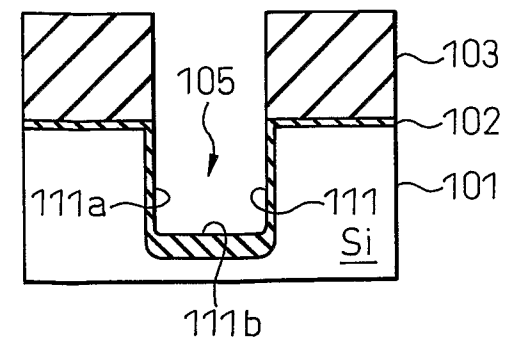


FIG.5A

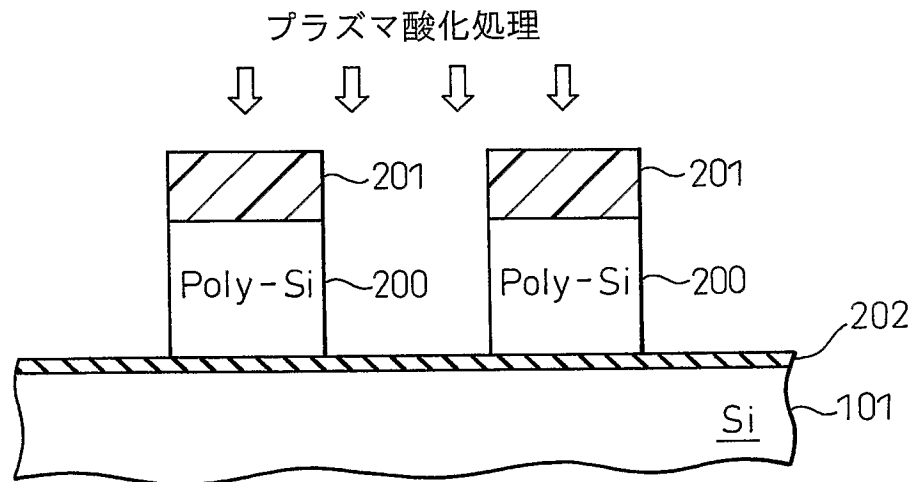


FIG.5B

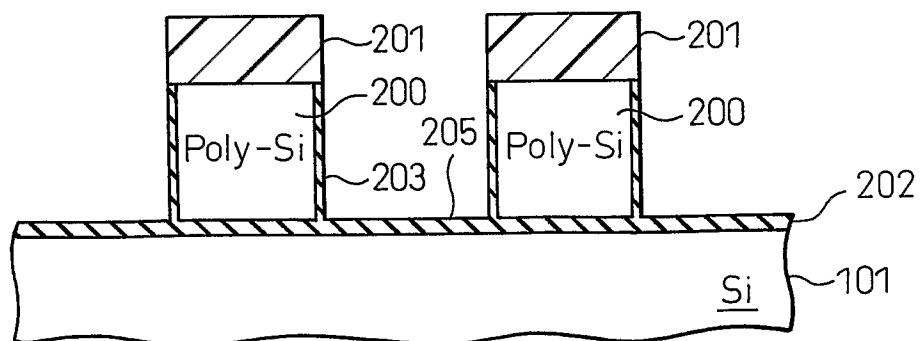


FIG.6A

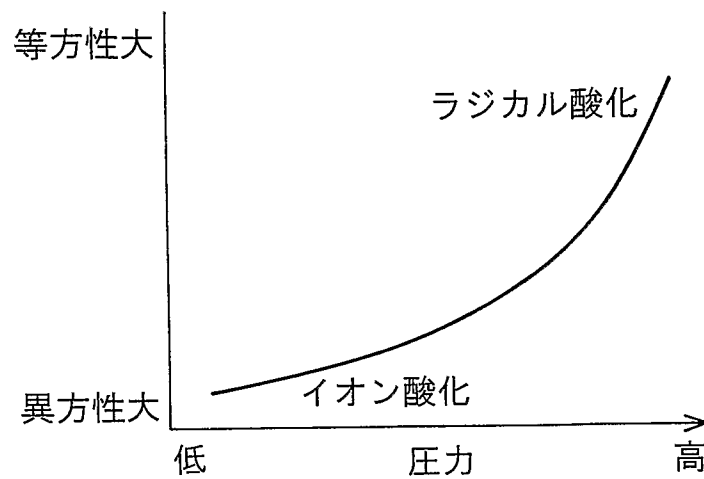


FIG.6B

