

(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 8 月 16 日(16.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/108445 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/052789
- (22) 国際出願日: 2012 年 2 月 7 日(07.02.2012)
- (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 2011-025083 2011 年 2 月 8 日(08.02.2011) 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): 遠江 一仁 (TOHNOE, Kazuhito) [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). 平山 祐介 (HIRAYAMA, Yusuke) [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). 石山 泰義 (ISHIYAMA, Yasuyoshi) [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). 橋爪 渉 (HASHIZUME, Wataru) [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 忠彦(ITO, Tadahiko); 〒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) 1 6 階 Tokyo (JP).

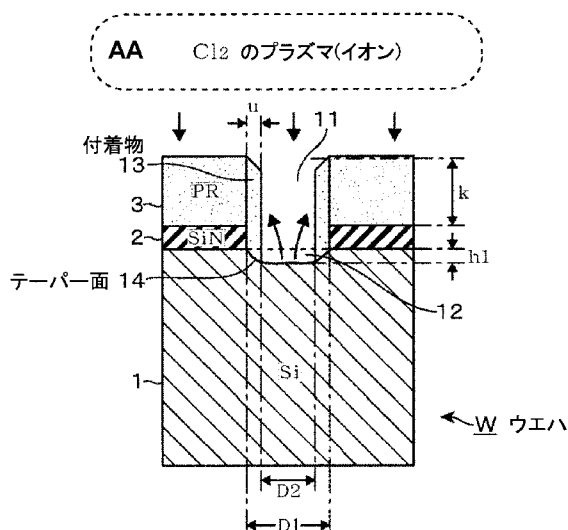
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, 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.

[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4]



AA Cl₂ plasma (ions)

13 Deposition

14 Taper face

W Wafer

(57) Abstract: Provided is a plasma etching method, comprising: a first step of etching, with a process gas, an intermediate film, which is positioned below a resist mask which is formed on the obverse face of a substrate, and which includes silicon and nitrogen, and exposing a silicon layer which is positioned below the intermediate film; next, a second step of supplying chlorine gas to the substrate and depositing a reaction product on lateral walls of aperture parts of the resist mask and the intermediate film; and thereafter, a third step of etching locations corresponding to the aperture parts in the silicon layer, using a process gas including a compound of sulfur and fluorine, forming depressions.

(57) 要約: 基板の表面に形成されたレジストマスクの下方に位置する、シリコン及び窒素を含む中間膜を処理ガスによりエッチングして、前記中間膜の下方に位置するシリコン層を露出させる第1の工程と、次いで塩素ガスを基板に供給し、前記レジストマスク及び中間膜の開口部の側壁に反応生成物を付着させる第2の工程と、その後、イオウとフッ素との化合物を含む処理ガスを用いて前記シリコン層における前記開口部に対応する部位をエッチングして凹部を形成する第3の工程と、を含むことを特徴とするプラズマエッチング方法が提供される。



(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), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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、レジストマスク、シリコンと窒素とを含む中間膜及びシリコン層が上方側から積層された基板に対して処理ガスのプラズマを供給し、前記シリコン膜をエッチングして凹部を形成するプラズマエッチング方法に関する。

背景技術

[0002] 近年におけるデバイス構造の3次元化に伴って、集積回路が実装された例えば半導体ウエハなどの基板（以下「ウエハ」と言う）同士を立体的に集積し、各々のウエハ内に埋め込まれた配線金属により互いに隣接するウエハ同士を電氣的に接続する構造が検討されている。この場合、各々のウエハには、配線金属を当該ウエハに埋め込むためのホールなどの凹部がプラズマエッチング処理により形成される。このようなウエハは、具体的には前記凹部の形成される例えば単結晶シリコン（Si）層と、当該シリコン層の上方に積層されると共に凹部のパターンに対応するようにパターンニングされたレジストマスクとを備えている。そして、これらシリコン層とレジストマスクとの間には、凹部に配線金属を埋め込んだ後に余剰な配線金属を除去するために行われる例えばCMP（Chemical Mechanical Polishing）工程において、終点検出用のストップ膜として用いるために、例えば窒化シリコン（SiN）膜などのシリコンを含む中間膜が介在している。従って、この中間膜に対してエッチングを行ってシリコン層を露出させた後、当該シリコン層のエッチング処理が行われる。

[0003] ここで、前記凹部は、例えば10 μ m程度の大きさの開口径に対して100 μ mもの深さ寸法に形成される場合がある。従って、例えばフッ化硫黄（SF₆）ガスや酸素（O₂）ガスなどを含む処理ガスのプラズマによりシリコン層がエッチングされる間に亘って、当該プラズマに窒化シリコン膜の側壁

が曝されることになる。そのため、窒化シリコン膜が側方側（凹部側）からサイドエッチングされて、凹部の周囲においてレジストマスクとシリコン膜との間に空隙が形成されてしまう場合がある。この空隙が形成されると、その後の工程において当該空隙に配線金属が入り込み、リーク電流が大きくなるなど、所望のデバイスの特性が得られなくなる。

[0004] 特許文献1には、例えば C_4F_8 ガスのプラズマを用いてフォトリソ膜の側壁に保護膜を形成して、アンダーカットの発生を抑制する技術について記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2009-206410（段落0047等）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、このようなCFガスを用いた場合には、堆積物（保護膜）の形成効率が悪くスループットの低下を招いてしまうおそれがある。また、処理チャンバーの内壁面に付着した付着物によって、処理チャンバーにおいて続行行われる処理に悪影響を及ぼしてしまうおそれがある。

[0007] 本発明はこのような事情の下になされたものであり、その目的は、レジストマスク、シリコンと窒素を含む中間膜及びシリコン層が上方側からこの順番で積層された基板に対して、レジストマスクのパターンを介してプラズマエッチング処理を行ってシリコン層に凹部を形成するにあたり、前記中間膜のサイドエッチングの発生を抑えることのでき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

[0008] 本発明のプラズマエッチング方法は、基板の表面に形成されたレジストマスクの下方に位置する、シリコン及び窒素を含む中間膜を処理ガスによりエッチングして、前記中間膜の下方に位置するシリコン層を露出させる第1の

工程と、次いで塩素ガスを基板に供給し、前記レジストマスク及び中間膜の開口部の側壁に反応生成物を付着させる第2の工程と、その後、イオウとフッ素との化合物を含む処理ガスを用いて前記シリコン層における前記開口部に対応する部位をエッチングして凹部を形成する第3の工程と、を含む。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、シリコン層に対してイオウとフッ素との化合物を含む処理ガスを供給して前記開口部に対応する部位をエッチングして凹部を形成するときに、前記反応生成物が中間膜の側壁の保護膜として機能するので、当該中間膜のサイドエッチングを抑えることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法が適用される基板の一例を示す縦断面図である。

[図2]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の一連の工程を示すフロー図である。

[図3]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の作用を示す基板の縦断面図である。

[図4]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の作用を示す基板の縦断面図である。

[図5]本発明の一実施形態に係る各層のエッチング時間とエッチング量との関係を示したグラフである。

[図6]本発明の一実施形態に係る各層のエッチング時間とエッチング量との関係を示したグラフである。

[図7]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の作用を示す基板の縦断面図である。

[図8]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の作用を示す基板の縦断面図である。

[図9]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の作用を示す基板の縦断面図である。

[図10]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の作用を示す基板の縦断面図である。

[図11]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の作用を示す基板の縦断面図である。

[図12]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法を実施するためのプラズマエッチング装置の一例を示す縦断面図である。

