

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 12 月 20 日(20.12.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/173122 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/065034
- (22) 国際出願日: 2012 年 6 月 12 日(12.06.2012)
- (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 2011-133482 2011 年 6 月 15 日(15.06.2011) 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).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 宇田 秀一郎(UDA, Shuichiro) [JP/JP]; 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 根津 崇明(NEZU, Takaaki) [JP/JP]; 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 瀧上 慎司(FUCHIGAMI, Shinji) [JP/JP]; 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒ

ルズ 1 番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 丸山 幸児(MARUYAMA, Koji) [JP/JP]; 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP).

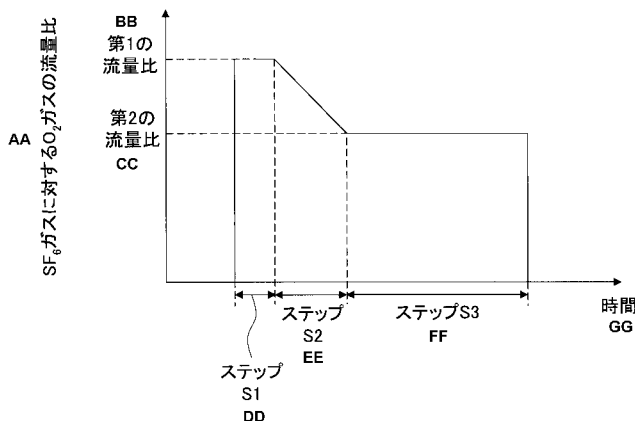
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外(ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号 丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 16 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, 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, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ

[続葉有]

(54) Title: PLASMA ETCHING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマエッチング方法

[図9A]



AA FLOW RATIO OF O₂ GAS TO SF₆ GAS
BB FIRST FLOW RATIO
CC SECOND FLOW RATIO
DD STEP S1
EE STEP S2
FF STEP S3
GG TIME

(57) Abstract: Provided is a plasma etching method comprising: supplying an etching gas including an oxygen gas and a sulfur fluoride gas is supplied at a prescribed flow rate into a process container in which a substrate to be processed is placed, the substrate being comprised of a silicon layer and a resist layer formed on the silicon layer, the resist layer having a prescribed pattern; and etching said silicon layer through said resist layer as a mask by means of the plasma generated from said supplied etching gas. The plasma etching method includes a first step of etching said silicon layer in a state where the flow ratio of the oxygen gas to the sulfur fluoride gas is defined as a first flow ratio, a second step of etching said silicon layer while reducing the flow rate of the oxygen gas such that said flow ratio changes from said first flow ratio to a second flow ratio smaller than said first flow ratio, and a third step of etching said silicon layer in a state where said flow ratio is said second flow ratio.

(57) 要約: シリコン層と、前記シリコン層の上方に、所定のパターンにパターニングされたレジスト層が形成された被処理基板が設置される処理容器内に、酸素ガスとフッ化硫黄ガスとを含んだエッチングガスを所定の流量で供給し、供給した前記エッチングガスから生成されたプラズマにより、前記レジスト層をマスクとして前記シリコン層をエッチングするプラズマエッチング方法であって、フッ化硫黄ガスに対する

酸素ガス量の流量比を第 1 の流量比とした状態で、前記シリコン層をエッチングする第 1 のステップと、前記流量比が前記第 1 の流量比から前記第 1 の流量比よりも小さい第 2 の流量比になるように、酸素ガスの流量を減少させながら前記シリコン層をエッチングする第 2 のステップと、前記流量比を前記第 2 の流量比とした状態で、前記シリコン層をエッチングする第 3 のステップとを有する、プラズマエッチング方法を提供する。

WO 2012/173122 A1



ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(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 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： プラズマエッチング方法

技術分野

[0001] 本発明は、プラズマによりエッチングを行うプラズマエッチング方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置の製造分野では、半導体装置の微細化により集積度を上げる試みが行われてきた。近年では三次元実装と呼ばれる半導体装置の積層によって単位面積あたりの集積度を上げる試みが行われている。

[0003] 積層された半導体装置は、例えばシリコン層よりなる基板を貫通して形成された電極を具備しており、この電極を介して電氣的に接続されるようになっている。このような基板を貫通する電極を形成する際には、塗布装置を用いて基板にレジストを塗布し、露光装置を用いて露光を行った後、現像装置により現像を行ってレジストパターンを形成する。プラズマエッチング装置では、形成したレジストパターンは、例えばマスクとして、基板をエッチングする際に用いられ、これによって貫通孔又はビアホール等の穴部が形成される。穴部を形成した後、基板に残存するレジストは、アッシングして除去される。

[0004] 例えばシリコン層よりなる基板のエッチングは、 SF_6 ガス等のフッ素含有化合物ガスを含むエッチングガスからプラズマを生成し、生成されたプラズマにより行われる。

[0005] 前述した穴部は、通常 $100\mu\text{m}$ 程度の深さに形成されることが要求される。しかし、エッチングガスが SF_6 ガス等のフッ素含有化合物ガスのみからなるとき、エッチングガスから生成されたプラズマによるエッチングでは、エッチングが等方性エッチングになりやすい。これにより、レジストパターンの側壁もエッチングされやすくなる。その結果、エッチング領域が横方向に広がるいわゆるアンダーカットが生じやすくなり、穴部の側壁の形状を垂

直に保持することが難しくなる。

- [0006] そこで、シリコン層をプラズマエッチングするステップを開始する前に、基板の表面に堆積物が堆積しやすいエッチングガスから生成したプラズマにより、レジストパターンの上面及び側壁に保護膜を形成するステップを行うことが提案されている（例えば、特許文献1参照。）。これにより、レジストパターンの側壁がエッチングされにくくなり、アンダーカットが発生しにくくなる。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開2009-206401号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] ところが、最近では、 $100\mu\text{m}$ 以上の深さを有する穴部を形成することが要求されており、プラズマエッチングに要する時間が長くなる。また、最近の半導体装置には更なる微細化が要求されているため、 $10\sim 20\mu\text{m}$ 程度の比較的小さい直径を有する穴部を形成することが要求されている。
- [0009] この場合、レジストパターンの上面及び側壁に保護膜を形成するステップと、その後、シリコン層をプラズマエッチングするステップとを含む従来のエッチングプロセスでは、保護膜がプラズマに対して長時間曝露されても耐えうるように、形成する保護膜を厚くせざるを得ない。これにより、保護膜を形成するステップに要する時間が増加するため、プラズマエッチングに要する全体の時間が更に増加する。この結果、高速にシリコン層をエッチングできず、半導体装置の生産性が低下する。
- [0010] また、形成される穴部の直径が小さくなるに伴い、穴部の直径に対する穴部の側壁に形成された保護膜の厚さの割合が大きくなる。そのため、穴部の深さ方向に沿った保護膜の厚さのばらつき等により垂直な側壁形状を得ることが難しくなる。また、形成される穴部の直径が小さくなるに伴い、保護膜

を堆積させるためのエッチングガスが穴部の側壁に到達しにくくなり、保護膜が形成しにくくなる。その結果、アンダーカットが発生する原因となり、穴部の側壁の形状を基板の表面に対して垂直に保持することが難しくなる。

[0011] 上記課題に対して、本発明の目的とするところは、レジストパターンが形成された基板の表面をエッチングして穴部を形成する際、穴部の側壁を基板の表面に対して垂直に形成するとともに、高速にシリコン層をエッチングするプラズマエッチング方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 上記の課題を解決するために本発明では、次に述べる手段を講じたことを特徴とするものである。

[0013] 本発明の一実施例によれば、シリコン層よりなるとともに、前記シリコン層の上方に、所定のパターンにパターニングされたレジスト層が形成されてなる被処理基板が設置されている処理容器内に、酸素ガスとフッ化硫黄ガスとを含んだエッチングガスを所定の流量で供給し、供給した前記エッチングガスをプラズマ化したプラズマにより、前記レジスト層をマスクとして前記シリコン層をエッチングするプラズマエッチング方法において、フッ化硫黄ガスに対する酸素ガスの流量比を第1の流量比とした状態で、前記シリコン層をエッチングする第1のステップと、前記流量比が前記第1の流量比から前記第1の流量比よりも小さい第2の流量比になるように、酸素ガスの流量を減少させながら前記シリコン層をエッチングする第2のステップと、前記流量比を前記第2の流量比とした状態で、前記シリコン層をエッチングする第3のステップとを有する、プラズマエッチング方法が提供される。

[0014] また、本発明の他の一実施例によれば、シリコン層よりなるとともに、前記シリコン層の上方に、所定のパターンにパターニングされたレジスト層が形成されてなる被処理基板が設置されている処理容器内に、酸素ガスとフッ化硫黄ガスとを含んだエッチングガスを所定の流量で供給し、供給した前記エッチングガスをプラズマ化したプラズマにより、前記レジスト層をマスクとして前記シリコン層をエッチングするプラズマエッチング方法において、

エッチングを開始する際には、フッ化硫黄ガスに対する酸素ガスの流量比を第1の流量比としたときに、前記エッチングガスをプラズマ化したプラズマを前記レジスト層と反応させることで前記被処理基板の表面に保護膜を堆積させる堆積速度と、前記保護膜をエッチングするエッチング速度とが等しくなるような所定磁界よりも大きな第1の磁界を、前記被処理基板に印加するとともに、前記流量比を前記第1の流量比とした状態で、前記被処理基板の表面に前記保護膜を堆積するものであって、エッチングの進行に伴って、前記被処理基板に前記第1の磁界を印加した状態で、酸素ガスの流量を減少させることによって、前記エッチング速度を前記堆積速度よりも相対的に大きくするものである、プラズマエッチング方法が提供される。

[0015] また、本発明の他の一実施例によれば、シリコン層よりなるとともに、前記シリコン層の上方に、所定のパターンにパターニングされたレジスト層が形成されてなる被処理基板が設置されている処理容器内に、酸素ガスとフッ化硫黄ガスとを含んだエッチングガスを所定の流量で供給し、供給した前記エッチングガスをプラズマ化したプラズマにより、前記レジスト層をマスクとして前記シリコン層をエッチングして穴部を形成するプラズマエッチング方法において、エッチングを開始する際には、フッ化硫黄ガスに対する酸素ガスの流量比を第1の流量比としたときに、前記エッチングガスをプラズマ化して発生させた酸素ラジカルを前記レジスト層と反応させることで前記レジスト層の表面及び形成される前記穴部の側壁に保護膜を堆積させる堆積速度と、前記保護膜をエッチングするエッチング速度とが等しくなるような所定磁界よりも大きな第1の磁界を、前記被処理基板に印加するとともに、前記流量比を前記第1の流量比とした状態で、前記レジスト層の表面及び前記穴部の側壁に前記保護膜を堆積するものであって、前記穴部の深さ寸法の増加に伴って、前記被処理基板に前記第1の磁界を印加した状態で、酸素ガスの流量を減少させることによって、前記エッチング速度を前記堆積速度よりも相対的に大きくするものである、プラズマエッチング方法が提供される。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、レジストパターンが形成された基板の表面をエッチングして穴部を形成する際、穴部の側壁を基板の表面に対して垂直に形成するとともに、高速にシリコン層をエッチングすることができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]第1の実施の形態に係るプラズマエッチング方法に好適なプラズマエッチング装置の構成を示す概略断面図である。

[図2]図1のプラズマエッチング装置に取り付けられるダイポールリング磁石の構成を模式的に示す横断面図である。

[図3]図1のプラズマエッチング装置のチャンバ内で形成される電界及び磁界を説明するための図である。

[図4]図1のエッチング装置におけるエッチングガス供給部の構成を示す図である。

[図5]第1の実施の形態に係るプラズマエッチング方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図（その1）である。

[図6]第1の実施の形態に係るプラズマエッチング方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図（その2）である。

[図7]第1の実施の形態に係るプラズマエッチング方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図（その3）である。

[図8]第1の実施の形態に係るプラズマエッチング方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図（その4）である。

[図9A]シリコン層をエッチングする工程における SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比の時間変化を模式的に示すグラフである。

[図9B]シリコン層をエッチングする工程における SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比の時間変化と高周波印加を模式的に示すグラフである。

[図10]比較例1に係るシリコン層をエッチングする工程における SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比の時間変化を模式的に示すグラフである。

[図11]比較例2に係るシリコン層をエッチングする工程における SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比の時間変化を模式的に示すグラフである。

[図12]比較例1に係るシリコン層をエッチングする工程における酸素ラジカルの発光強度をOESにより計測した結果を示すグラフである。

[図13]比較例2に係るシリコン層をエッチングする工程における酸素ラジカルの発光強度をOESにより計測した結果を示すグラフである。

[図14]比較例1に係るシリコン層をエッチングする工程におけるウェハの表面の状態を模式的に示す図である。

[図15]比較例2に係るシリコン層をエッチングする工程におけるウェハの表面の状態を模式的に示す図である。

[図16]S i F₄ガスに対するO₂ガスの流量比を変えた場合における、保護膜の堆積速度を計測した結果を示すグラフである。

[図17]S F₆ガスに対するO₂ガスの流量比と、保護膜の堆積速度及びエッチング速度との関係とを模式的に示すグラフである。

[図18]実施例1に係るシリコン層をエッチングする工程における酸素ラジカルの発光強度をOESにより計測した結果を示すグラフである。

[図19]第2の実施の形態に係るプラズマエッチング方法を含む半導体装置の製造方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図（その1）である。