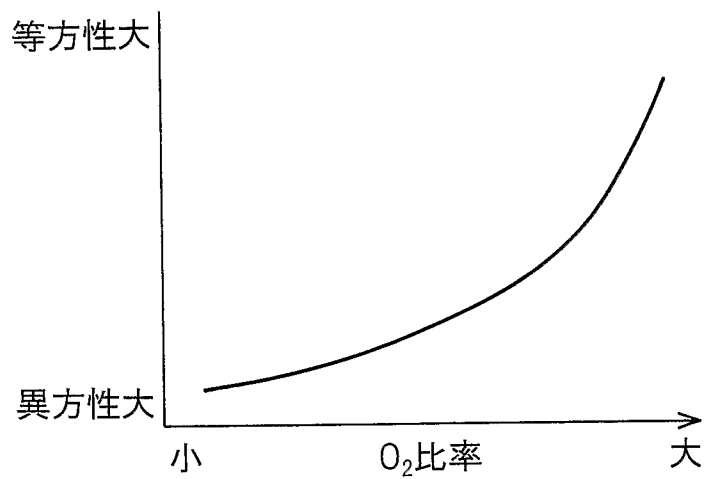


FIG.6C

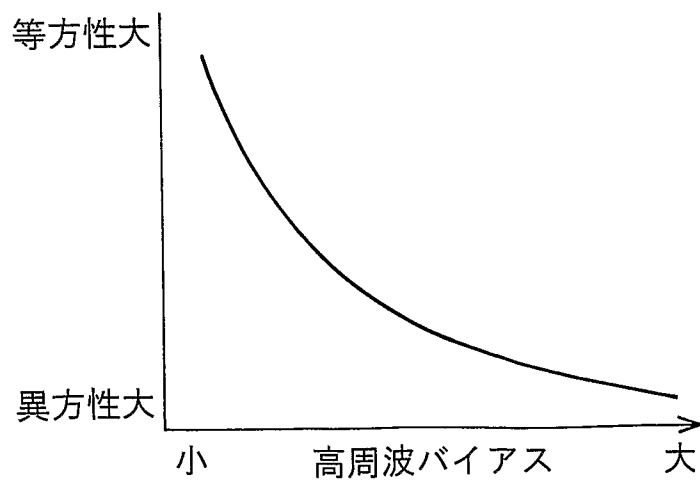


FIG.7

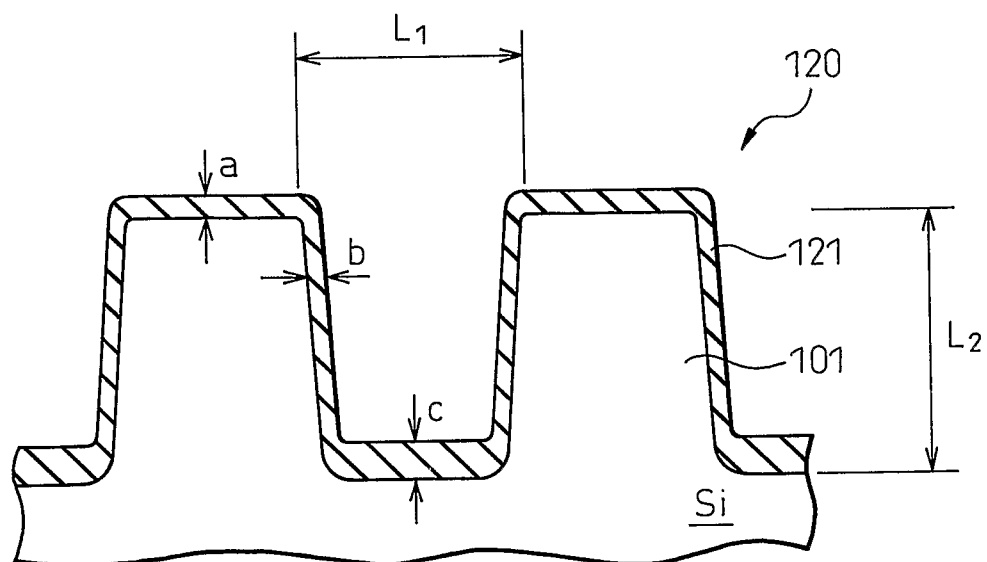


FIG.8

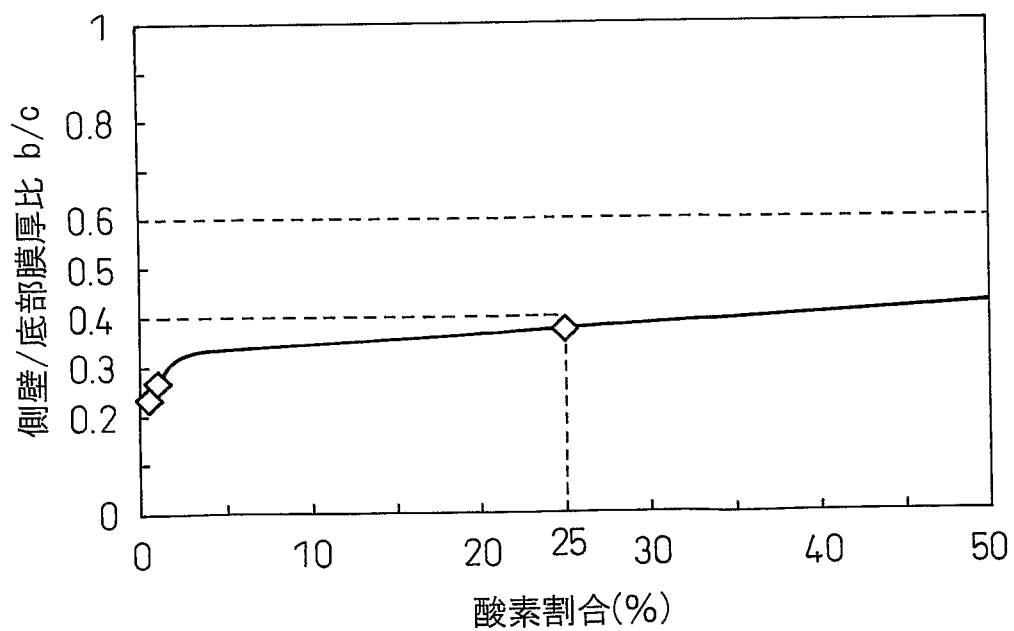


FIG.9