[図13]本発明の実施例において得られた基板の縦断面を示す概観図である。

[図14]本発明の実施例にて得られた付着物の寸法を説明するための概略図である。

[図15]本発明の実施例において得られた基板の縦断面を示す概観図である。

[図16]本発明の実施例にて得られた特性を示す特性図である。

発明を実施するための形態

[0011] [ウエハの構成及び概要]

本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法の実施の形態の一例について、図1～図11を参照して説明する。まず、このプラズマエッチング方法が適用される例えば12インチサイズのウエハWの構成の一例について説明する。このウエハWは、図1に示すように、例えば単結晶シリコン（Si）層1上に、シリコンと窒素（N）とを含む窒化シリコン（SiN）膜2及びレジストマスク3が下側からこの順番で積層されている。窒化シリコン（SiN）膜2は、例えば厚さ寸法tが100 μ mの中間膜の一例である。また、レジストマスク3は、樹脂などからなる。このレジストマスク3には、開口径（直径寸法）D1が例えば11.2 μ mの円筒状の開口部11が複数箇所にパターンニングされており、後述するように、各々の開口部11に対応する位置において、下層側の窒化シリコン膜2及びシリコン層1に対して、処理ガスのプラズマにより例えば100 μ mもの深さを持つホールなどの凹部12（図4参照）が形成される。そして、本発明の一実施形態では、シリコン層1に対して凹部12を形成する時に、窒化シリコン膜2が側方側（凹部12側）からサイドエッチングされないように、あるいは窒化シリコン

膜2のサイドエッチングが抑えられるように、当該窒化シリコン膜2の側壁に保護膜（付着物13）を形成している。尚、図1ではウエハW上における一つの開口部11付近の領域を拡大して示している。

[0012] 次に、既述の付着物13を形成する工程を含むプラズマエッチング方法について図2～図11を参照して説明する。尚、プラズマエッチング工程を実施する装置は、公知のプラズマ装置を用いることができるため、この装置の一例については後述することとする。プラズマエッチング工程は、以下に詳述するように、窒化シリコン膜2をエッチングする第1の工程（ステップS1）、シリコン層1を僅かに（例えば1 μ m程度）エッチングしながら窒化シリコン膜2の側壁に保護膜を形成する第2の工程（ステップS2）及びシリコン層1に対してエッチングを行って例えば100 μ mもの深さの凹部12を形成する第3の工程（ステップS3）によって構成されている。尚、前記保護膜を形成する工程においてシリコン層1のエッチングにより形成される領域についても、「凹部12」の用語を用いる。

[0013] [ステップS1：窒化シリコン膜のエッチング工程]

先ず、窒化シリコン膜2に対してエッチング処理を行う。具体的には、ウエハWの置かれる処理雰囲気（後述の処理容器50内）を真空雰囲気に設定すると共に、SF₆（フッ化硫黄）ガスとO₂（酸素）ガスとを含む処理ガスのプラズマをウエハWに供給する。このプラズマによって、図3に示すように、レジストマスク3を介して窒化シリコン膜2がエッチングされて下層側のシリコン層1が露出する。尚、前記プラズマによってレジストマスク3についてもエッチングされているが、レジストマスク3に対する窒化シリコン膜2のエッチング選択比がかなり大きいため、図3では図示を省略している。以降の図4～図10についても同様である。

[0014] [ステップS2：保護膜の形成工程]

次いで、窒化シリコン膜2の側壁に保護膜を形成する。具体的には、前記処理ガスを排気した後、処理雰囲気の真空度を6.67Pa（50mTorr）～13.33Pa（100mTorr）の範囲のいずれかに設定すると

共に、処理ガス（エッチングガス）として塩素（ Cl_2 ）ガスを200 s c c m以上の流量で前記処理雰囲気へ供給する。本実施形態では、処理雰囲気の真空度を6.67 Pa（50 m T o r r）に設定すると共に、処理ガス（エッチングガス）として塩素（ Cl_2 ）ガスを400 s c c mの流量で前記処理雰囲気へ供給する。そして、この処理ガスにプラズマ発生用の高周波電力を印加すると共に、ウエハWに対してバイアス用の高周波電力を印加すると、処理ガスは、図4に示すように、プラズマ化（イオン化）されてウエハWに向かって引き込まれていく。尚、後述の平行平板型プラズマ装置を用いる場合、平行平板電極間にプラズマ発生用の高周波電力が印加され、下部電極にバイアス用の高周波電力が印加されることになる。この塩素イオンがシリコン層1に接触すると、当該シリコン層1は開口部11に対応するように極めて僅かにエッチングされて凹部12が形成されていく。

[0015] ここで、シリコン層1が塩素ガスのプラズマによりエッチングされると、シリコンと塩素とを含む反応生成物である塩化シリコン（ SiCl_4 ）が生成されて、レジストマスク3、窒化シリコン膜2及び当該シリコン層1における凹部12の側壁に付着物13として付着（堆積）する。この付着物13は、図5及び図6に示すように、シリコン層1及び窒化シリコン膜2よりもエッチングされにくい。そのため、この付着物13は、当該付着物13の付着工程に続いて行われるシリコン層1のエッチング工程において、窒化シリコン膜2の保護膜として機能することになる。尚、図5及び図6において、縦軸は各種の膜（ Si 膜、フォトリソマスク膜、 SiN 膜、 SiO_2 膜及び SiCl_4 膜）を夫々エッチングしたときのエッチング量（膜厚）、横軸は各膜をエッチングしたエッチング時間を示している。また、図6は、図5における縦軸の下側（ゼロ）付近を拡大したグラフである。

[0016] この時、付着物13の付着工程が進行するにつれて、シリコン層1に形成される凹部12の開口径D1が徐々に狭まっていくことになる。微視的な説明になるが、シリコン層1が極僅かにエッチングされた状態では、図7に示すように、凹部12は、例えばレジストマスク3の開口部11と概略同じ寸

法に形成される。そして、このエッチングによって凹部 1 2 の側壁に付着物 1 3 が付着すると、この付着物 1 3 は、ウエハ W 側に引き込まれて来る塩素イオン（プラズマ）に対して障壁となる。そのため、シリコン層 1 は、図 8 に示すように、シリコン層 1 の凹部 1 2 の内壁面に周方向に亘って付着した付着物 1 3 をマスクとして、前記塩素イオンによってエッチングされることになる。尚、図 7 及び図 8 は、レジストマスク 3 の開口部 1 1 付近を拡大して模式的に示しており、開口部 1 1 の深さ寸法については誇張して大きく描画している。

[0017] 続いて、新たに露出した凹部 1 2 の内壁面に再度付着物 1 3 が付着し、この付着物 1 3 をマスクとしてシリコン層 1 が更にエッチングされ、こうして付着物 1 3 の付着工程が進行するに従って凹部 1 2 の開口径 D_1 が徐々に狭まっていく。そのため、この付着物 1 3 の付着工程によって形成された凹部 1 2 の下端の開口径に符号「 D_2 」（図 4 参照）を付すと、シリコン層 1 の上端位置には、既述の図 4 に示したように、上方側から下方側に向かって開口径が D_1 から D_2 に緩やかに縮径するテーパ面 1 4 が周方向に亘って形成される。