[図20]第2の実施の形態に係るプラズマエッチング方法を含む半導体装置の製造方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図（その2）である。

[図21]一実施形態に係るシリコン層をエッチングする工程の例を示す表である。

発明を実施するための形態

[0018] 次に、本発明を実施するための形態について図面と共に説明する。

（第1の実施の形態）

始めに、本発明の第1の実施の形態に係るプラズマエッチング方法について説明する。

[0019] 図1は、本実施の形態に係るプラズマエッチング方法に好適なプラズマエ

ツチング装置の構成を示す概略断面図である。図2は、ダイポールリング磁石24の構成を模式的に示す横断面図である。図3は、チャンバ1内で形成される電界及び磁界を説明するための図である。図4は、エッチングガス供給部23の構成を示す図である。

[0020] プラズマエッチング装置は、マグネトロン反応性イオンエッチング (Reactive Ion Etching ; R I E) 型のプラズマエッチング装置として構成されており、例えばアルミニウム又はステンレス鋼等の金属よりなるチャンバ (処理容器) 1 を有している。

[0021] チャンバ1内には、被処理基板として例えばシリコンウェハ (以下、単に「ウェハ」という。) Wを載置するためのテーブル又はサセプタ2が設けられている。サセプタ2は、例えばアルミニウムからなり、絶縁部材3を介して導体よりなる支持部4に支持されている。サセプタ2の上面の周囲には、例えば石英よりなるフォーカスリング5が配置されている。サセプタ2の上面には、ウェハWを静電吸着力により保持するための静電チャック6が設けられている。サセプタ2と支持部4は、ボールネジ7を含む昇降機構により昇降可能となっており、支持部4の下方に設けられる昇降駆動部 (図示せず) は、ステンレス鋼よりなるベローズ8で覆われている。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。フォーカスリング5の下面はバッフル板10に接続されており、フォーカスリング5は、バッフル板10、支持部4及びベローズ8を介してチャンバ1と導通している。チャンバ1は接地されている。

[0022] なお、サセプタ2及び支持部4は、本発明における支持部に相当する。

[0023] チャンバ1は、径が小さい上部1aと上部1aより径が大きい下部1bとを有する。チャンバ1の下部1bの側壁には排気口11が形成され、排気口11に排気管を介して排気系12が接続されている。排気系12の真空ポンプを作動させることにより、チャンバ1内の処理空間を所定の真空度まで減圧できるようになっている。チャンバ1の下部1bの側壁には、ウェハWの搬入出口を開閉するゲートバルブ13も取り付けられている。

- [0024] サセプタ 2 には、整合器 1 4 を介してプラズマ生成および反応性イオンエッチング（R I E）用の第 1 の高周波電源 1 5 が電氣的に接続されている。第 1 の高周波電源 1 5 は、例えば 4 0 M H z の第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を、下部電極すなわちサセプタ 2 に供給する。
- [0025] チャンバ 1 の天井部には、後述するシャワーヘッド 2 0 が接地電位に保持された上部電極として設けられている。従って、第 1 の高周波電源 1 5 からの第 1 の高周波電力は、サセプタ 2 とシャワーヘッド 2 0 との間に供給される。
- [0026] サセプタ 2 には、第 1 の高周波電源 1 5 と並列に、第 2 の高周波電源 2 6 も別個の整合器 2 5 を介して電氣的に接続されている。第 2 の高周波電源 2 6 は、第 1 の高周波電源 1 5 が供給する第 1 の高周波電力の第 1 の周波数よりも低い、例えば 3 . 6 M H z の第 2 の周波数を有する第 2 の高周波電力を、サセプタ 2 に重畳的に供給する。第 2 の高周波電源 2 6 からの第 2 の高周波電力は、後述するように、穴部を形成する際に、穴部の側壁荒れが発生することを防止するためのものである。
- [0027] 静電チャック 6 は、導電膜よりなる電極 6 a を一対の絶縁シート 6 b の間に挟み込んだものであり、電極 6 a には直流電源 1 6 が電氣的に接続されている。直流電源 1 6 からの直流電圧により、静電引力によりウェハ W を吸着保持することができる。
- [0028] サセプタ 2 の内部には、例えば円周方向に延在する冷媒室 1 7 が設けられている。この冷媒室 1 7 には、外付けのチラーユニット（図示せず）より配管 1 7 a、1 7 b を介して所定温度の冷媒たとえば冷却水が循環供給される。冷媒の温度によってサセプタ 2 上のウェハ W の処理温度を制御できる。エッチングにより形成される穴部の側壁形状を垂直にするために、サセプタ 2 の温度は低いほど好ましく、たとえば − 3 0 ° C 程度の冷媒を用いてよい。
- [0029] 更に、ガス導入機構 1 8 からの冷却ガスたとえば H e ガスが、ガス供給ライン 1 9 を介して静電チャック 6 の上面とウェハ W の裏面との間に供給される。ガス導入機構 1 8 は、エッチング加工のウェハ面内均一性を高めるため

、ウェハ中心部とウェハ周縁部とでガス圧つまり背圧を独立的に制御できるようになっている。

[0030] 天井部のシャワーヘッド20は、サセプタ2の上面と平行に対向する下面に多数のガス吐出口22を設けている。ガス吐出面の内側にバッファ室21が設けられ、バッファ室21のガス導入口20aには、エッチングガス供給部23からのガス供給配管23aが接続されている。

[0031] チャンバ1の上部1aの周囲には、環状または同心状に延在するダイポールリング磁石24が配置されている。ダイポールリング磁石24は、図2の横断面図に示すように、リング状の磁性体からなるケーシング32内に、複数個例えば16個の異方性セグメント柱状磁石31を周方向に一定間隔で配列してなる。図2において、各異方性セグメント柱状磁石31の中に示す矢印は磁化の方向を示しており、図示のように各異方性セグメント柱状磁石31の磁化の方向を周方向に沿って少しずつずらすことで、全体として一方向に向う一様な水平磁界Bを形成することができる。

[0032] 従って、サセプタ2とシャワーヘッド20との間の空間には、図3に模式的に示すように、第1の高周波電源15により鉛直方向のRF電界ELが形成されるとともに、ダイポールリング磁石24により水平磁界Bが形成される。これらの直交電磁界を用いるマグネトロン放電により、サセプタ2の表面近傍に高密度のプラズマを生成することができる。

[0033] エッチングガスとして、フッ化硫黄又はフッ化炭素よりなるフッ素化合物ガスと、酸素(O_2)ガスとの混合ガスをエッチングガスに用いることができる。フッ素化合物ガスとして、1分子に存在するフッ素の数が多いガス、例えば六フッ化硫黄(SF_6)ガスや十フッ化硫黄(S_2F_{10})ガスを用いることが好ましい。また、フッ素化合物ガスとして、フッ化ケイ素ガス例えば四フッ化ケイ素(SiF_4)ガスをエッチングガスに加えてもよい。従って、エッチングガス供給部23は、図4に模式的に示すように、例えば SF_6 ガス源35、 O_2 ガス源36及び SiF_4 ガス源37を有し、それぞれの流量を流量制御弁35a、36a、37aによって個別に制御可能に設けられている。

- [0034] 上記構成のプラズマエッチング装置は、制御部40によって、その動作が統括的に制御される。この制御部40には、CPUを備えプラズマエッチング装置の各部を制御するプロセスコントローラ41と、ユーザインターフェース42と、記憶部43とが設けられている。
- [0035] ユーザインターフェース42は、工程管理者がプラズマエッチング装置を管理するためにコマンドの入力操作を行うキーボードや、プラズマエッチング装置の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等から構成されている。
- [0036] 記憶部43には、プラズマエッチング装置で実行される各種処理をプロセスコントローラ41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憶されたレシピが格納されている。そして、必要に応じて、ユーザインターフェース42からの指示等にて任意のレシピを記憶部43から呼び出してプロセスコントローラ41に実行させることで、プロセスコントローラ41の制御下で、プラズマエッチング装置での所望の処理が行われる。また、制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、コンピュータで読取り可能なコンピュータ記憶媒体（例えば、ハードディスク、CD、フレキシブルディスク、半導体メモリ等）などに格納された状態のものを利用したりすることも可能である。或いは、制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用したりすることも可能である。
- [0037] このように構成されたプラズマエッチング装置において、プラズマエッチングを行うには、先ずゲートバルブ13を開にして被処理基板であるシリコン層よりなるウェハWをチャンバ1内に搬入して、サセプタ2の上に載置する。次いで、ウェハWが載置されたサセプタ2を図示の高さ位置まで上昇させ、排気系12の真空ポンプにより排気口11を介してチャンバ1内を排気する。そして、エッチングガス供給部23よりエッチングガスを所定の流量でチャンバ1内に導入し、チャンバ1内の圧力を設定値にする。更に、第1の高周波電源15より所定のパワーで高周波電力をサセプタ2に印加する。

また、直流電源 16 より直流電圧を静電チャック 6 の電極 6a に印加し、ウェハ W をサセプタ 2 に固定することによって支持する。シャワーヘッド 20 より吐出されたエッチングガスはマグネトロン放電によりプラズマ化され、プラズマ化したプラズマはウェハ W に照射される。そして、照射したプラズマに含まれるラジカルやイオンによりウェハ W がエッチングされる。

[0038] 次に、本実施の形態に係るプラズマエッチング方法について説明する。

[0039] 図 5 から図 8 は、本実施の形態に係るプラズマエッチング方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図である。図 9A は、シリコン層をエッチングする工程における SF₆ ガスに対する O₂ ガスの流量比の時間変化を模式的に示すグラフである。なお、図 5 から図 8 では、ウェハ W 上における一つの開口部 54a の付近の領域を拡大して示している。

[0040] 先ず、プラズマエッチング方法が適用されるウェハ W の構成の一例について説明する。ウェハ W は、図 5 に示すように、例えば単結晶シリコン (Si) 層よりなる基体 51 上に、第 1 のハードマスク膜 52、第 2 のハードマスク膜 53 及びマスク膜 54 が、下側からこの順番で積層されている。第 1 のハードマスク膜 52 として、例えば厚さ寸法 t₁ を有する窒化シリコン (SiN) 膜を用いることができ、厚さ寸法 t₁ を例えば 0.5 μm とすることができる。第 2 のハードマスク膜 53 として、例えば厚さ寸法 t₂ を有する酸化シリコン (SiO_x) 膜を用いることができ、厚さ寸法 t₂ を例えば 0.5 μm とすることができる。マスク膜 54 として、例えば厚さ寸法 t₃ を有するレジスト層とすることができる、厚さ寸法 t₃ を例えば 2.5 μm とすることができる。また、マスク膜 54 には、予めフォトリソグラフィ工程を行うことで、開口径 (直径寸法) D₁ が例えば 8 μm の円形の開口部 54a が、複数箇所にパターンニングされている。

[0041] なお、第 1 のハードマスク膜 52 及び第 2 のハードマスク膜 53 は、第 1 のハードマスク膜 52 が酸化シリコン (SiO_x) 膜であり、第 2 のハードマスク膜 53 が窒化シリコン (SiN) 膜であってもよい。

[0042] このようなウェハ W を、前述したようにチャンバ 1 内に搬入して、サセプ

タ 2 の上に載置する。

[0043] 図 9 A に示すように、始めに、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第 1 の流量比とした状態で、シリコン層をエッチングする（ステップ S 1）。なお、ステップ S 1 は、本発明における第 1 のステップに相当する。

[0044] 第 1 の流量比として、0.9～1.1 であることが好ましい。これにより、 SF_6 ガスの流量と O_2 ガスの流量とを略等しくすることができる。

[0045] 排気系 12 の真空ポンプによりチャンバ 1 内を排気した状態で、エッチングガス供給部 23 よりエッチングガスを所定の流量でチャンバ 1 内に導入し、チャンバ 1 内の圧力を設定値にする。エッチングガスとして、 SF_6 ガス及び O_2 ガスを所定の流量でチャンバ 1 内に導入する。必要に応じて、フッ化シリコン（ SiF_4 ）ガス及び臭化水素（ HBr ）ガスをエッチングガスに加えてもよい。また、直流電源 16 によりウェハ W をサセプタ 2 に静電引力により固定することによって支持した状態で、第 1 の高周波電源 15 により第 1 の高周波電力をサセプタ 2 に供給する。すると、シャワーヘッド 20 より吐出されたエッチングガスはマグネトロン放電によりプラズマ化され、プラズマ化したプラズマはウェハ W に照射される。

[0046] そして、プラズマをウェハ W に照射することで、図 6 に示すように、マスク膜 54 の各々の開口部 54 a において、下層側の第 2 のハードマスク膜 53 及び第 1 のハードマスク膜 52 にそれぞれ開口部 53 a、52 a が形成され、基体 51 に穴部 51 a が形成される。

[0047] なお、プラズマによってマスク膜 54 もエッチングされるが、マスク膜 54 のエッチング速度に対する第 2 のハードマスク膜 53、第 1 のハードマスク膜 52 及びシリコン層 51 のエッチング速度の比である選択比がかなり大きい。そのため、図 6 では、マスク膜 54 の膜厚の変化の図示を省略している（図 7 においても同様。）。