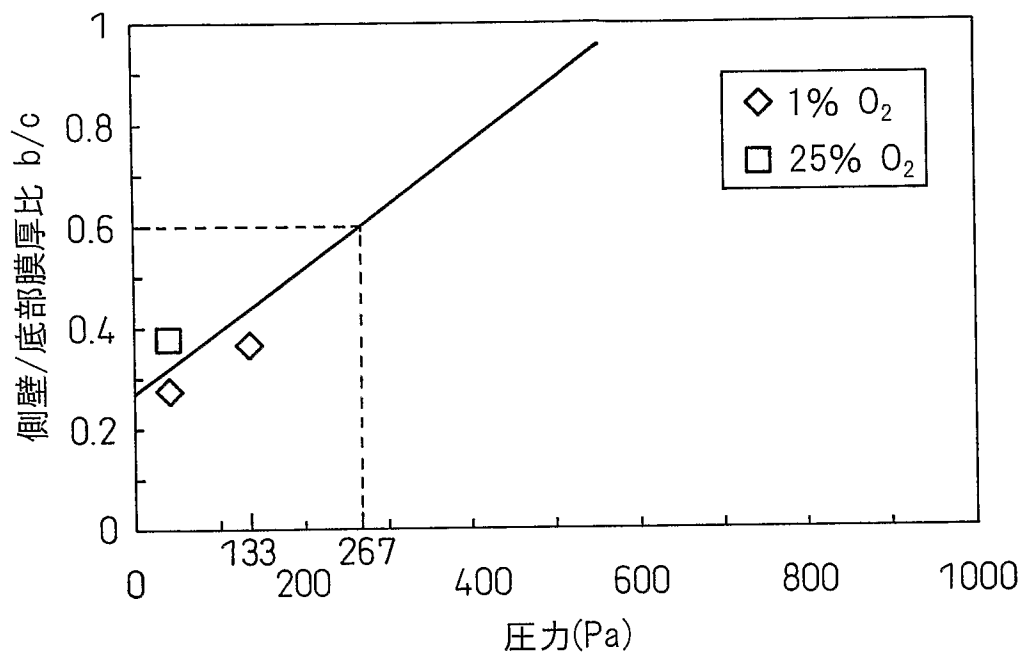


FIG.10

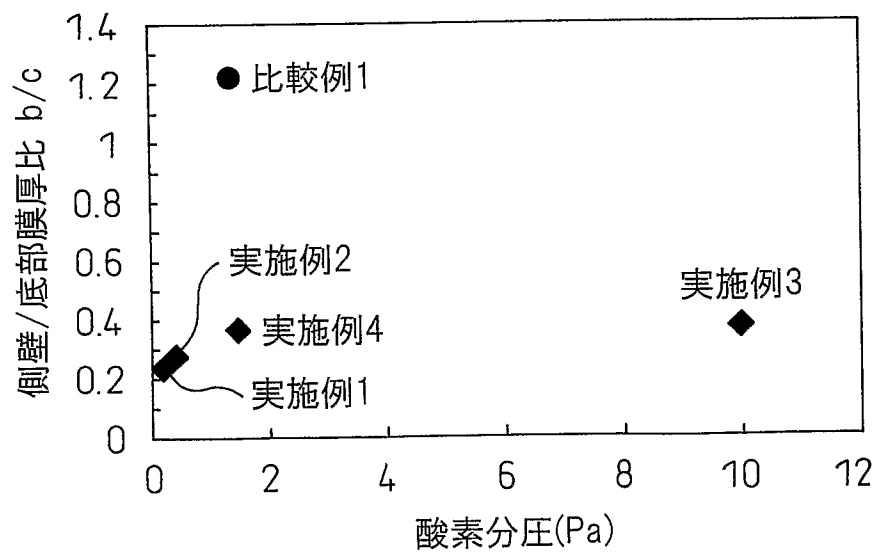


FIG.11

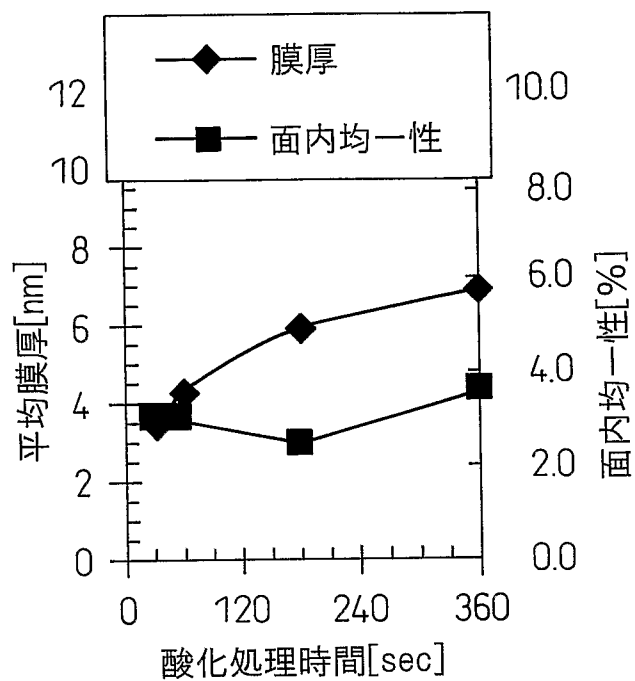


FIG.12

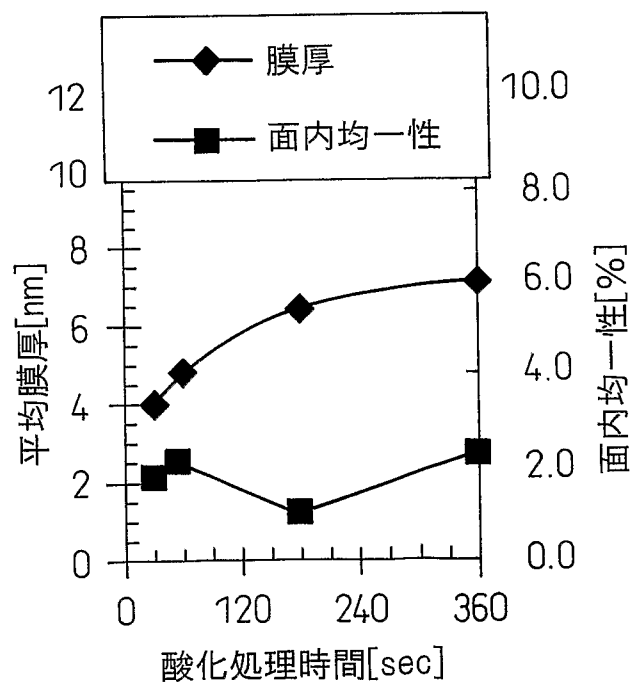


FIG.13