[0018] そして、この付着物 1 3 の幅寸法（厚さ寸法） u が例えば $0.6 \mu\text{m}$ 程度となるまで、例えば 2 分間に亘って付着物 1 3 の付着工程を続けると、レジストマスク 3 からシリコン層 1 のテーパ面 1 4 に亘って、開口部 1 1 及び凹部 1 2 の内周面に付着物 1 3 が付着、堆積する。この時、塩素ガスのプラズマによりエッチングされたシリコン層 1 の深さ寸法 h_1 は、例えば $1 \mu\text{m}$ となる。また、既述の開口径 D_2 は、例えば $10 \mu\text{m}$ となる。前記シリコン層 1 は塩素イオンによって異方性高くエッチングされるため、当該シリコン層 1 は側方側からのサイドエッチングが抑えられる。

[0019] ここで、付着物 1 3 の幅寸法 u は次の観点から設定される。既述の図 5 及び図 6 に示したように、シリコン及び塩素を含む付着物 1 3 は、窒化シリコン膜 2 やシリコン層 1 よりもエッチングされにくい、僅かにエッチングされる。そのため、窒化シリコン膜 2 の側壁に付着させた付着物 1 3 について

、続いて行われるシリコン層 1 のエッチング工程の途中において除去（エッチング）されてしまうと、窒化シリコン膜 2 の保護作用が良好に得られないおそれがある。一方、シリコン層 1 のエッチング工程が終了した後に窒化シリコン膜 2 の側壁に付着物 1 3 が残ったままになると、更にその後に行われる工程において凹部 1 2 内に配線金属を埋め込みにくくなったり、あるいは当該配線金属の電気抵抗の増大の要因になってしまうおそれもある。そこで、本発明の一実施形態では、シリコン層 1 のエッチング工程が終了した時に、この例では凹部 1 2 の深さ寸法 h_2 が既述の $100\ \mu\text{m}$ 程度となった時に、窒化シリコン膜 2 の側壁の付着物 1 3 がエッチングによって除去されるように、あるいは付着物 1 3 がほとんど残らないように、当該付着物 1 3 の幅寸法 u を設定する、または付着物 1 3 を除去するプロセスを追加する。

[0020] 具体的には、図 5 及び図 6 に示すように、シリコン層 1 のエッチング工程の処理ガス（エッチングガス）を用いて、シリコン層 1 及び付着物 1 3（SiC14）をエッチングして、これらシリコン層 1 及び付着物 1 3 の各々において単位時間あたりのエッチング量（膜厚）を予め測定しておく。そして、シリコン層 1 に形成する凹部 1 2 の深さ寸法 h_2 （この例では $100\ \mu\text{m}$ ）をエッチングするために要する時間を算出すると、この例では 20 分となる。そのため、付着物 1 3 は、シリコン層 1 のエッチング処理の間、20 分間に亘って残っている（20 分後に除去される）ことが好ましい。図 6 において、20 分間でエッチングされる付着物 1 3 の膜厚がおよそ $0.6\ \mu\text{m}$ 程度であり、従って窒化シリコン膜 2 の側壁に形成する付着物 1 3 の幅寸法 u は $0.6\ \mu\text{m}$ となる。

[0021] この時、後述の実施例に示すように、付着物 1 3 の幅寸法 u について、窒化シリコン膜 2 の上端側から下端側にかけてばらつくことがある。具体的には、付着物 1 3 の幅寸法 u は、下端側よりも上端側において厚くなる場合がある。従って、窒化シリコン膜 2 の側壁に付着させる付着物 1 3 の幅寸法 u について、窒化シリコン膜 2 のサイドエッチングをできるだけ抑えたい場合には、窒化シリコン膜 2 の上端側から下端側における付着物 1 3 の幅寸法 u

の最小値が既述の $0.6\mu\text{m}$ あるいは $0.6\mu\text{m}$ 以上となるように設定する。一方、凹部12の形成が完了した時に付着物13ができるだけ残らないようにする場合には、窒化シリコン膜2の上端側から下端側における付着物13の幅寸法uの最大値が既述の $0.6\mu\text{m}$ あるいは $0.6\mu\text{m}$ 以下となるように設定する。この時、既述のように、付着物13の幅寸法uを既述のように設定することに代えて、あるいは幅寸法uを以上のように設定すると共に付着物13を除去するプロセスを行っても良い。

[0022] [ステップS3：シリコン層1のエッチング工程]

次に、シリコン層1のエッチング工程について説明する。始めに、ウエハWの置かれる処理雰囲気を排気して既述の塩素ガスを除去した後、真空雰囲気に設定された処理雰囲気において、図9に示すように、 SF_6 ガス、 SiF_4 （フッ化シリコン）ガス、 O_2 ガス及び HBr （臭化水素）ガスを含む処理ガスのプラズマ（ラジカル）をウエハWに供給する。このプラズマにより、シリコン層1が下方側に向かってエッチングされると共に、レジストマスク3、窒化シリコン膜2及び凹部12の側壁に付着した既述の付着物13についても例えば側方側から僅かにエッチングされていく。この時、付着物13が側方側からエッチングされるにつれて、既述のテーパ面14の下端側（内周側）が露出する。そのため、テーパ面14の下端側についても下方に向かってエッチングされるので、当該テーパ面14は、シリコン層1のエッチング処理が進むにつれて、いわばテーパ角度が急峻になっていく。尚、シリコン層1がエッチングされていくにあたり、プラズマ中において、 SF_6 ガス由来のフッ素、またはフッ素とイオウとを含むラジカル（活性種）が特に寄与していると考えられる。

[0023] こうして凹部12の深さ寸法h2が例えば $100\mu\text{m}$ 程度となるまでシリコン層1のエッチング処理を行うと、図10に示すように、レジストマスク3、窒化シリコン膜2及びシリコン層1の上端部に付着していた付着物13が除去されるか、あるいはほとんどなくなる。そして、既述のテーパ面14については、シリコン層1のエッチングが進むにつれて下端側（内周側）

から上端側（外周側）に向かって徐々にプラズマに曝されることになるので、テーパ角度が一層急峻になって（垂直に近づいて）いき、例えば凹部12の上下方向に亘ってテーパ面14が形成される。この凹部12の下端における開口径は、予め設計していた寸法D2例えば $10\mu\text{m}$ となっている。従って、レジストマスク3の開口部11の開口径D1は、付着物13の幅寸法uの分（ $0.6\mu\text{m} \times 2$ ）だけ大きく設計され、この例では $10\mu\text{m} + 0.6\mu\text{m} \times 2 = 11.2\mu\text{m}$ となる。

[0024] [その後の工程]

シリコン層1をエッチングした後、例えばレジストマスク3を、 O_2 ガスを含む処理ガスのプラズマによってアッシングし、次いでウエハWの表面の洗浄を行う。続いて、CVD（Chemical Mechanical Deposition）法や電解メッキあるいは無電解メッキなどにより、凹部12内に例えば銅（Cu）などの配線金属15を埋め込む。その後、図11に示すように、CMP（Chemical Mechanical Polishing）加工により、ウエハWの表面に形成された余剰な配線金属15を除去する。この時、窒化シリコン膜2がストッパ膜として作用して、当該窒化シリコン膜2の上端位置においてCMP加工の終点検出が行われる。

[0025] [エッチング装置]