[0048] 例えば SF_6 ガスをエッチングガスとして用いる場合、エッチングガスがプラズマ化する際にフッ素ラジカル F^* が生成する。生成したフッ素ラジカル F^* が穴部 51 a に到達すると、下記反応式（1）



に示すように、フッ素ラジカル F^* が Si と反応することによって SiF_4 が生成される。そして、生成された SiF_4 が穴部51aの外へ排出されることにより、シリコン層51がエッチングされる。

[0049] 一方、 O_2 ガスをエッチングガスとして用いる場合、エッチングガスがプラズマ化する際に酸素ラジカル O^* が生成される。また、上記反応式(1)により生成した SiF_4 が何れかのプラズマと反応することによって、又は、フッ素ラジカル F^* と Si とが反応することによって、フッ化シリコンのラジカル SiF_x^* が生成される。そして、一例として下記反応式(2)



に示すように、酸素ラジカル O^* がフッ化シリコンのラジカル SiF_x^* と反応することによって、 SiO 系の保護膜55（例えば $SiOF_x$ ）が堆積する。

[0050] 図6に示すように、保護膜55は、マスク膜54の上面、マスク膜54の開口部54aの側壁、第2のハードマスク膜53の開口部53aの側壁、第1のハードマスク膜52の開口部52aの側壁、及びシリコン層51の穴部51aの側壁51b（図7参照。）に堆積する。一方、シリコン層51の穴部51aの底面51cは、ウェハW表面から最も遠いため、マスク膜54の上面からシリコン層51の穴部51aの側壁51bにかけての部分と比較して、保護膜55の堆積速度が小さい。従って、穴部51aを深さ方向にエッチングするエッチング速度が穴部51aを横方向にエッチングするエッチング速度に対して大きくなる異方性エッチングを行うことができ、穴部51aの側壁51bをウェハW表面に対して垂直にすることができる。

[0051] なお、ステップS1の工程は、図9Bに示したように、ステップS1-1と、ステップS1-2とに分かれていてもよい。ステップS1-1は、本発明における第4のステップに相当し、ステップS1-2は、本発明における第5のステップに相当する。

[0052] ステップS1-1では、サセプタ2に、第1の周波数を有する第1の高周

波電力を供給するとともに、第1の周波数よりも低い第2の周波数を有する第2の高周波電力を供給した状態で、シリコン層51をエッチングする。これにより、Si表面にある、自然酸化膜、あるいはレジスト残渣物を効率よくエッチングできるため、それらが原因となり発生する穴部51aの側壁荒れが発生することを防止できる。

[0053] ステップS1-1の後、ステップS1-2では、サセプタ2への第2の高周波電力の供給を停止するとともに、サセプタ2に第1の高周波電力を供給した状態で、シリコン層51をエッチングする。

[0054] 次いで、図9A及び図9Bに示すように、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が第1の流量比から第1の流量比よりも小さい第2の流量比になるように、 O_2 ガスの流量を減少させながらシリコン層51をエッチングする（ステップS2）。なお、ステップS2は、本発明における第2のステップに相当する。

[0055] 第2の流量比として、0.7～0.9であることが好ましい。第2の流量比が0.7未満の場合、エッチング速度に対する堆積速度が相対的に小さくなることによって穴部51aの側壁51bが露出し、穴部51aの側壁51bがテーパ形状を有するおそれがあるからである。また、第2の流量比が0.9を超える場合、エッチング速度に対する堆積速度が相対的に大きくなることによって、高速にシリコン層51をエッチングすることができないおそれがあるからである。

[0056] 次いで、図9A及び図9Bに示すように、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第2の流量比とした状態で、シリコン層51をエッチングする（ステップS3）。なお、ステップS3は、本発明における第3のステップに相当する。

[0057] また、ステップS2において、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が第1の流量比から第1の流量比よりも小さい第2の流量比になるように、 O_2 ガスの流量を多段に亘って減少させながらシリコン層をエッチングしてもよい。このようなシリコン層をエッチングする工程の例を、実施例1として、図2

1（表1）に示す。

[0058] 表1におけるステップS1-1、ステップS1-2は、前述したステップS1-1、ステップS1-2に相当する。また、表1におけるステップS2-1からステップS2-3は、前述したステップS2に相当する。

[0059] 以上、ステップS1からステップS3を行うことによって、シリコン層51のエッチングが終了し、図7に示すように、穴部51aが形成される。

[0060] 次いで、マスク膜54を、例えばO₂ガスを含むエッチングガスをプラズマ化したプラズマによりアッシングし、マスク膜54がアッシングされたウェハWの表面の洗浄を行う。続いて、CVD（Chemical Vapor Deposition）、電解めっき又は無電解めっき等により、穴部51a内に例えば銅（Cu）などの配線金属56を埋め込む。次いで、図8に示すように、CMP（Chemical Mechanical Polishing）加工により、ウェハWの表面に形成された余剰な配線金属56を除去する。第2のハードマスク膜53又は第1のハードマスク52が窒化シリコン膜よりなるときは、窒化シリコン膜をCMPのストップ膜として作用させ、窒化シリコン膜の上端位置においてCMP加工の終点検出を行ってもよい。

[0061] 本実施の形態に係るプラズマエッチング方法によれば、穴部の側壁を基板の表面に対して垂直にできるとともに、高速にシリコン層をエッチングできる。その理由を比較例1及び比較例2を参照しながら説明する。

[0062] 比較例1に係るシリコン層をエッチングする工程は、表1のステップS1-1に相当する工程のみとする。ただし、比較例1では、表1のステップS1-1に相当する工程の処理時間を約120秒とする。

[0063] 比較例2に係るシリコン層をエッチングする工程は、表1のステップS3に相当する工程のみとする。ただし、比較例2では、表1のステップS3に相当する工程の処理時間を約400秒とする。

[0064] 図10及び図11は、それぞれ比較例1及び比較例2に係るシリコン層をエッチングする工程におけるSF₆ガスに対するO₂ガスの流量比の時間変化を模式的に示すグラフである。図12及び図13は、それぞれ比較例1及び

比較例 2 に係るシリコン層をエッチングする工程における酸素ラジカルが発光強度を発光分光分析 (Optical Emission Spectroscopy ; O E S) により計測した結果を示すグラフである。図 1 4 及び図 1 5 は、それぞれ比較例 1 及び比較例 2 に係るシリコン層をエッチングする工程におけるウェハ W の表面の状態を模式的に示す図である。

[0065] 図 1 0 に示すように、比較例 1 では、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第 2 の流量比に対して相対的に大きな第 1 の流量比とした状態で、エッチングガスをプラズマ化する。すると、図 1 2 に示すように、酸素ラジカル O^* の発光強度が相対的に高くなる。これは、保護膜 5 5 の堆積速度が保護膜 5 5 のエッチング速度よりも大きく、マスク膜 5 4 の表面に保護膜 5 5 が堆積しやすくなるためと考えられる。このとき、図 1 4 に示すように、マスク膜 5 4 の表面は保護膜 5 5 により被覆されているため、酸素ラジカル O^* とマスク膜 5 4 のレジスト層とが反応しない。その結果、ウェハ W の表面にはレジスト層よりなるマスク膜 5 4 が残存するとともに、プラズマ中に存在する未反応の酸素ラジカル O^* は多くなる。

[0066] 図 1 1 に示すように、比較例 2 では、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第 1 の流量比に対して相対的に小さな第 2 の流量比とした状態で、エッチングガスをプラズマ化する。すると、図 1 3 に示すように、酸素ラジカル O^* の発光強度が相対的に低くなる。これは、保護膜 5 5 の堆積速度が保護膜 5 5 のエッチング速度よりも小さく、マスク膜 5 4 の表面に保護膜 5 5 が堆積しにくくなるためと考えられる。このとき、図 1 5 に示すように、マスク膜 5 4 の表面は保護膜 5 5 により被覆されていないため、酸素ラジカル O^* とマスク膜 5 4 のレジスト層とが反応する。その結果、ウェハ W の表面にはレジスト層よりなるマスク膜 5 4 が残存せず、プラズマ中に存在する未反応の酸素ラジカル O^* は少なくなる。

[0067] また、 SiF_4 ガスに対する O_2 ガスの流量比を変えた場合における、保護膜の堆積速度を計測した。その結果を図 1 6 に示す。ここで、プロセス中の SiF_4 ガスと SF_6 ガスの流量比は、表 1 に示すように一定であるため、図

16の横軸は、 SiF_4 ガスに対する O_2 ガスの流量比を示すとともに、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比の相対的な変化も間接的に示している。図16に示すように、 SiF_4 ガスに対する O_2 ガスの流量比の増加に伴って、すなわち、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比の増加に伴って、保護膜の堆積速度はほぼ一様に増加する。

[0068] 図17は、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比と、保護膜の堆積速度及びエッチング速度との関係とを模式的に示すグラフである。図17に示すように、保護膜の堆積速度は、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比の増加に伴って略一様に増加する。一方、保護膜のエッチング速度は、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比にはあまり依存しないと考えられるため、図17では、略水平な破線により表される。その結果、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が所定の流量比であるときに、保護膜の堆積速度とエッチング速度とが等しくなる。そして、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が所定の流量比未満のときは、ウェハの表面には保護膜が堆積せずエッチングされる。一方、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が所定の流量比を超えるときは、ウェハの表面には保護膜が堆積する。

[0069] 本実施の形態では、図17に示したように、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が所定の流量比以上であり、ウェハの表面に保護膜が堆積する第1の流量比とした状態でエッチングし、次いで、この流量比を第1の流量比よりも小さい流量比であって、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が所定の流量比未満であり、ウェハの表面に保護膜が堆積せずウェハの表面がエッチングされる第2の流量比とした状態でエッチングする。これにより、エッチング開始時には、保護膜の堆積速度が保護膜のエッチング速度よりも大きく、正味の堆積速度が正の値を有するため、レジスト層の表面及び穴部の側壁に、保護膜を堆積させることができる。また、エッチングの進行に伴って、保護膜の堆積速度が保護膜のエッチング速度よりも小さくなり、正味の堆積速度が負の値を有するため、レジスト層の表面及び穴部の側壁に、保護膜が堆積することを抑制することができる。従

って、穴部の深さ方向に沿って穴部の直径寸法が徐々に減少し、穴部が先細りの形状となることを防止でき、穴部の側壁をウェハの表面に対して容易に垂直にすることができる。

[0070] 図18は、前述した実施例1に係るシリコン層をエッチングする工程における酸素ラジカルの発光強度をOESにより計測した結果を示すグラフである。

[0071] 図18に示すように、エッチングを開始する際には、酸素ラジカル O^* の発光強度が相対的に大きく、次いで、酸素ラジカル O^* の発光強度が減少し、その後、酸素ラジカル O^* の発光強度が相対的に小さい状態が続く。これは、ステップS1では SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が相対的に大きく、ステップS2ではこの流量比が減少し、ステップS3ではこの流量比が相対的に小さいことに対応している。従って、本実施の形態では、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を変化させることによって、未反応の酸素ラジカル O^* の量を制御している。

[0072] 更に、本実施の形態では、第1の磁界をウェハに印加する。第1の磁界は、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第1の流量比としたときに、プラズマをレジスト層と反応させることで保護膜を堆積させる堆積速度と、保護膜をエッチングするエッチング速度とが等しくなるような所定磁界よりも大きい。

[0073] ウェハ表面付近での磁界の大きさを増加させると、電子が磁力線の周りからせん運動する際の回転半径（ラーマー半径）が小さくなる。すなわち、ウェハ表面付近に存在する電子が常にウェハ表面に近い領域に束縛されるため、ウェハ表面付近での電子密度が上がる。同様に、ウェハ表面付近でのプラズマ密度も増加し、自己バイアス電圧が低下する。

[0074] ここで、ウェハ表面付近でのプラズマ密度が増加すると自己バイアス電圧が低下することは、以下のように説明することができる。

[0075] サセプタ2に供給される高周波電力を P 、プラズマ電流を I 、自己バイアス電圧を V とすると、これらの関係は、下記式（3）

$$P = I \cdot V \quad (3)$$

に示される。また、プラズマ電流 I はプラズマ密度に略比例すると考えられる。すると、供給される高周波電力 P が一定のとき、プラズマ密度の増加に伴って、プラズマ電流 I が増加し、自己バイアス電圧 V が減少する。

[0076] このようにして、プラズマ密度の増加に伴って自己バイアス電圧が減少すると、ウェハに照射されるイオンの運動エネルギーも減少する。従って、ウェハ表面付近での磁界の大きさを、第1の磁界よりも小さい第2の磁界から第1の磁界に増加させると、エッチング速度が減少する。そして、図17に示すように、保護膜の堆積速度とエッチング速度とが等しくなるときの SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比が小さくなる。換言すれば、 SF_6 ガスの流量を一定にした状態で、保護膜の堆積速度からエッチング速度を差し引いた正味の堆積速度を所定の速度にするための O_2 ガスの流量は、ウェハ表面付近での磁界の大きさを例えば第2の磁界から第1の磁界へ増加させることによって減少する。第1の磁界を例えば215 Gとすることができ、第2の磁界を例えば110 Gとすることができる。