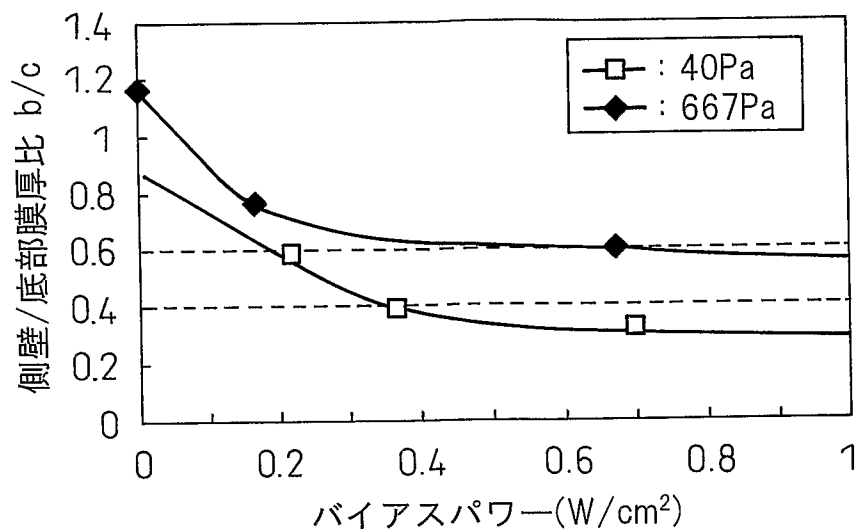


FIG.14

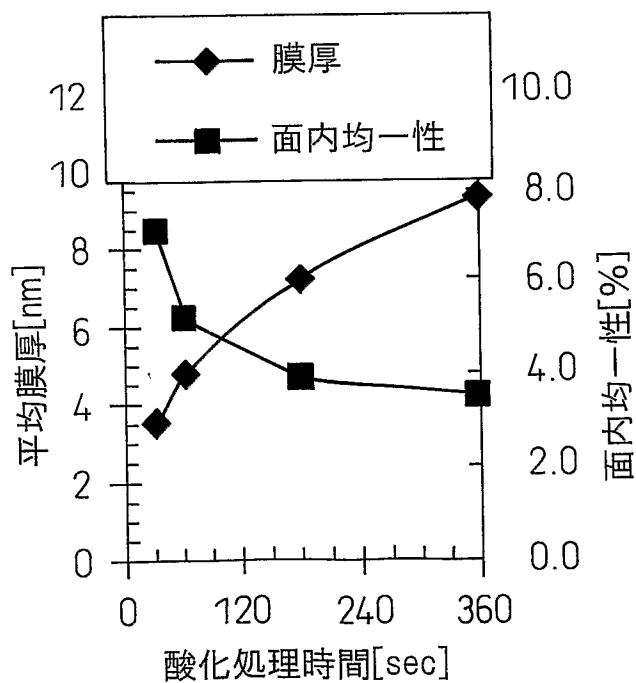


FIG.15A

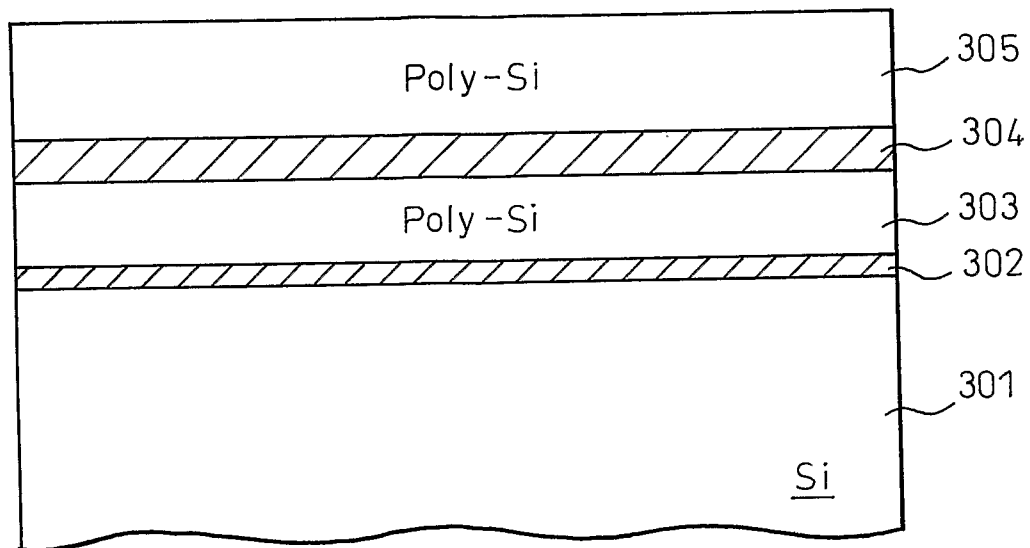


FIG.15B

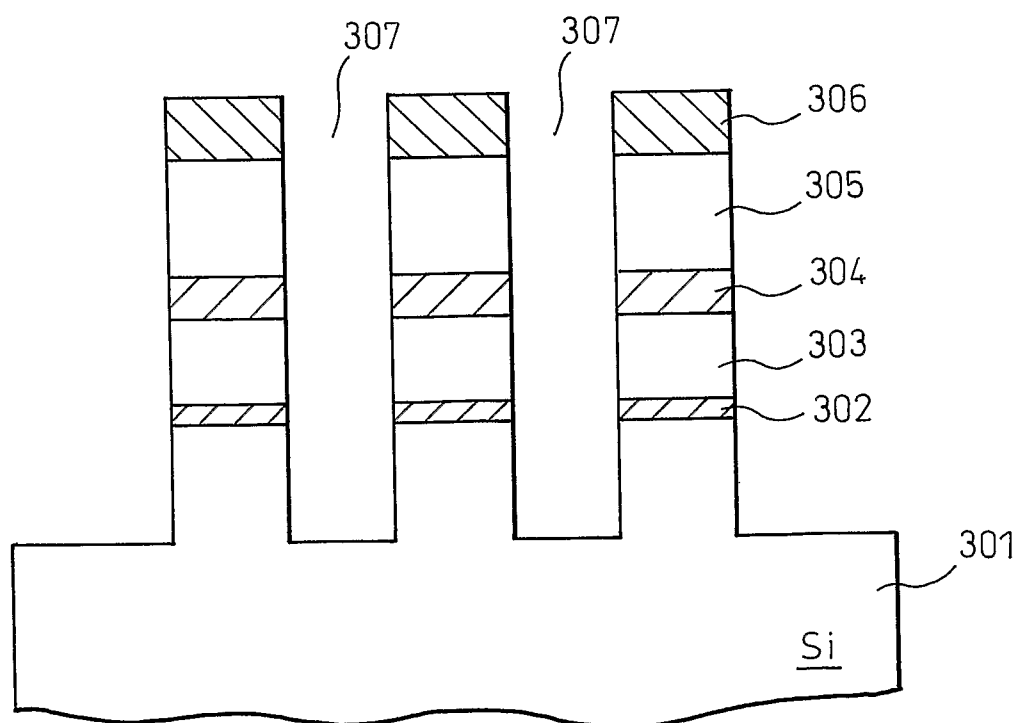


Fig.15C