続いて、以上のプラズマエッチング方法を実施するためのプラズマエッチング装置の一例について、図12を参照して簡単に説明する。この装置は、ウエハWを載置するための下部電極をなす載置台31と、この載置台31に対向するように処理容器50の上方側に設けられたガスシャワーヘッド32を備えた下部2周波のエッチング装置として構成されている。図12中のプラズマ発生用の高周波電源33a及びバイアス用の高周波電源33bは、各々整合器34a及び整合器34bを介して載置台31に接続される。高周波電源33aは、例えば周波数が 40MHz の高周波を出力し、高周波電源33bは、例えば周波数が 2MHz の高周波を出力する。

[0026] また、ガスシャワーヘッド32には、ガスシャワーヘッド32の下面にて

ガス供給孔 3 2 a が多数箇所形成されている。処理ガスは、処理ガス供給源 3 5 から出力され、ガス供給孔 3 2 a を介して載置台 3 1 上の静電チャック 3 1 a に保持されたウエハ W の上方に供給される。真空ポンプ 3 6 は、処理容器 5 0 の床面側から当該処理容器 5 0 内の雰囲気気を真空排気する。処理ガス供給源 3 5 には、バルブなどを含む流量調整部 3 7 が連結されている。真空ポンプ 3 6 には、バタフライバルブ 3 8 が連結されている。載置台 3 1 には、温調流路 3 9 が設けられている。ウエハ W は、ゲートバルブ 4 1 の開閉により、ウエハ W の搬送口 4 0 から搬入又は搬出される。

[0027] この装置において既述のプラズマエッチング処理を行う時には、当該装置の外部の搬送アームと、載置台 3 1 の下方側に設けられた図示しない昇降ピンとの協働作用により、搬送口 4 0 を介して載置台 3 1 にウエハ W を載置する。次いで、処理容器 5 0 内を真空排気して、処理容器 5 0 内の雰囲気気を処理圧力に調整すると共に、当該処理容器 5 0 内に処理ガスを供給する。そして、プラズマ発生用の高周波電源 3 3 a 及びバイアス用の高周波電源 3 3 b から例えば各々 1 5 0 0 W の電力を載置台 3 1 に供給して、処理ガスをプラズマ化すると共にプラズマをウエハ W 側に引き込む。こうして既述の窒化シリコン膜 2 やシリコン層 1 がエッチングされる。

[0028] 上述の実施形態によれば、窒化シリコン膜 2 をエッチングしてシリコン層 1 を露出させた後、塩素を含む処理ガスのプラズマ（イオン）を用いて当該シリコン層 1 を僅かにエッチングして、窒化シリコン膜 2 の側壁に塩素とシリコンとを含む付着物 1 3 を付着させている。この時、付着物 1 3 はシリコン層 1 よりもエッチングされにくい物質であり、また塩素イオンは異方性エッチングを行うプラズマである。そのため、シリコン層 1 に例えば 1 0 0 μ m もの深さの凹部 1 2 を形成する場合であっても、フッ素ラジカルによってエッチングされやすい窒化シリコン膜 2 についてサイドエッチングを抑えることができる。従って、凹部 1 2 に埋め込まれる配線金属 1 5 の上端位置の幅寸法を設計通りに形成でき、例えば互いに隣り合う配線金属 1 5、1 5 同士の短絡を防ぐことができる。そのため、リーク電流の増大などの特性の劣

化を抑えることができる。

[0029] また、窒化シリコン膜 2 のサイドエッチングが抑えられることから、凹部 1 2 の形状について、アンダーカット（凹部 1 2 の開口径 D_1 が上方側から下方側に向かうにつれて広がること）の発生を抑えて、上方側の開口径 D_1 よりも下方側の開口径 D_2 が狭いテーパ形状となるようにエッチングできるので、当該凹部 1 2 に配線金属 1 5 を容易に埋め込むことができる。

[0030] 更に、レジストマスク 3 の開口部 1 1 の開口径 D_1 について、凹部 1 2 の側壁に付着させる付着物 1 3 の幅寸法 u の分（詳しくは幅寸法 $u \times 2$ の分）だけ、凹部 1 2 の下端位置の開口径 D_2 よりも大きくしているので、当該開口径 D_2 を設計通りに形成できる。

[0031] 更にまた、シリコン層 1 に凹部 1 2 を形成した時に付着物 1 3 がエッチングにより除去されるように、あるいはエッチングによってほとんど付着物 1 3 が残らないように当該付着物 1 3 の幅寸法 u を設定している。そのため、例えば凹部 1 2 の閉塞や配線金属 1 5 の電気抵抗の増大などといった配線金属 1 5 に対する悪影響を抑えることができる。

[0032] そして、窒化シリコン膜 2 の側壁に付着物 1 3 を付着させる工程において、処理条件（処理圧力及び処理ガスの流量）を既述のように設定することにより、付着物 1 3 を速やかに形成できる。また、このように処理条件を設定することにより、後述の実施例に示すように、付着物 1 3 の高さ寸法 k を大きく形成できるので、シリコン層 1 のエッチング工程において上方側からウエハ W に引き寄せられるプラズマに対して付着物 1 3 に高い耐性を持たせることができる。

[0033] ここで、レジストマスク 3 とシリコン層 1 との間に積層される中間膜として、既述の例では窒化シリコン膜 2 を例に挙げて説明したが、この窒化シリコン膜 2 に代えて、シリコン層 1 のエッチング処理に用いられるプラズマ中のフッ素ラジカルによりエッチングされる化合物種例えば $SiCN$ 膜などを用いても良い。また、このシリコンを含む膜（窒化シリコン膜 2）に付着物 1 3 を付着させるために用いる塩素を含む処理ガスとしては、既述の塩素ガ

スと共に希釈ガスとして、例えばAr（アルゴン）ガス、He（ヘリウム）ガス、O₂（酸素）ガスなどを用いても良い。更に、既述の例では凹部12をテーパ形状となるように形成したが、垂直となるように形成しても良い。更に、窒化シリコン膜2の側壁に付着物13を付着させる工程は、処理圧力を $3 \times 10^{-6} \text{ Pa} \sim 7 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ （ $3 \times 10^{-6} \text{ Pa} \sim 7 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ）に設定して行っても良いし、また塩素ガスの供給流量を50～1000 sccmに設定しても良い。

[0034] 既述のエッチング装置としては、図12の装置に代えて、下部1周波の装置あるいは上下2周波のプラズマエッチング装置を用いても良い。

実施例

[0035] 続いて、実際に図12の装置を用いて既述の付着物13を窒化シリコン膜2の側壁に付着させた実験について説明する。

[0036] （実験例1）

既述の図3の状態となるように窒化シリコン膜2をエッチングした300 mm（12インチ）サイズのエッチング機Wに対して、塩素ガスを用いて、以下のように処理圧力を種々変えてプラズマエッチングを行った。処理圧力以外の処理条件は、各例において共通の条件であり、塩素ガスの流量については100 sccmに設定した。

[0037] （処理圧力）

実施例：6.67 Pa（50 mTorr）、13.3 Pa（100 mTorr）

比較例：2.67 Pa（20 mTorr）

その結果、図13に示すように、処理圧力が高くなる（真空度が低くなる）程、付着物13の高さ寸法kが高くなり、6.67 Pa（50 mTorr）以上の処理圧力では付着物13の上端部がレジストマスク3の表面付近にまで到達していた。従って、既述のようにシリコン層1のエッチング時において付着物13の良好なエッチング耐性を得るためには、処理圧力は6.67 Pa（50 mTorr）以上であることが好ましいことが分かった。尚、

図 1 3 の下側には、上側に示した SEM (s c a n n i n g e l e c t r o n m i c r o s c o p e) 写真を読み取って付着物 1 3 と窒化シリコン膜 2 との境界を示した図を描画している。