[0077] 本実施の形態では、エッチングを開始する際に、第1の磁界をウェハに印加するとともに、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第1の流量比とした状態で、プラズマをレジスト層と反応させ、レジスト層の表面及び穴部の側壁に保護膜を堆積させる。第1の磁界は、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第1の流量比としたときに、レジスト層の表面及び穴部の側壁に保護膜を堆積させる堆積速度と、保護膜をエッチングするエッチング速度が等しくなるような所定磁界よりも大きい。これにより、エッチング開始時には、保護膜の堆積速度が保護膜のエッチング速度よりも大きいため、レジスト層の表面及び形成される穴部の側壁に、保護膜を堆積させることができる。

[0078] ただし、エッチングの進行に伴って、すなわち、穴部の深さ寸法の増加に伴って、 O_2 ガスの流量が一定のままであると、エッチングガスがプラズマ化されて発生した余剰の酸素ラジカルが穴部内に供給され、穴部の側壁に保護膜が堆積する。これにより、穴部の直径寸法が深さ方向に沿って徐々に減少

し、穴部が先細りの形状となるため、穴部の側壁をウェハの表面に対して垂直にすることができない。

[0079] そこで、本実施の形態に係るプラズマエッチング方法では、エッチングの進行に伴って、すなわち、穴部の深さ寸法の増加に伴って、 SF_6 ガスの流量を一定にした状態で、 O_2 ガスの流量を減少させる。すると、穴部内に供給される酸素ラジカルの量も減少するため、保護膜が堆積する堆積速度を減少させ、エッチング速度を堆積速度よりも相対的に大きくすることができる。これにより、穴部の側壁への保護膜の堆積を抑制することができる。従って、穴部の直径寸法が深さ方向に沿って徐々に減少し、穴部が先細りの形状となることを更に容易に防止でき、穴部の側壁をウェハの表面に対して更に容易に垂直にすることができる。

[0080] また、本実施の形態では、ウェハに印加する磁界の大きさを増加させることによって、保護膜の正味の堆積速度を所望の速度にするための O_2 ガスの流量を減らすことができる。そのため、保護膜の正味の堆積速度を所望の速度に調整しつつ、穴部内に供給されるフッ素ラジカル F^* の量を実質的に増加させ、穴部をエッチングするエッチング速度を増加させることができる。従って、更に高速にシリコン層をエッチングできる。

[0081] 表1を用いて説明した実施例1では、ウェハ表面の中心で $10.95\text{ }\mu\text{m}$ /分の正味のエッチング速度が得られた。一方、比較例1と同じプロセス条件で、かつ、ウェハに印加する磁界の大きさを 110 G とした比較例3を行った場合、ウェハ表面の中心で $8.77\text{ }\mu\text{m}$ /分の正味のエッチング速度が得られた。すなわち、実施例1におけるエッチング速度は、比較例3におけるエッチング速度よりも大きいことが確認された。

(第2の実施の形態)

次に、本発明の第2の実施の形態に係るプラズマエッチング方法について説明する。

[0082] 本実施の形態に係るプラズマエッチング方法では、第1の実施の形態に係るプラズマエッチング装置と同一の装置を用いることができる。従って、本

実施の形態に係るエッチング装置については、説明を省略する。

[0083] また、本実施の形態に係るプラズマエッチング方法は、三次元実装される半導体装置に貫通電極を形成するために、TSV (Through-Silicon Via) 技術を用いてウェハに貫通孔を形成するものである。従って、本実施の形態に係るプラズマエッチング方法は、貫通孔を形成するためのウェハ（以下、「デバイスウェハ」ともいう。）がサポートウェハに接着剤を介して貼り合わされた、貼り合わせウェハをエッチングする点で、第1の実施の形態と相違する。

[0084] 図19及び図20は、本実施の形態に係るプラズマエッチング方法を含む半導体装置の製造方法の各工程におけるウェハの状態を模式的に示す断面図である。

[0085] 貼り合わせウェハは、図19のcに示すように、デバイスウェハWと、サポートウェハSWを有する。デバイスウェハWは、表面Waにトランジスタ等の半導体装置が形成された基板である。サポートウェハSWは、デバイスウェハWを、裏面Wbを研削して薄化したときに、薄化されたデバイスウェハWを補強するための基板である。デバイスウェハWは、接着剤Gを介してサポートウェハSWに貼り合わされている。

[0086] 本実施の形態に係る半導体装置の製造方法では、始めに、シリコンウェハ等よりなるデバイスウェハWの表面にトランジスタ101を形成し、トランジスタ101が形成されたデバイスウェハW上に層間絶縁膜102を形成する（図19のa）。

[0087] 次いで、層間絶縁膜102上に、配線構造103を形成する。層間絶縁膜102上に、配線層104、絶縁膜105を交互に積層するとともに、絶縁膜105を貫通して上下の配線層104間を電氣的に接続するビアホール106を形成する（図19のb）。

[0088] 次いで、デバイスウェハWを上下反転させ、デバイスウェハWの表面Waを、接着剤Gを介してサポートウェハSWと貼り合わせることによって、貼り合わせウェハを準備する。サポートウェハSWは、デバイスウェハWを、

裏面Wbを研削して薄化したときに、薄化されたデバイスウェハWを補強し、反りを防ぐ支持体となる基板であり、例えばシリコンウェハ等よりなる。そして、貼り合わせウェハを、例えば研削装置に備えられた支持部に支持し、ウェハWの裏面Wb側を研削し、研削前の厚さT1が所定厚さT2になるように薄化する（図19のc）。所定厚さT2を、例えば50～200 μ mとすることができる。

[0089] なお、図19では、図示を容易にするために、層間絶縁膜102及び配線構造103の厚さが誇張して描かれているが、実際は、層間絶縁膜102及び配線構造103の厚さは、ウェハWの基体自体の厚さに比べ極めて小さい（図20においても同様）。

[0090] 次いで、ウェハWの裏面Wbにレジストを塗布し、露光し、現像することによって、図示しないレジストパターンを形成する。そして、第1の実施の形態と同様のプラズマエッチング工程を行い、ウェハWの裏面Wbをエッチングして貫通孔Vを形成する。そして、貫通孔Vが形成されたウェハWの裏面Wbに残存するレジストを、第1の実施の形態に係るプラズマエッチング方法と同様にアッシングして除去する（図20のa）。貫通孔Vの径を、例えば1～10 μ mとすることができる。また、貫通孔Vの深さは、ウェハWの裏面Wbを研削して薄化した後のウェハWの基体自体の厚さに相当するものであり、例えば50～200 μ mとすることができる。

[0091] 次いで、貫通孔Vの内周面を被覆するように、例えばポリイミド等の絶縁膜107を形成し、内周面が絶縁膜107で被覆された貫通孔V内に、電解めっき法等により貫通電極108を形成する（図20のb）。

[0092] 次いで、サポートウェハSWをウェハWから剥がすことによって、薄化され、貫通電極108が形成されたウェハWを得る。例えば紫外光（UV光）を照射することによって、光反応性の接着剤Gの接着力を低下させて剥がすことができる（図20のc）。

[0093] 本実施の形態でも、図20のaに示したプラズマエッチング工程において、SF₆ガスに対するO₂ガスの流量比を第1の流量比とした状態でエッチン

グし、次いで、この流量比を第1の流量比よりも小さい第2の流量比とした状態でエッチングする。これにより、エッチング開始時には、保護膜の堆積速度が保護膜のエッチング速度よりも大きいため、レジスト層の表面及び貫通孔の側壁に、保護膜を堆積させることができる。また、エッチングの進行に伴って、保護膜の堆積速度が保護膜のエッチング速度よりも小さくなるため、レジスト層の表面及び貫通孔の側壁に、保護膜が堆積することを抑制することができる。従って、貫通孔の深さ方向に沿って貫通孔の直径寸法が徐々に減少し、貫通孔が先細りの形状となることを防止でき、貫通孔の側壁をウェハの表面に対して容易に垂直にすることができる。

[0094] また、本実施の形態でも、図20のaに示したプラズマエッチング工程において、第1の磁界をウェハに印加する。第1の磁界は、 SF_6 ガスに対する O_2 ガスの流量比を第1の流量比としたときに、プラズマをレジスト層と反応させることで保護膜を堆積させる堆積速度と、保護膜をエッチングするエッチング速度が等しくなるような所定磁界よりも大きい。これにより、保護膜の正味の堆積速度を所望の速度に調整しつつ、貫通孔内に供給されるフッ素ラジカル F^* の量を実質的に増加させ、貫通孔をエッチングするエッチング速度を増加させることができる。

[0095] 以上、本発明の好ましい実施の形態について記述したが、本発明はかかる特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

[0096] なお、本実施の形態では、チャンバ内に磁界が印加された状態で、ステップS1～ステップS3を行う例について説明した。しかし、エッチングを開始する際にフッ化硫黄ガスに対する酸素ガスの流量比を高くすることによって保護膜の堆積速度を相対的に大きくし、エッチングの進行に伴って、酸素ガスの流量比を減少させることによって保護膜の堆積速度を相対的に小さくしてもよい。従って、磁界を印加しない状態で、ステップS1～ステップS3を行ってもよい。

[0097] 本国際出願は、2011年6月15日に出願された日本国特許出願201

1-133482号に基づく優先権を主張するものであり、その全内容を本国際出願に援用する。

符号の説明

- [0098] 1 チャンバ（処理容器）
- 2 サセプタ
- 4 支持部
- 15 第1の高周波電源
- 20 シャワーヘッド
- 23 エッチングガス供給部
- 24 ダイポールリング磁石
- 26 第2の高周波電源
- 35 SF₆ガス源
- 36 O₂ガス源
- 40 制御部
- 51 基体（シリコン層）
- 51a 穴部
- 51b 側壁
- 54 マスク膜（レジスト層）
- 55 保護膜

請求の範囲

- [請求項1] シリコン層と、前記シリコン層の上方に、所定のパターンにパターンニングされたレジスト層とが形成された被処理基板が設置される処理容器内に、酸素ガスとフッ化硫黄ガスとを含んだエッチングガスを所定の流量で供給し、供給した前記エッチングガスから生成されたプラズマにより、前記レジスト層をマスクとして前記シリコン層をエッチングするプラズマエッチング方法であって、
- フッ化硫黄ガスに対する酸素ガスの流量比を第1の流量比とした状態で、前記シリコン層をエッチングする第1のステップと、
- 前記流量比が前記第1の流量比から前記第1の流量比よりも小さい第2の流量比になるように、酸素ガスの流量を減少させながら前記シリコン層をエッチングする第2のステップと、
- 前記流量比を前記第2の流量比とした状態で、前記シリコン層をエッチングする第3のステップと
- を有する、プラズマエッチング方法。
- [請求項2] 前記プラズマエッチング方法は、前記処理容器内で前記被処理基板を支持する支持部に第1の周波数を有する第1の高周波電力を供給した状態で、前記シリコン層をエッチングするものであり、
- 前記第1のステップは、
- 前記支持部に、前記第1の高周波電力を供給するとともに、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数を有する第2の高周波電力を供給した状態で、前記シリコン層をエッチングする第4のステップと、
- 前記第4のステップの後、前記支持部への前記第2の高周波電力の供給を停止するとともに、前記支持部に前記第1の高周波電力を供給した状態で、前記シリコン層をエッチングする第5のステップと
- を含む、請求項1に記載のプラズマエッチング方法。
- [請求項3] 前記第1のステップから前記第3のステップまでのすべてのステップにおいて、前記流量比を前記第1の流量比としたときに、前記エッ

チングガスから生成されたプラズマを前記レジスト層と反応させることで前記被処理基板の表面に保護膜を堆積させる堆積速度と、前記保護膜をエッチングするエッチング速度とが等しくなるような所定磁界よりも大きな第1の磁界を、前記被処理基板に印加した状態で、前記シリコン層をエッチングする、請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

[請求項4] 前記プラズマエッチング方法は、前記シリコン層をエッチングして穴部を形成するものであり、

前記第1のステップから前記第3のステップまでのすべてのステップにおいて、前記流量比を前記第1の流量比としたときに、前記エッチングガスから生成されたプラズマ中の酸素ラジカルを前記レジスト層と反応させることで前記レジスト層の表面及び形成される前記穴部の側壁に保護膜を堆積させる堆積速度と、前記保護膜をエッチングするエッチング速度とが等しくなるような所定磁界よりも大きな第1の磁界を、前記被処理基板に印加した状態で、前記シリコン層をエッチングするものである、請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

[請求項5] シリコン層と、前記シリコン層の上方に、所定のパターンにパターニングされたレジスト層とが形成された被処理基板が設置される処理容器内に、酸素ガスとフッ化硫黄ガスとを含んだエッチングガスを所定の流量で供給し、供給した前記エッチングガスから生成されたプラズマにより、前記レジスト層をマスクとして前記シリコン層をエッチングするプラズマエッチング方法であって、

エッチングを開始する際には、フッ化硫黄ガスに対する酸素ガスの流量比を第1の流量比としたときに、前記エッチングガスをプラズマ化したプラズマを前記レジスト層と反応させることで前記被処理基板の表面に保護膜を堆積させる堆積速度と、前記保護膜をエッチングするエッチング速度とが等しくなるような所定磁界よりも大きな第1の磁界を、前記被処理基板に印加するとともに、前記流量比を前記第1