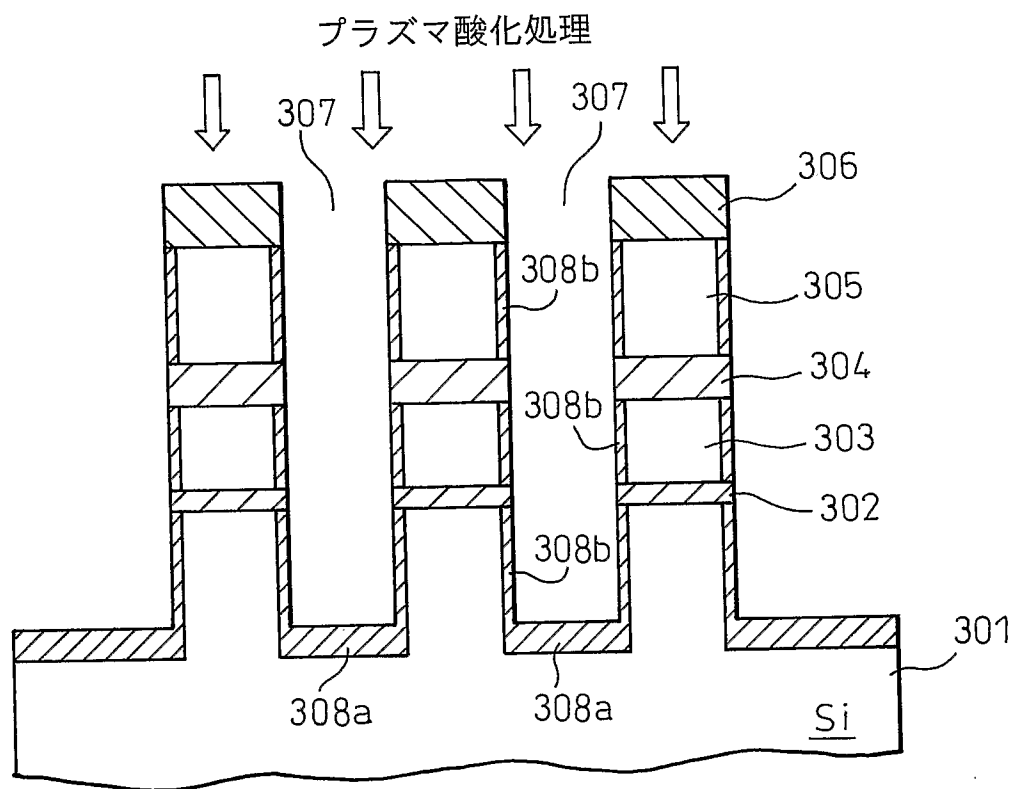
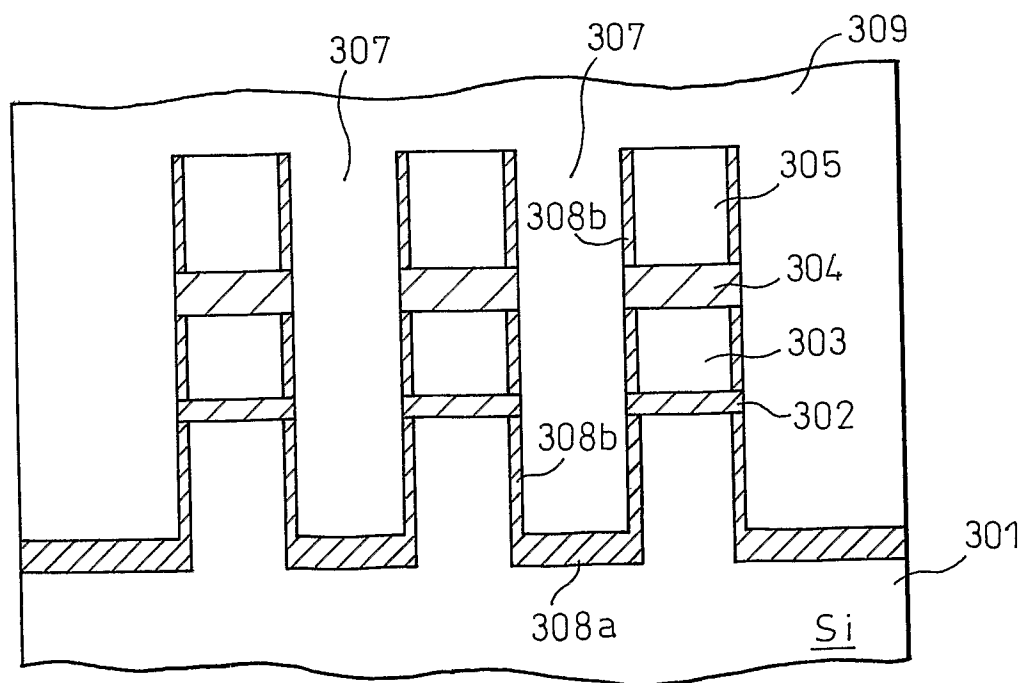


Fig.15D



符号の説明

- 1 … チャンバー（処理室）
- 2 … 載置台
- 3 … 支持部材
- 5 … ヒータ
- 1 2 … 排気管
- 1 5 … ガス導入部
- 1 6 … 搬入出口
- 1 7 … ゲートバルブ
- 1 8 … ガス供給機構
- 1 9 a … 不活性ガス供給源
- 1 9 b … 酸素含有ガス供給源
- 1 9 c … 水素ガス供給源
- 2 4 … 排気装置
- 2 8 … 透過板
- 2 9 … シール部材
- 3 1 … 平面アンテナ
- 3 2 … マイクロ波放射孔
- 3 7 … 導波管
- 3 7 a … 同軸導波管
- 3 7 b … 矩形導波管
- 3 9 … マイクロ波発生装置
- 5 0 … 制御部
- 5 1 … プロセッサコントローラ
- 5 2 … ユーザーインターフェース
- 5 3 … 記憶部
- 1 0 0 … プラズマ処理装置
- 1 0 1 … シリコン基板
- 1 0 2 … シリコン酸化膜
- 1 0 3 … シリコン窒化膜
- 1 0 5 … トレンチ
- 2 0 0 … ポリシリコン電極
- 1 2 0 … パターン
- 1 2 1 … シリコン酸化膜
- W … 半導体ウエハ（基板）