[0038] (実験例 2)

続いて、付着物 1 3 を生成させる工程において、塩素ガスの流量を以下の表に示すように種々変えて実験を行った。そして、ウエハ W の中央 (センター) と端部 (エッジ) とにおいて、付着物 1 3 の幅寸法 u 及び高さ寸法 k を各々測定した。この実験において、処理圧力を各々 6 . 6 7 P a (5 0 m T o r r) に設定すると共に、2 分間に亘って各々エッチング処理を行った。尚、付着物 1 3 の幅寸法 u 及び高さ寸法 k については、図 1 4 に示すように、夫々窒化シリコン膜 2 の上端位置における寸法及び当該付着物 1 3 の上端位置から窒化シリコン膜 2 の上端位置までの間における寸法である。

[0039] [表 1]

ガス流量 (sccm)	600		800		1000	
測定位置	中央部	端部	中央部	端部	中央部	端部
開口径 (μm)	10.91	11.23	10.87	11.11	10.72	10.56
堆積物の高さ寸法 (μm)	6.25	5.56	5.99	6.05	6.07	6.39
堆積物の幅寸法 (μm)	0.54	0.60	0.60	0.62	0.62	0.64

その結果、上記表及び図 1 5 に示すように、いずれの条件においても良好な付着物 1 3 が得られた。付着物 1 3 の幅寸法 u については、処理ガスの流量を増やす程厚くなっていることが分かった。そのため、付着物 1 3 を速やかに得るためには、ガス流量が例えば 8 0 0 s c c m 以上であることが好ましい。尚、実験結果などの説明については省略するが、処理ガスの流量が 2

00 s c c m以上であれば、各例と同様に付着物 1 3 が得られる。

[0040] (実験例 3)

また、既述の図 1 2 のプラズマエッチング装置を用いて、プラズマ発生用の高周波電源 3 3 a 及びバイアス用の高周波電源 3 3 b からウエハ W に対して各々供給する電力量を種々変えて付着物 1 3 を付着させた。そして、この付着物 1 3 について、ウエハ W の中央部側及び端部側において、幅寸法 u 及び高さ寸法 k を夫々測定した。その結果、図 1 6 に示すように、各高周波電源 3 3 a、3 3 b から供給する高周波電力を 1 0 0 0 W 以上に設定することにより、良好な（幅寸法 u が $0.6 \mu\text{m}$ 以上の）付着物 1 3 が生成することが分かった。また、これら高周波電源 3 3 a、3 3 b の高周波電力が 1 0 0 0 W 以上では、付着物 1 3 の各寸法はほぼ同程度となっていた。尚、この実験において、各高周波電源 3 3 a、3 3 b の一方の電力量を 1 0 0 0 W あるいは 1 5 0 0 W に設定するにあたり、他方の電力値については 5 0 W に設定した。

[0041] (まとめ)

以上に説明したように、本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法は、基板の表面に形成されたレジストマスクの下方に位置する、シリコン及び窒素を含む中間膜を処理ガスによりエッチングして、前記中間膜の下方に位置するシリコン層を露出させる第 1 の工程と、次いで塩素ガスを基板に供給し、前記レジストマスク及び中間膜の開口部の側壁に反応生成物を付着させる第 2 の工程と、その後、イオウとフッ素との化合物を含む処理ガスを用いて前記シリコン層における前記開口部に対応する部位をエッチングして凹部を形成する第 3 の工程と、を含む。

[0042] 前記第 2 の工程は、 $3 \times 10^{-6} \text{ Pa} \sim 7 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ($3 \times 10^{-6} \text{ Pa} \sim 7 \times 10^{-4} \text{ Pa}$) の圧力雰囲気下で行っても良い。また、前記基板は 12 インチウエハであり、前記第 2 の工程は、基板に対向する対向面に多数のガス供給孔が形成されたガスシャワーヘッドから塩素ガスを供給すると共に、塩素ガスの供給流量を 5 0 s c c m $\sim$ 1 0 0 0 s c c m に設定して行っても良い。更に

、前記第2の工程は、前記第3の工程において前記シリコン層に凹部を形成した時に、前記イオウとフッ素との化合物を含む処理ガスによって反応生成物が除去されるように膜厚を調整して反応生成物を付着させる工程であっても良い。

[0043] これによれば、レジストマスクの下方に位置するシリコン及び窒素を含む中間膜をエッチングして、当該中間膜の下方に位置するシリコン層を露出させた後、塩素ガスを基板に供給して、中間膜の開口部の側壁に反応生成物を付着させている。そのため、シリコン層に対してイオウとフッ素との化合物を含む処理ガスを供給して前記開口部に対応する部位をエッチングして凹部を形成する時に、前記反応生成物が中間膜の側壁の保護膜として機能するので、当該中間膜のサイドエッチングを抑えることができる。

[0044] 以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

[0045] 本国際出願は、2011年2月8日に提出された日本国特許出願2011-025083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