の流量比とした状態で、前記被処理基板の表面に前記保護膜を堆積するものであって、

エッチングの進行に伴って、前記被処理基板に前記第 1 の磁界を印加した状態で、酸素ガスの流量を減少させることによって、前記エッチング速度を前記堆積速度よりも相対的に大きくするものである、プラズマエッチング方法。

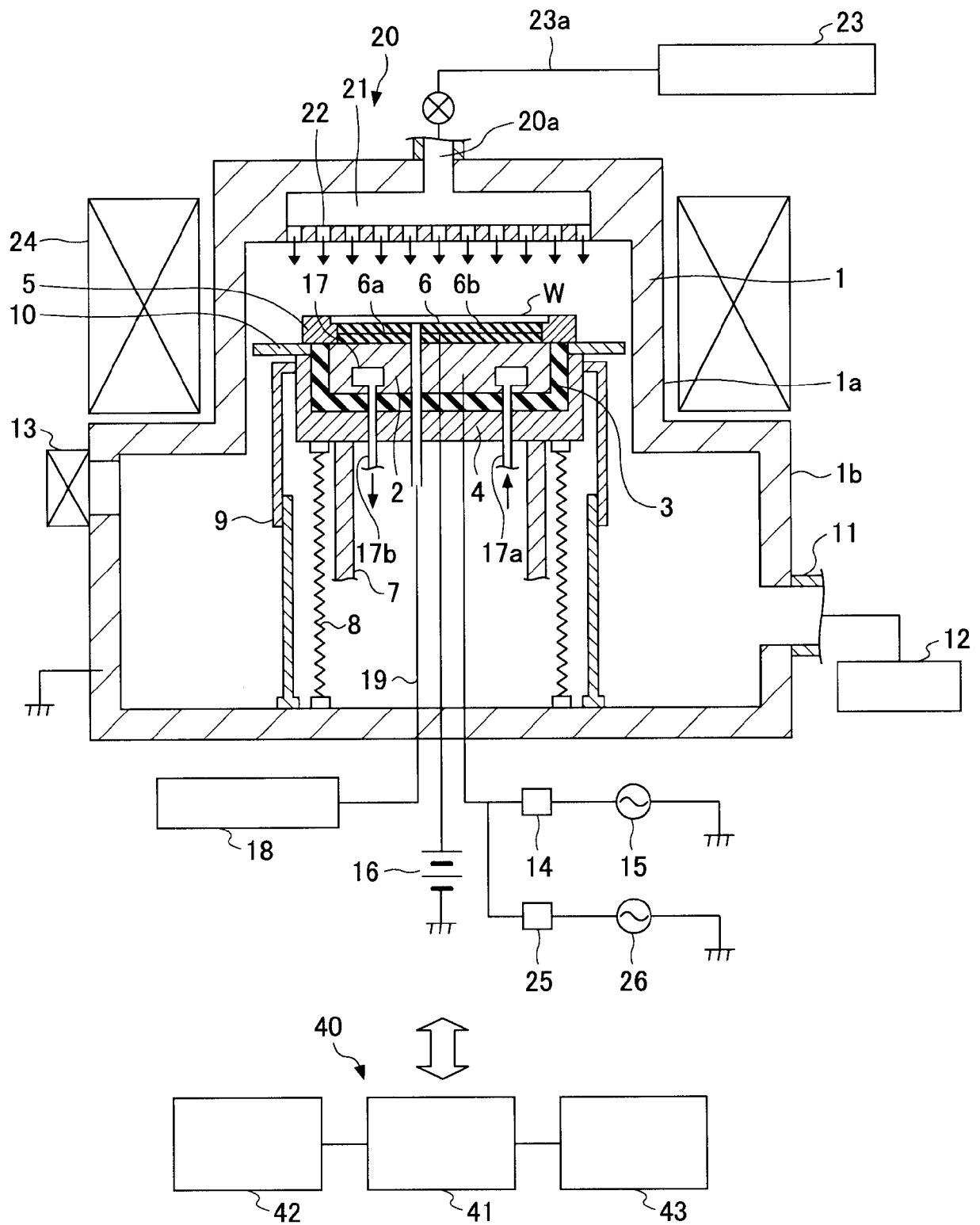
[請求項6]

シリコン層と、前記シリコン層の上方に、所定のパターンにパターンニングされたレジスト層とが形成された被処理基板が設置される処理容器内に、酸素ガスとフッ化硫黄ガスとを含んだエッチングガスを所定の流量で供給し、供給した前記エッチングガスから生成されたプラズマにより、前記レジスト層をマスクとして前記シリコン層をエッチングして穴部を形成するプラズマエッチング方法であって、

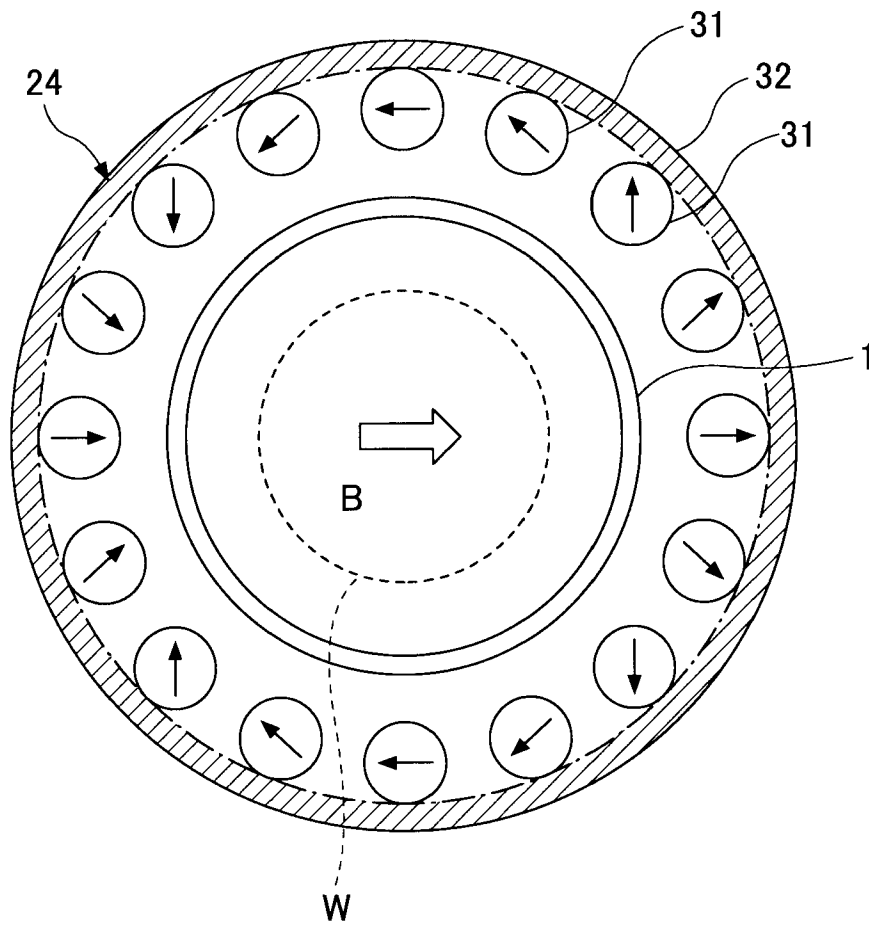
エッチングを開始する際には、フッ化硫黄ガスに対する酸素ガスの流量比を第 1 の流量比としたときに、前記エッチングガスをプラズマ化して発生させた酸素ラジカルを前記レジスト層と反応させることで前記レジスト層の表面及び形成される前記穴部の側壁に保護膜を堆積させる堆積速度と、前記保護膜をエッチングするエッチング速度とが等しくなるような所定磁界よりも大きな第 1 の磁界を、前記被処理基板に印加するとともに、前記流量比を前記第 1 の流量比とした状態で、前記レジスト層の表面及び前記穴部の側壁に前記保護膜を堆積するものであって、

前記穴部の深さ寸法の増加に伴って、前記被処理基板に前記第 1 の磁界を印加した状態で、酸素ガスの流量を減少させることによって、前記エッチング速度を前記堆積速度よりも相対的に大きくするものである、プラズマエッチング方法。

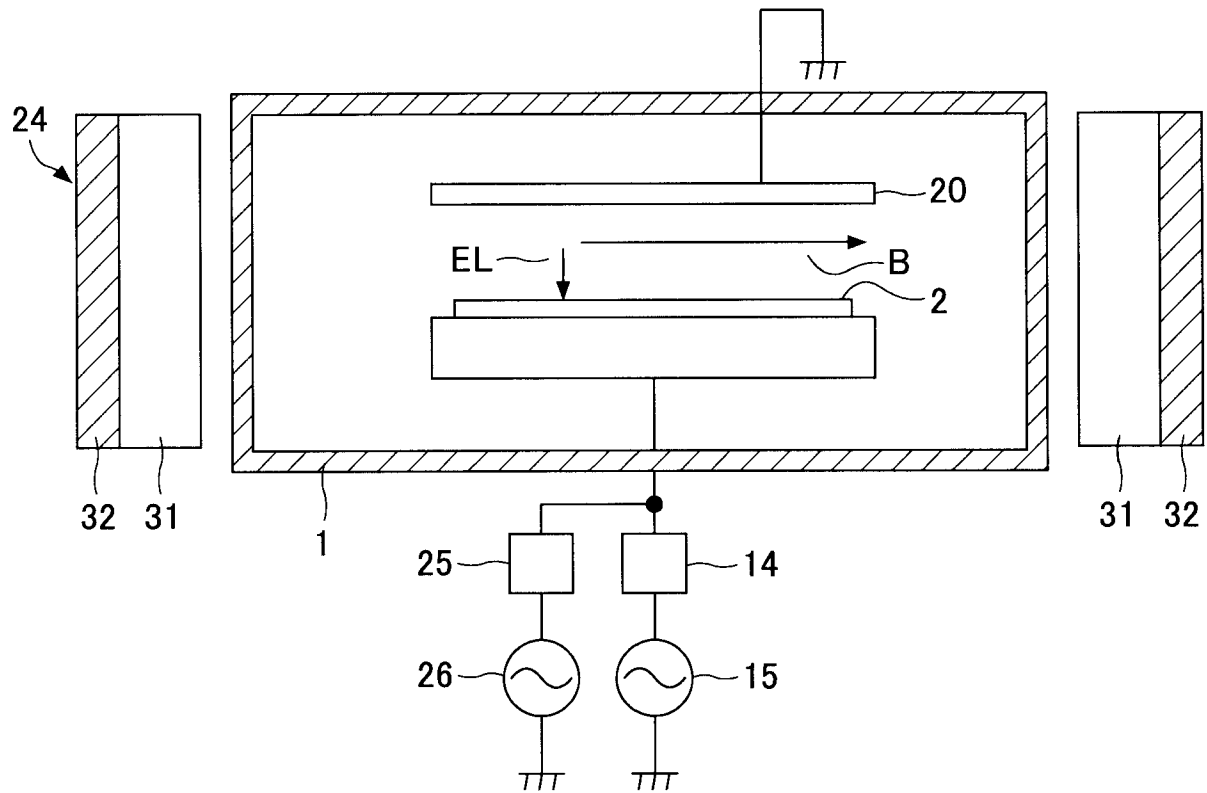
[図1]



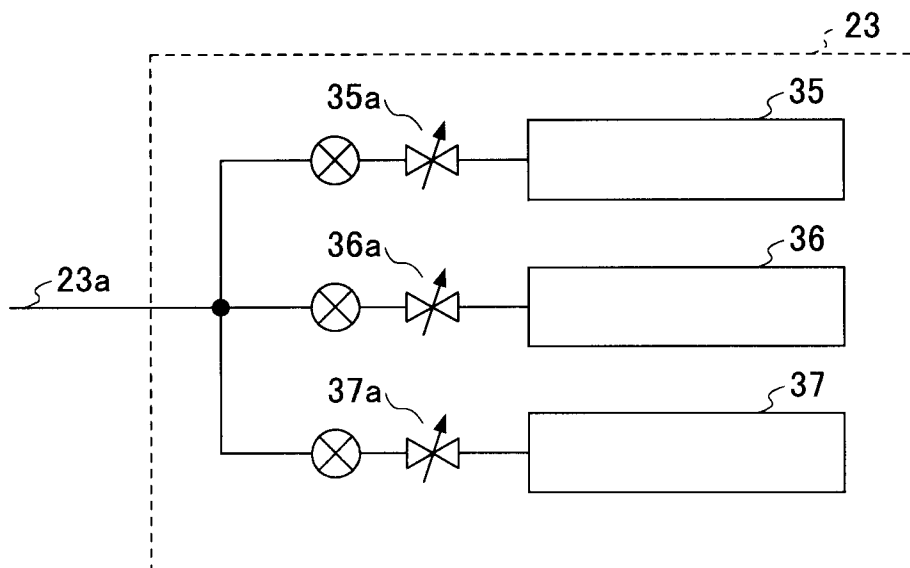
[図2]



[図3]



[図4]