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/051517

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/316(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/76(2006.01)i,
H01L21/8234
(2006.01)i, H01L21/8247(2006.01)i, H01L27/08(2006.01)i, H01L27/088
(2006.01)i, H01L27/115(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i,

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/316, H01L21/31, H01L21/76, H01L21/8234, H01L21/8247, H01L27/08,
H01L27/088, H01L27/115, H01L29/78, H01L29/788, H01L29/792

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 2006-286662 A (Toshiba Corp.), 19 October, 2006 (19.10.06), Par. Nos. [0016] to [0035]; Fig. 1 & US 2006/0219659 A1 & KR 10-2006-0105588 A & CN 1841674 A	11 <u>1-10</u>
Y	JP 2002-280369 A (Canon Sales Co., Inc.), 27 September, 2002 (27.09.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
Y	JP 5-19296 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 29 January, 1993 (29.01.93), Par. Nos. [0032] to [0049]; Fig. 1 (Family: none)	1-10

☒ 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
13 February, 2009 (13.02.09)

Date of mailing of the international search report
03 March, 2009 (03.03.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/051517

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-349546 A (Tokyo Electron Ltd.), 09 December, 2004 (09.12.04), Par. Nos. [0016] to [0106]; Figs. 2, 5, 11 to 16 & US 2005/0005844 A1 & US 2007/0128880 A1	8, 9
A	JP 2004-47950 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 12 February, 2004 (12.02.04), Par. Nos. [0027] to [0039]; Figs. 2, 7 & JP 2004-47948 A & US 2003/0219989 A1 & US 2003/0224616 A1 & TW 237313 B & TW 243422 B	1-11
A	JP 2001-156059 A (Matsushita Electronics Corp.), 08 June, 2001 (08.06.01), Full text; all drawings & US 6800512 B1 & US 2004/0224450 A1	1-11
A	JP 11-219950 A (Hitachi, Ltd.), 10 August, 1999 (10.08.99), Par. Nos. [0014] to [0020]; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/051517

Continuation of A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
(International Patent Classification (IPC))

H01L29/788(2006.01)i, H01L29/792(2006.01)i

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

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/316(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/76(2006.01)i, H01L21/8234(2006.01)i,
H01L21/8247(2006.01)i, H01L27/08(2006.01)i, H01L27/088(2006.01)i, H01L27/115(2006.01)i,
H01L29/78(2006.01)i, H01L29/788(2006.01)i, H01L29/792(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. H01L21/316, H01L21/31, H01L21/76, H01L21/8234, H01L21/8247, H01L27/08, H01L27/088, H01L27/115,
H01L29/78, H01L29/788, H01L29/792

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 請求の範囲の番号
X	JP 2006-286662 A (株式会社東芝) 2006. 10. 19, 【0 0 1 6】 - 【0 0 3 5】、図 1	11
<u>Y</u>	& US 2006/0219659 A1 & KR 10-2006-0105588 A & CN 1841674 A	<u>1-10</u>
Y	JP 2002-280369 A (キヤノン販売株式会社) 2002. 09. 27, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 5-19296 A (松下電器産業株式会社) 1993. 01. 29, 【0 0 3 2】 - 【0 0 4 9】、図 1 (ファミリーなし)	1-10

☒ 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

1 3 . 0 2 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

0 3 . 0 3 . 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 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

大塚 徹

4 R

3 9 4 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 7 1

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 請求の範囲の番号
Y	JP 2004-349546 A (東京エレクトロン株式会社) 2004. 12. 09, 【0 0 1 6】－【0 1 0 6】、図2, 5, 1 1－1 6 & US 2005/0005844 A1 & US 2007/0128880 A1	8, 9
A	JP 2004-47950 A (株式会社日立国際電気) 2004. 02. 12, 【0 0 2 7】 －【0 0 3 9】、図2, 7 & JP 2004-47948 A & US 2003/0219989 A1 & US 2003/0224616 A1 & TW 237313 B & TW 243422 B	1-11
A	JP 2001-156059 A (松下電子工業株式会社) 2001. 06. 08, 全文、全 図 & US 6800512 B1 & US 2004/0224450 A1	1-11
A	JP 11-219950 A (株式会社日立製作所) 1999. 08. 10, 【0 0 1 4】 －【0 0 2 0】、図1, 2 (ファミリーなし)	1-11