[0046] W ウエハ

- 1 シリコン層
- 2 窒化シリコン膜
- 3 レジストマスク
- 11 開口部
- 12 凹部
- 13 付着物

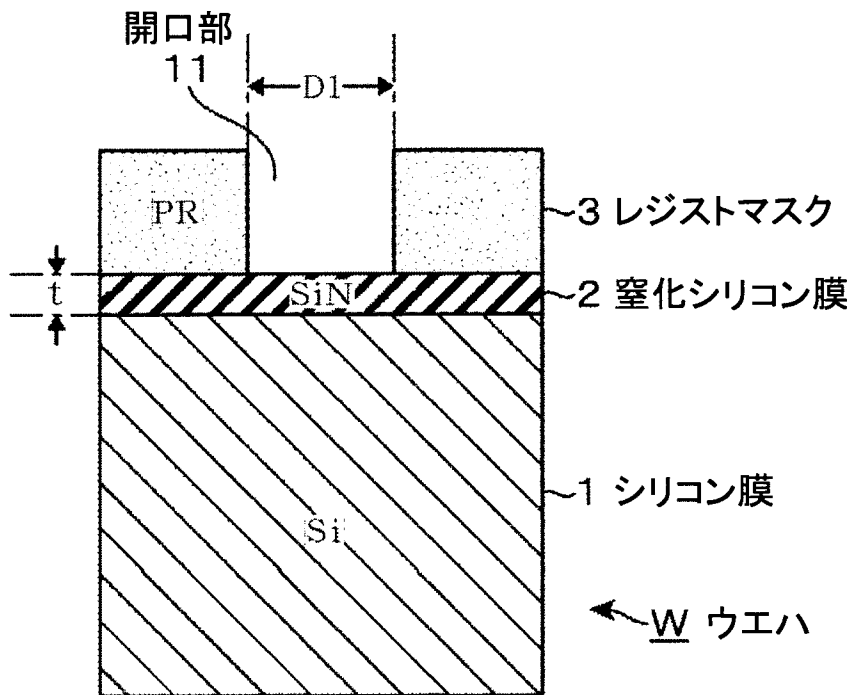
1 4 テーパー面

1 5 配線金属

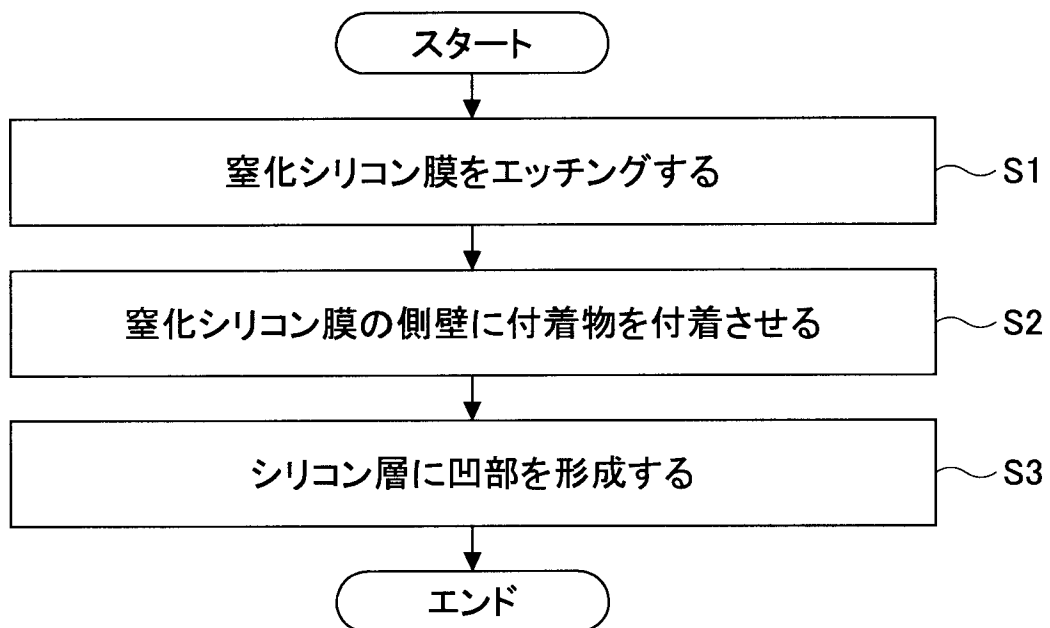
請求の範囲

- [請求項1] 基板の表面に形成されたレジストマスクの下方に位置する、シリコン及び窒素を含む中間膜を処理ガスによりエッチングして、前記中間膜の下方に位置するシリコン層を露出させる第1の工程と、
- 次いで塩素ガスを基板に供給し、前記レジストマスク及び中間膜の開口部の側壁に反応生成物を付着させる第2の工程と、
- その後、イオウとフッ素との化合物を含む処理ガスを用いて前記シリコン層における前記開口部に対応する部位をエッチングして凹部を形成する第3の工程と、を含むことを特徴とするプラズマエッチング方法。
- [請求項2] 前記第2の工程は、 $3 \times 10^{-6} \text{ Pa} \sim 7 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ の圧力雰囲気下で行う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。
- [請求項3] 前記基板は12インチウエハであり、
- 前記第2の工程は、基板に対向する対向面に多数のガス供給孔が形成されたガスシャワーヘッドから塩素ガスを供給すると共に、塩素ガスの供給流量を $50 \text{ sccm} \sim 1000 \text{ sccm}$ に設定して行う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。
- [請求項4] 前記第2の工程は、前記第3の工程において前記シリコン層に凹部を形成した時に、前記イオウとフッ素との化合物を含む処理ガスによって反応生成物が除去されるように膜厚を調整して反応生成物を付着させる工程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。

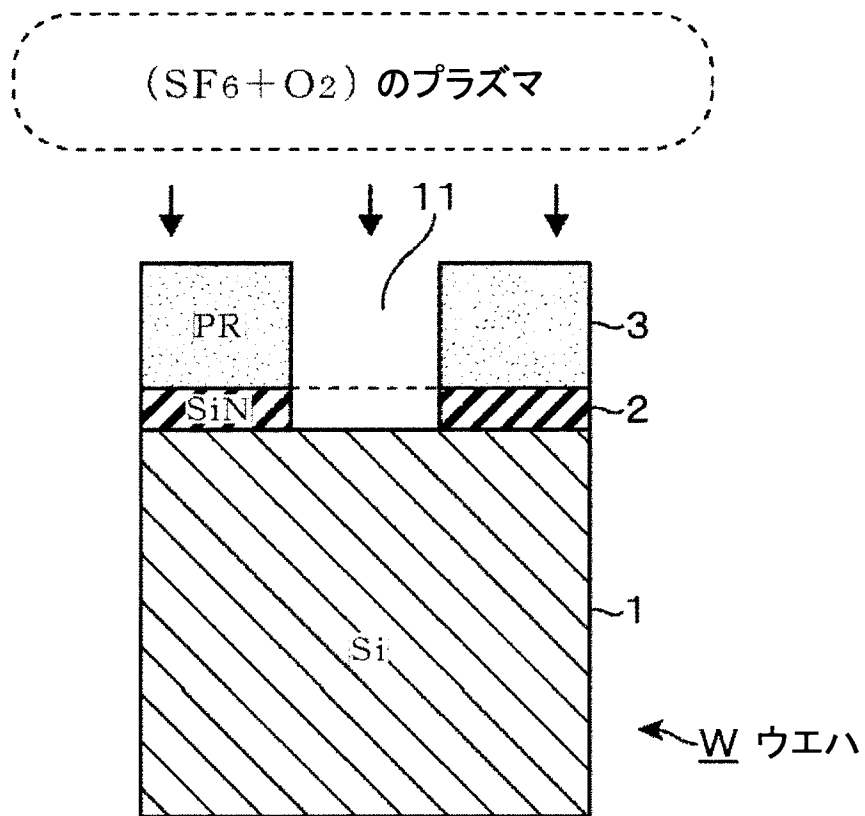
[図1]



[図2]



[図3]



Cl₂ のプラズマ(イオン)