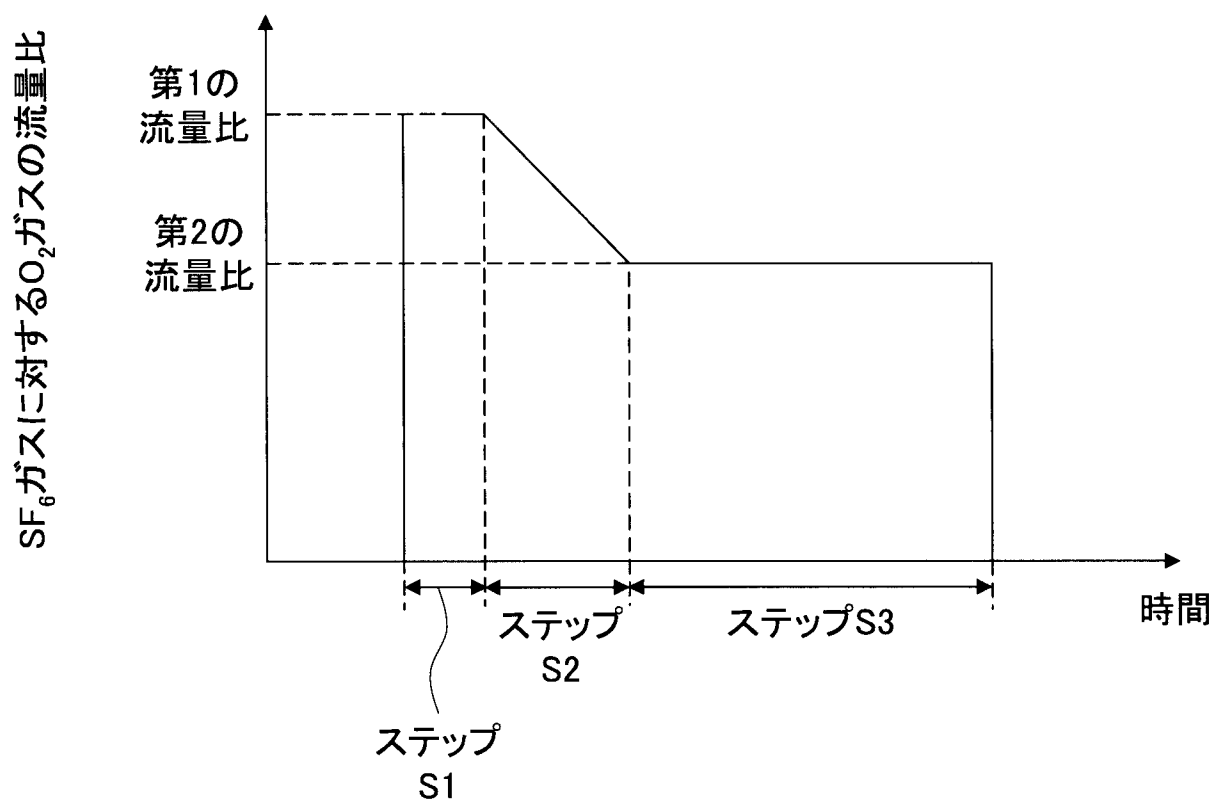


A cross-sectional view of a semiconductor device during plasma treatment. A dashed oval at the top contains the text "SF₆+O₂のプラズマ(O₂多い)", indicating the plasma environment. Three downward arrows point to the top surface of the device. The device consists of a substrate 51 with a patterned layer 52 on its top surface. Layer 52 has a central recessed region 51c and two side regions 51a. Above layer 52 are three additional layers: 53, 54, and 55. Layer 55 is the topmost layer and is shown with a dotted pattern. Layer 54 has a diagonal hatching pattern, and layer 53 has a horizontal hatching pattern. The side regions 51a of layer 52 are also shown with a diagonal hatching pattern.

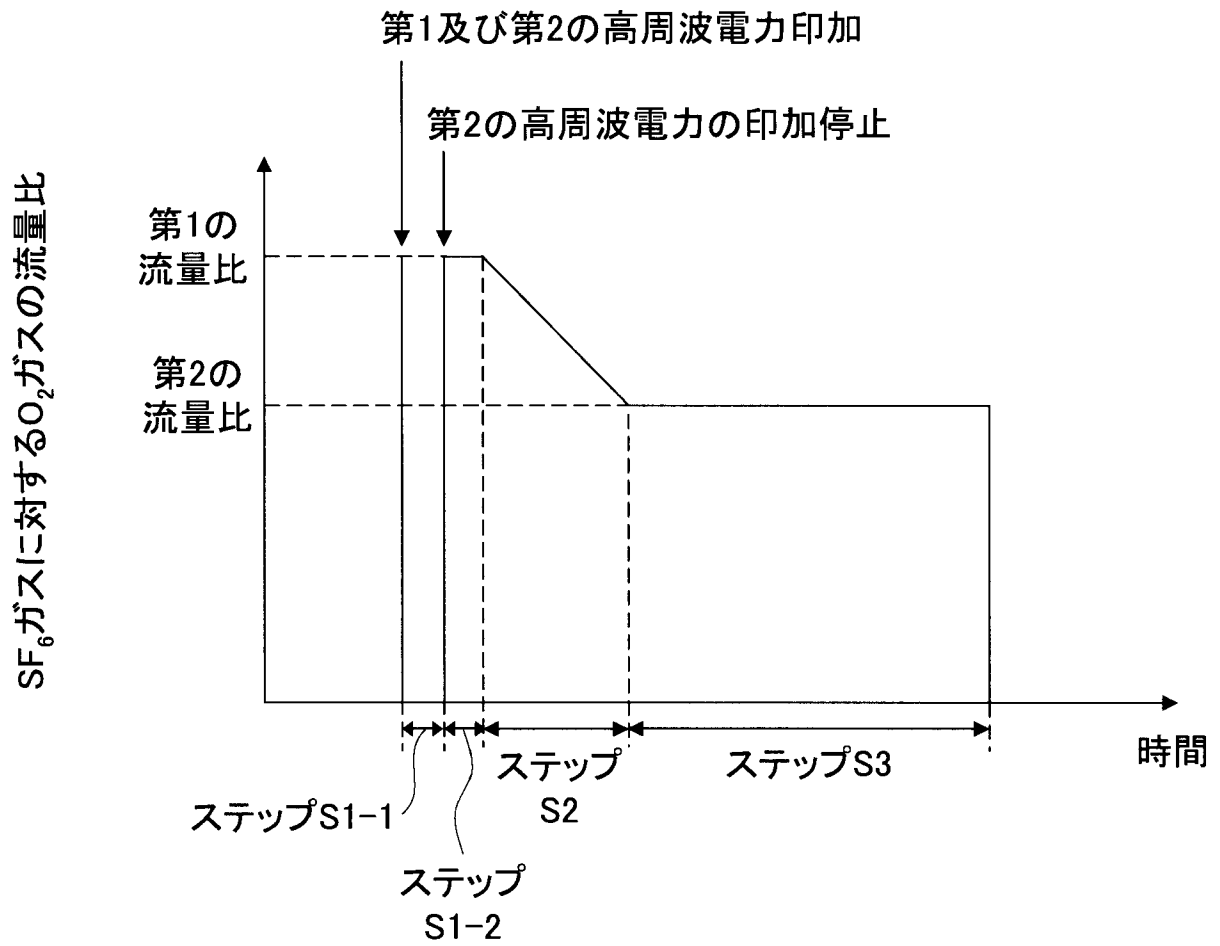
Diagram illustrating a cross-sectional view of a substrate (51) with a trench (52). The substrate is divided into two regions: 51a (left) and 51b (right). The trench (52) is filled with a material (52a). The top surface of the substrate is labeled 54. The top surface of the trench is labeled 55. The diagram is labeled "SF₆+O₂のプラズマ (O₂少ない)" (Plasma of SF₆+O₂ (O₂ is small)). Arrows indicate the direction of plasma treatment.

A cross-sectional view of a semiconductor device. A central vertical layer, labeled 56, is surrounded by a layer labeled 51. A top layer, labeled 52, is positioned above layer 51. A portion of the top layer 52 is patterned, indicated by a hatched region labeled 53. A label 51b(51a) points to the interface between the central layer 56 and the surrounding layer 51. An arrow labeled W points to the right, indicating a width or direction.

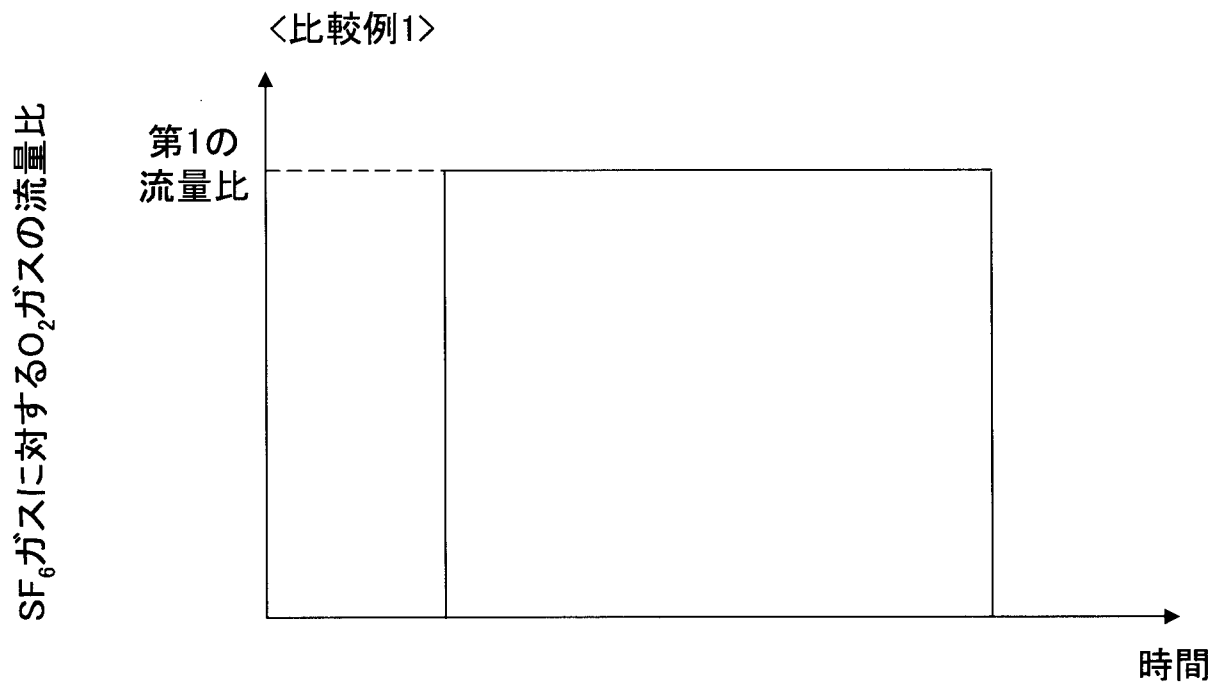
[図9A]



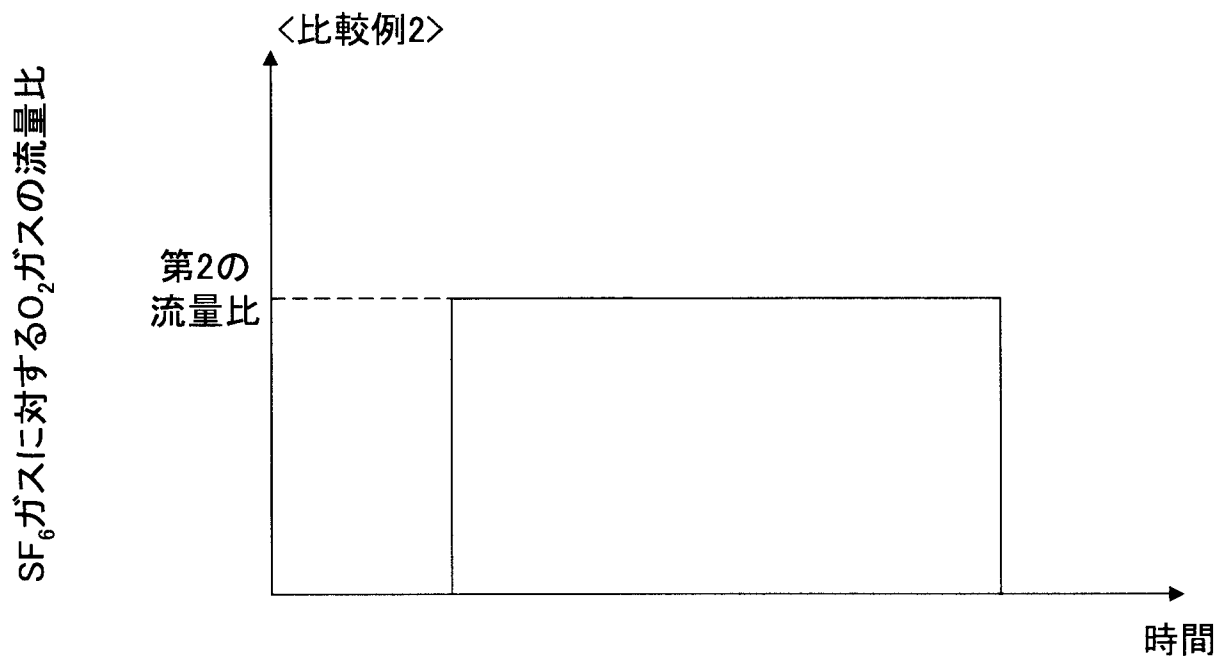
[図9B]