付着物 13

PR

3

2

SiN

テーパー面 14

1

Si

11

12

u

k

h1

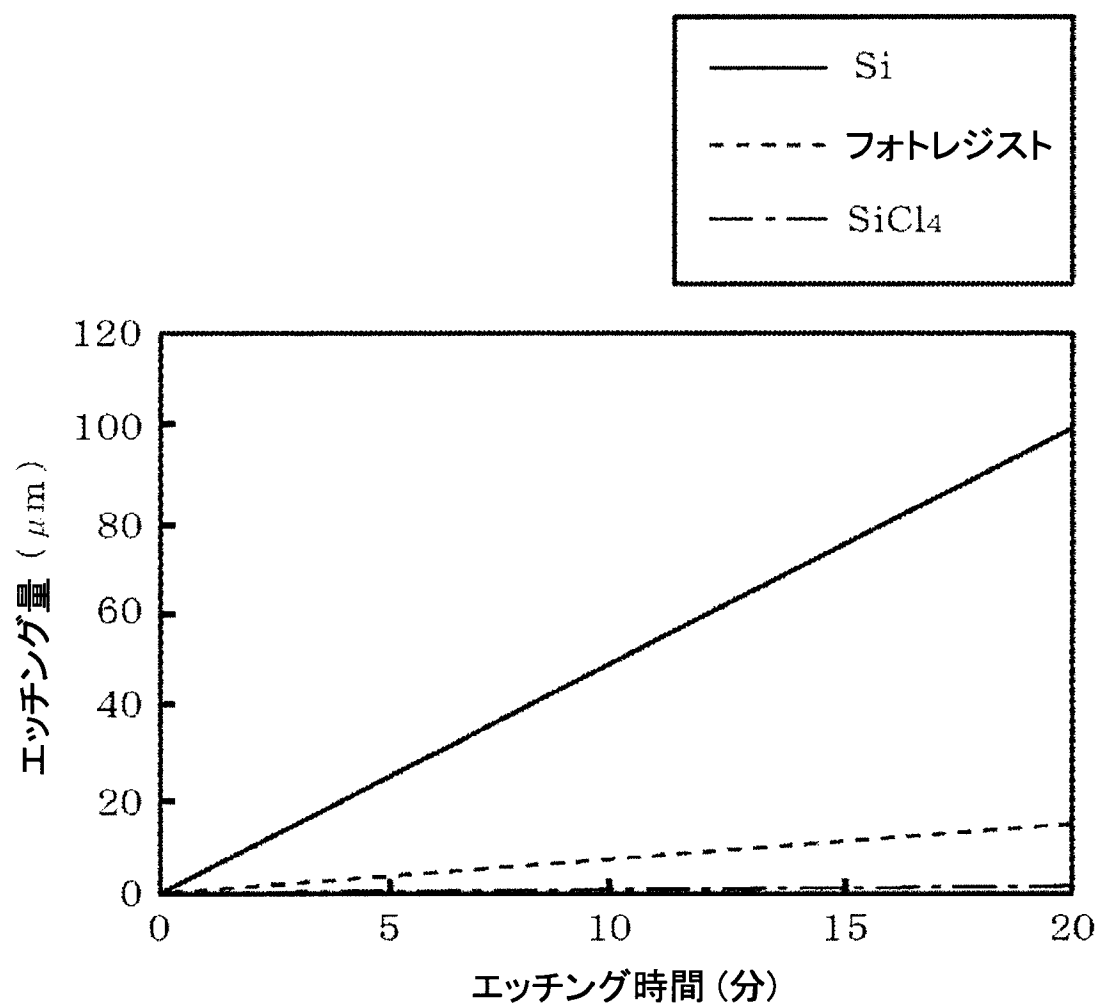
D2

D1

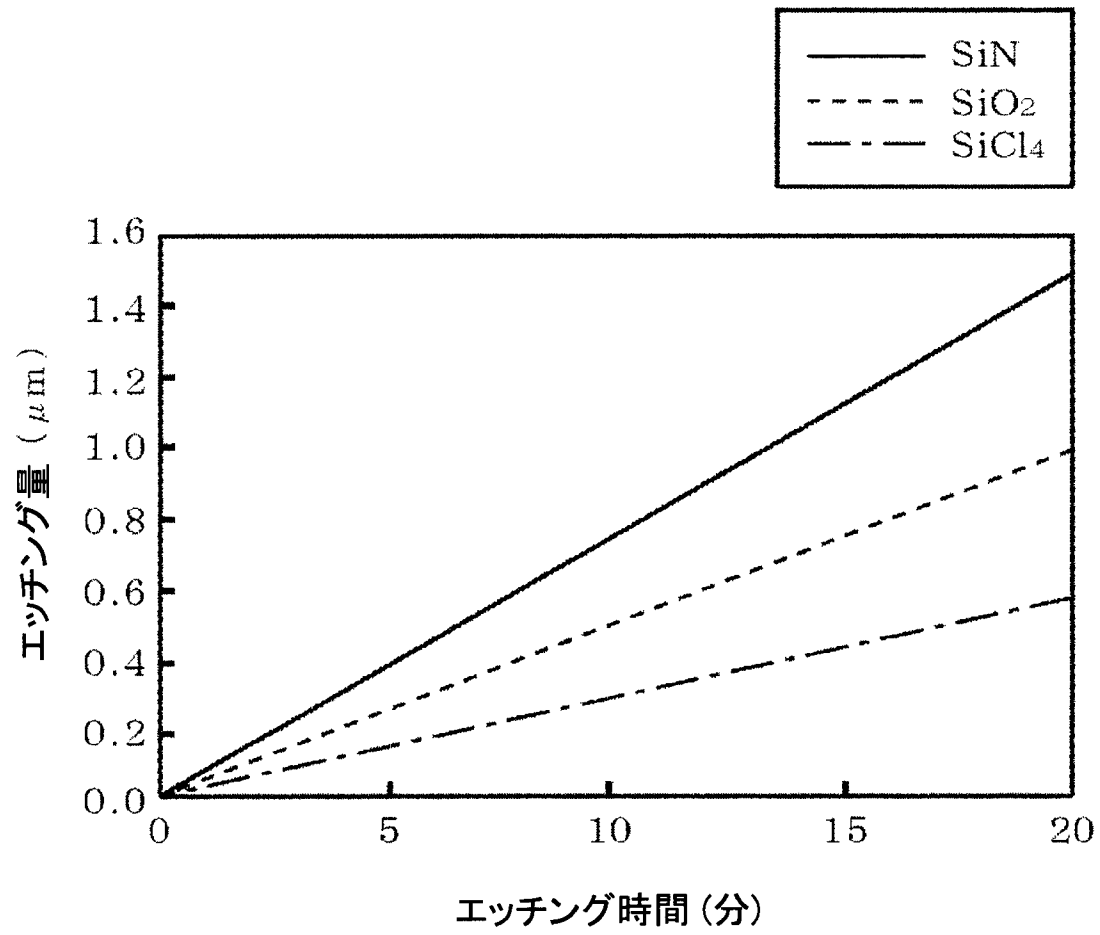
W ウエハ

This diagram illustrates a cross-section of a semiconductor device during Cl₂ plasma treatment. The substrate is a silicon (Si) wafer (1) with a tapered surface (14). A silicon nitride (SiN) layer (2) is deposited on the surface, and a photoresist (PR) layer (3) is patterned on top. The PR layer is being etched by Cl₂ plasma ions (11) from the top. The etching process is shown at two stages: a wider opening (D1) and a narrower opening (D2). The thickness of the PR layer is k, and the thickness of the SiN layer is h1. The plasma ions are shown as arrows pointing down into the opening. The label '付着物 13' (deposition 13) is also present.