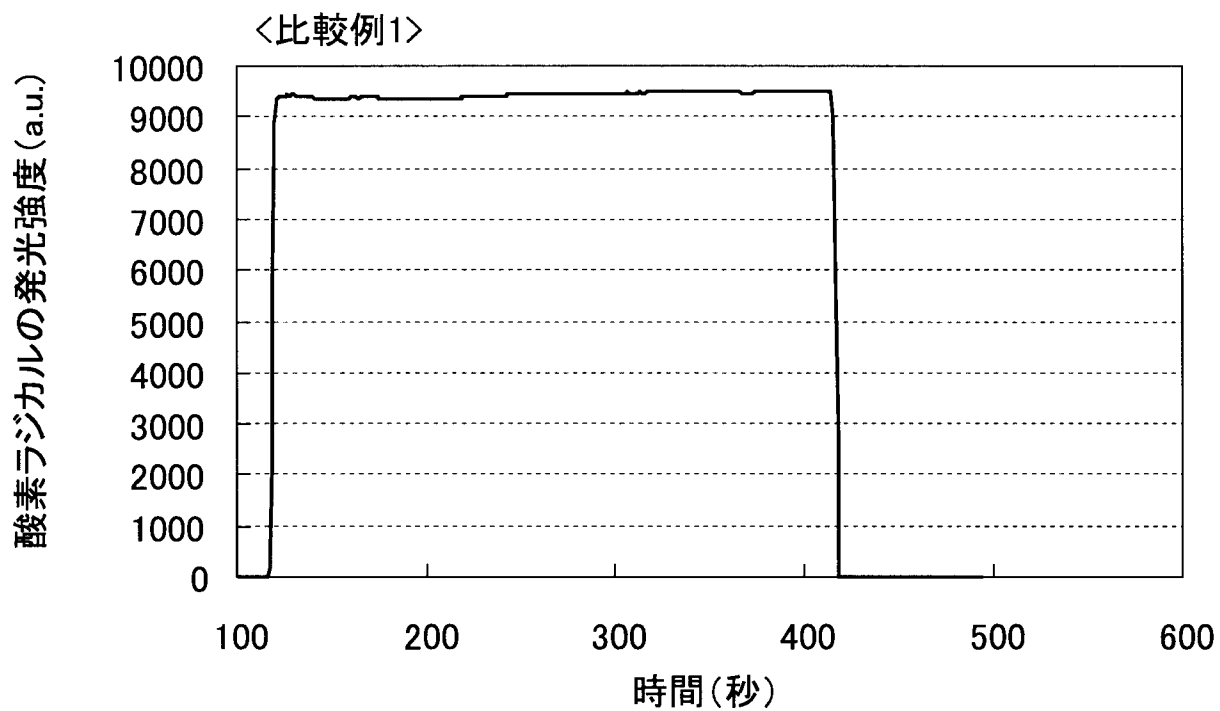
[図10]



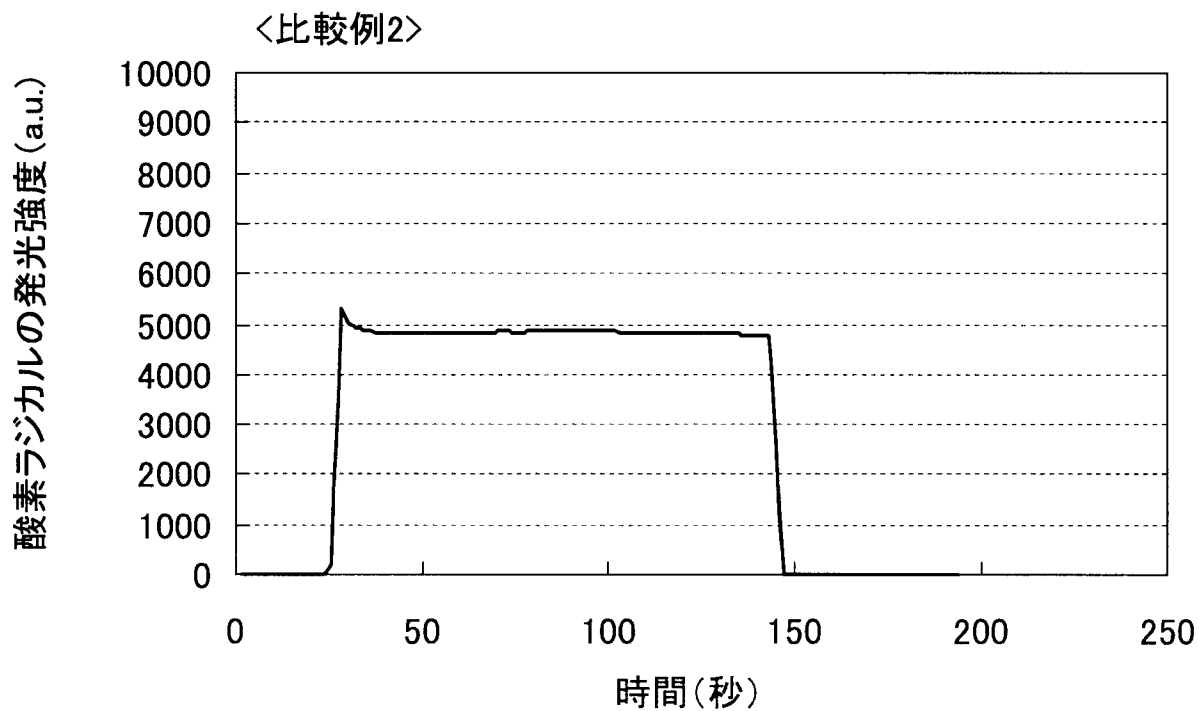
[図11]



[図12]

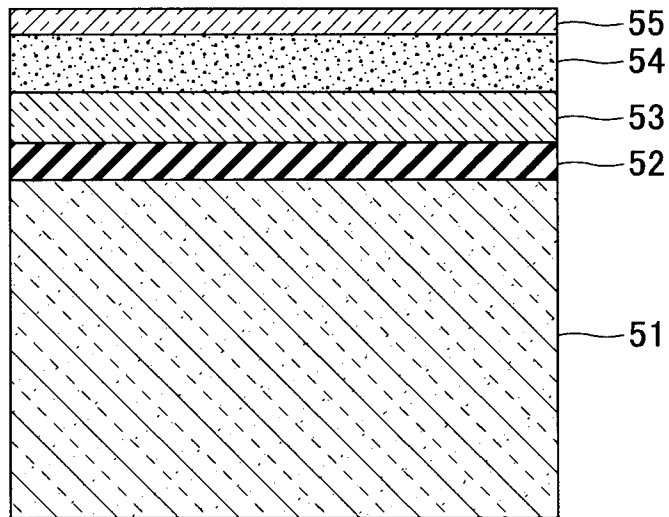


[図13]



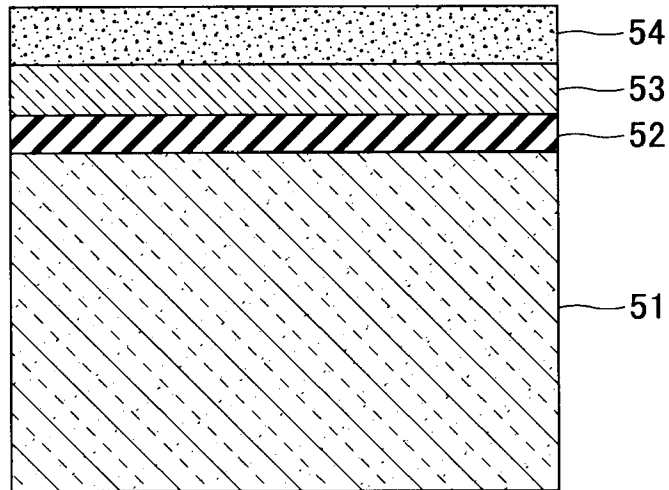
[図14]

<比較例1>

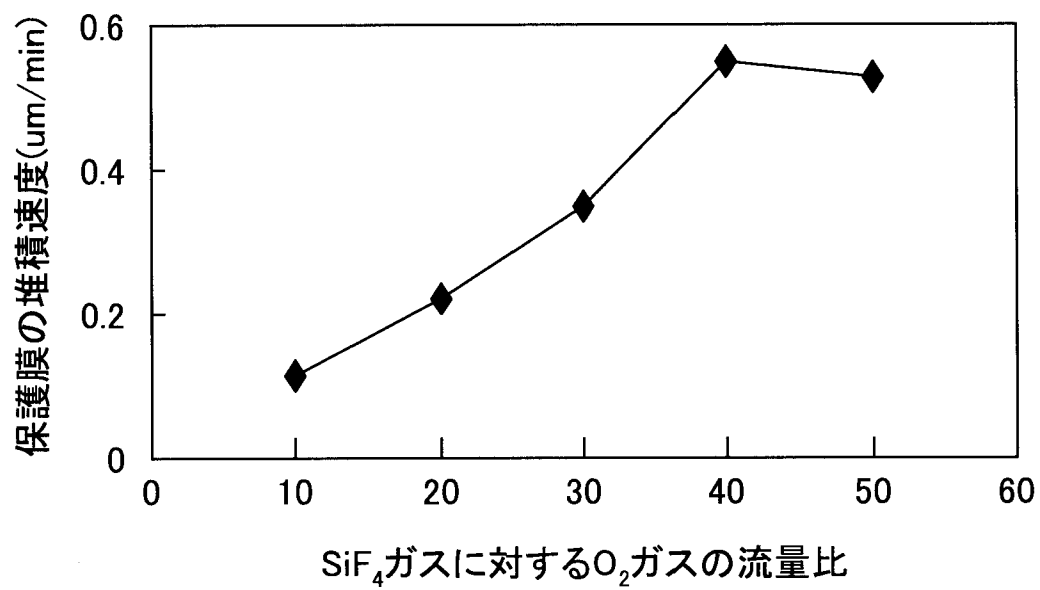
 $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ のプラズマ(O_2 多い)

[図15]

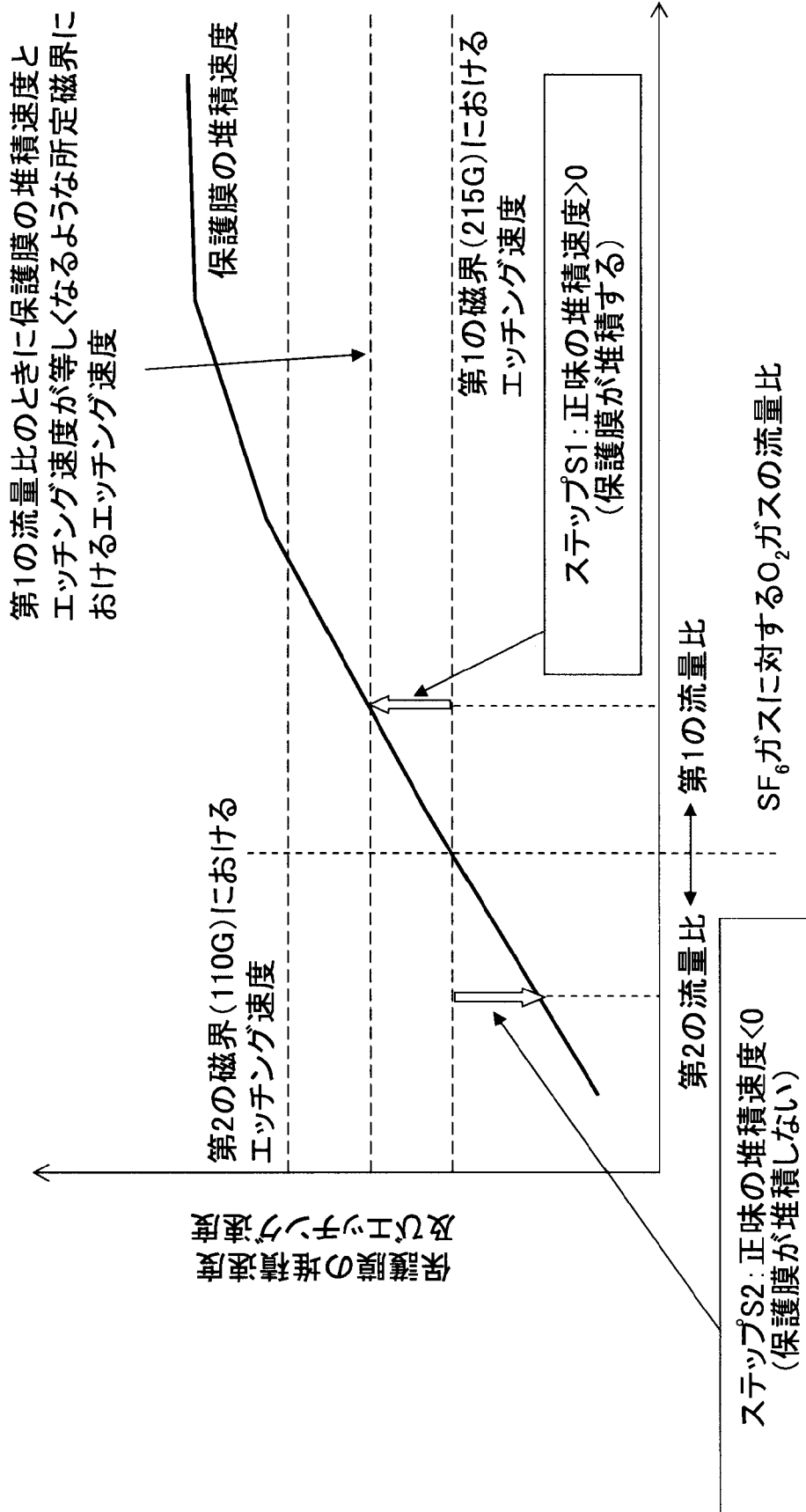
<比較例2>

SF₆+O₂のプラズマ(O₂少ない)

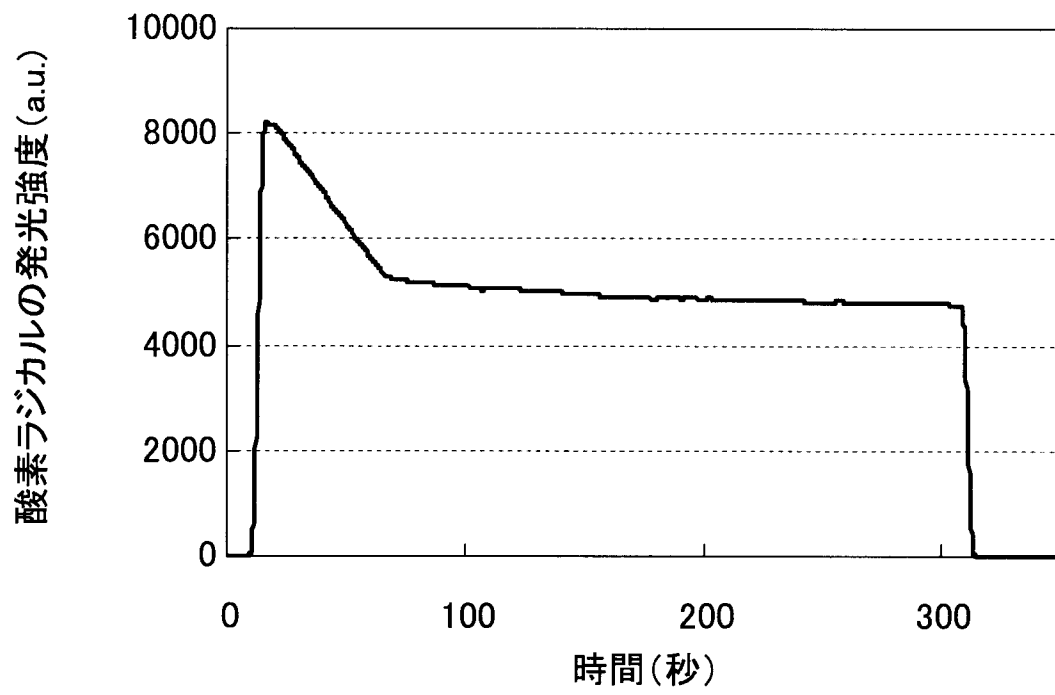
[図16]



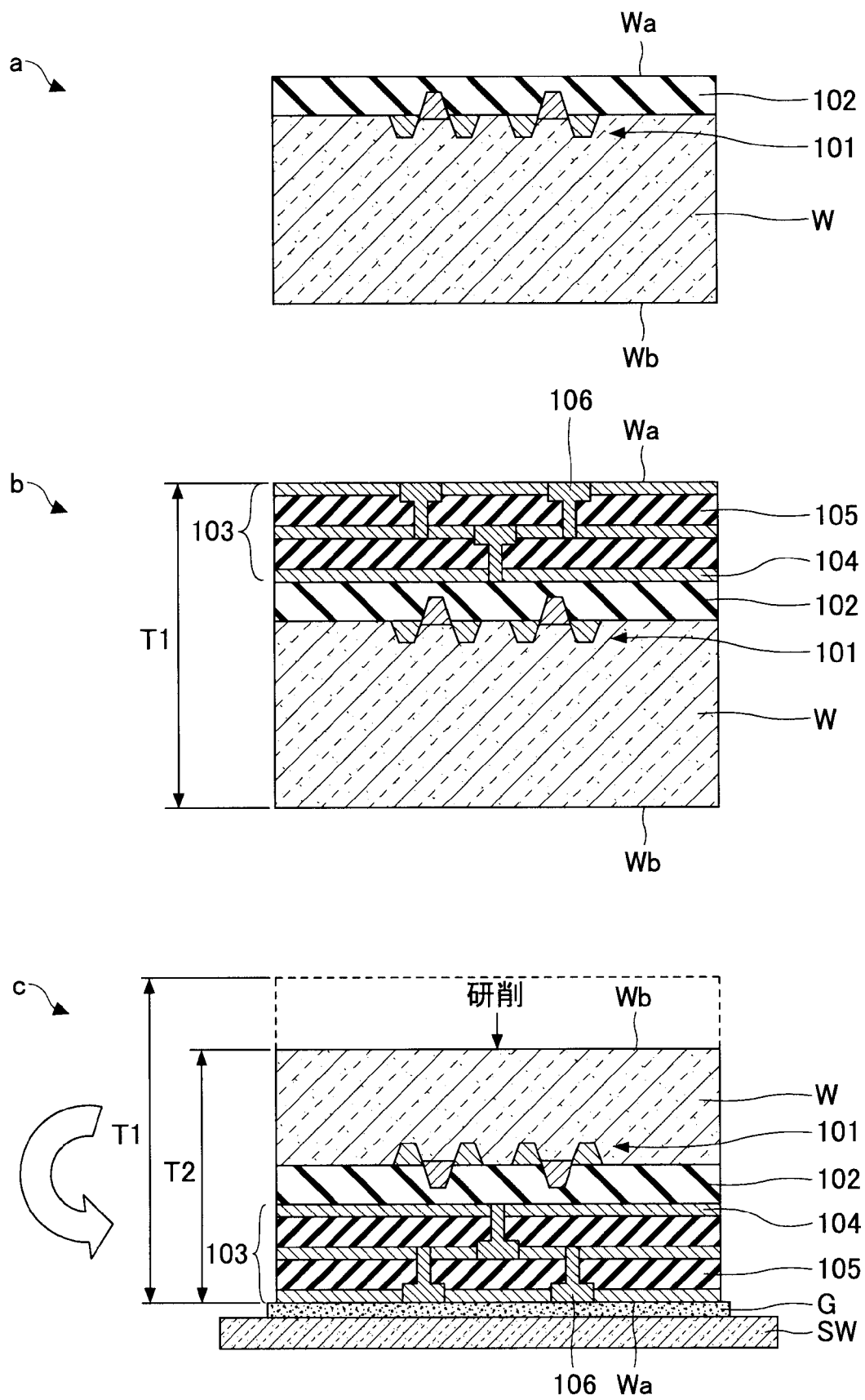
[図17]



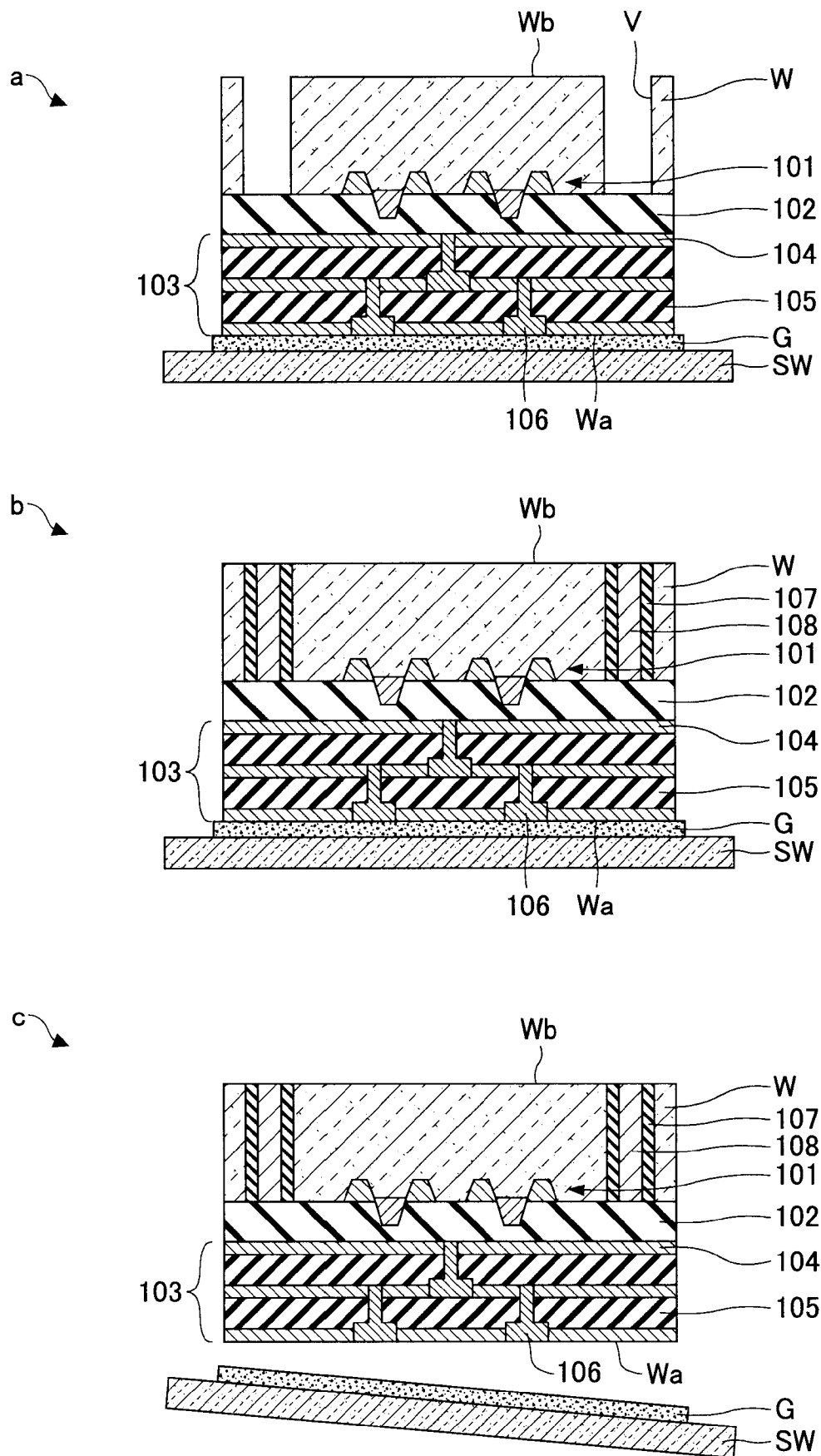
[図18]



[図19]



[図20]



[図21]

〈表1〉

ステップ No.	圧力 (mTorr)	第1の 高周波 電力(W)	第2の 高周波 電力(W)	SF ₆ の 流量 (sccm)	O ₂ の 流量 (sccm)	SiF ₄ の 流量 (sccm)	HBrの 流量 (sccm)	温度 (°C)	時間 (秒)
S1-1	200	1800	50	150	165	800	120	40	10
S1-2	200	1800	0	150	165	800	120	40	10
S2-1	200	1800	0	150	150	800	120	40	10
S2-2	200	1800	0	150	140	800	120	40	10
S2-3	200	1800	0	150	130	800	120	40	10
S3	200	1800	0	150	120	800	120	40	320

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/065034

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(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

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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.
A	JP 2009-267432 A (Elpida Memory, Inc.), 12 November 2009 (12.11.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2010-098220 A (Tokyo Electron Ltd.), 30 April 2010 (30.04.2010), entire text; all drawings & WO 2010/047308 A1 & KR 10-2011-0063798 A & CN 102187439 A	1-6
A	JP 2006-278498 A (Tokyo Electron Ltd.), 12 October 2006 (12.10.2006), entire text; all drawings & US 2006/0213867 A1	1-6

☒ 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
25 July, 2012 (25.07.12)Date of mailing of the international search report
07 August, 2012 (07.08.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/065034

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 2008-300870 A (Oki Data Corp.), 11 December 2008 (11.12.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2007-227829 A (Tokyo Electron Ltd.), 06 September 2007 (06.09.2007), entire text; all drawings & US 2007/0202701 A1 & CN 101030538 A	1-6

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

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

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 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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
A	JP 2009-267432 A (エルピーダメモリ株式会社) 2009. 11. 12, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2010-098220 A (東京エレクトロン株式会社) 2010. 04. 30, 全文全図 & WO 2010/047308 A1 & KR 10-2011-0063798 A & CN 102187439 A	1-6
A	JP 2006-278498 A (東京エレクトロン株式会社) 2006. 10. 12, 全文全図 & US 2006/0213867 A1	1-6

☒ 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 5 . 0 7 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 8 . 2 0 1 2

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)

長谷部 智寿

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

4 R

3 3 3 9

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 2008-300870 A (株式会社沖データ) 2008.12.11, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2007-227829 A (東京エレクトロン株式会社) 2007.09.06, 全文全図 & US 2007/0202701 A1 & CN 101030538 A	1-6