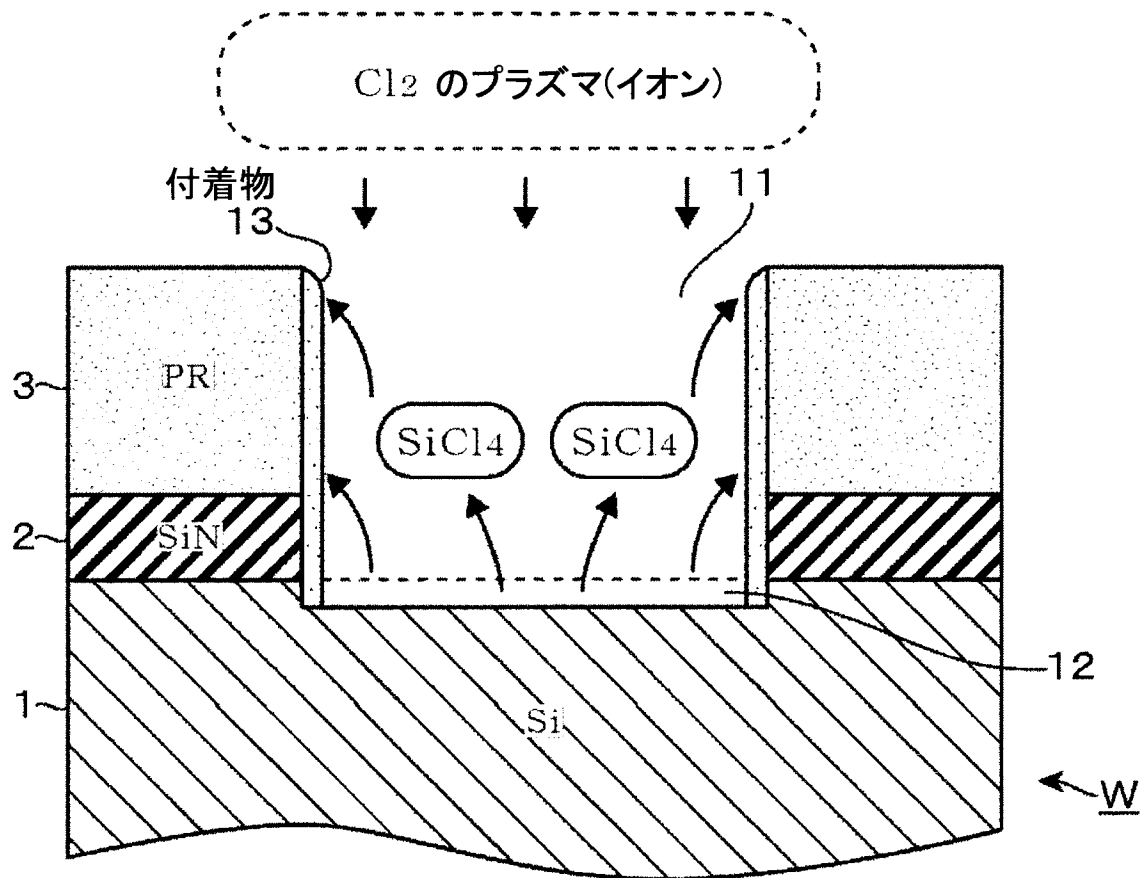
[図5]



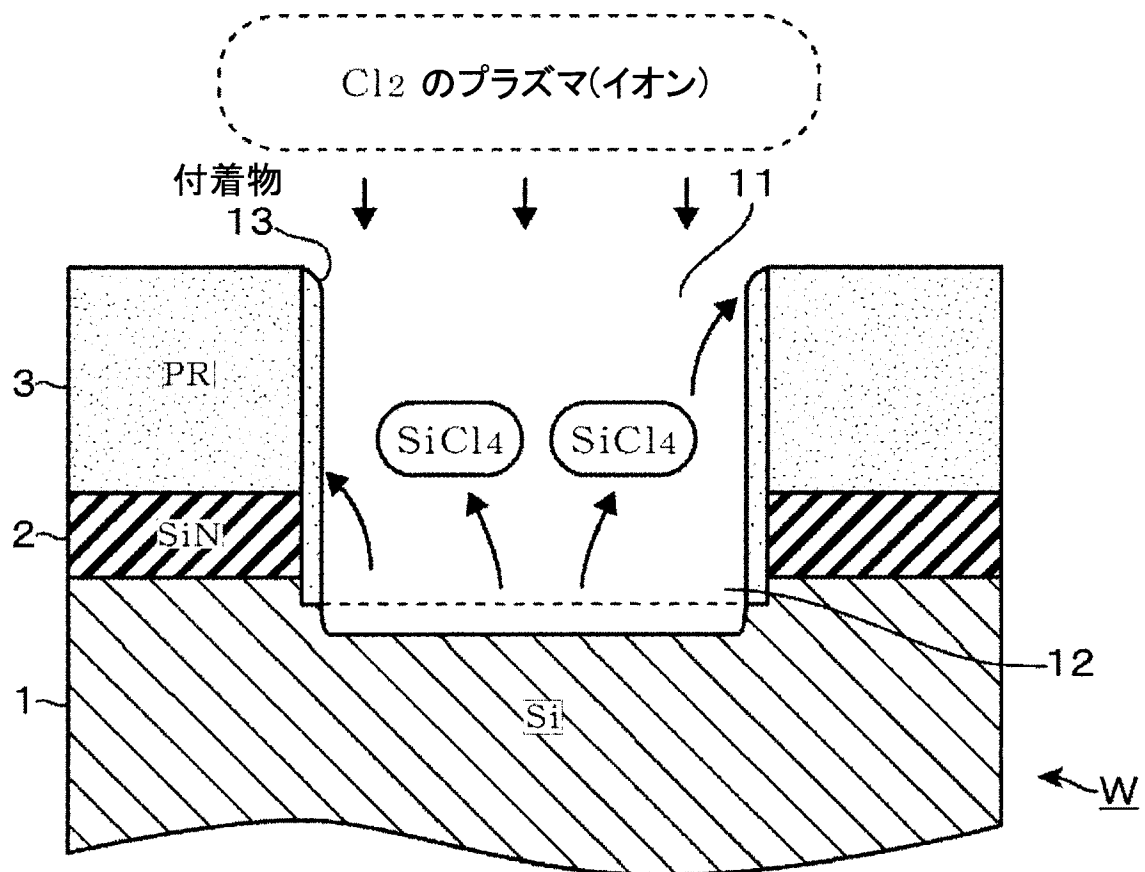
[図6]



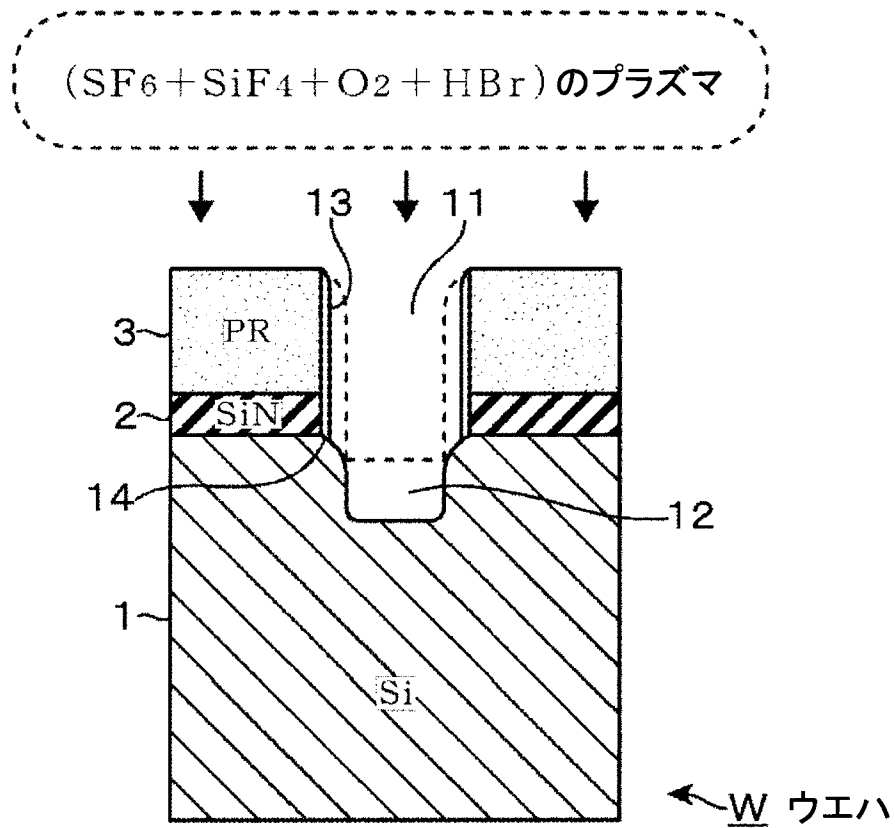
[図7]



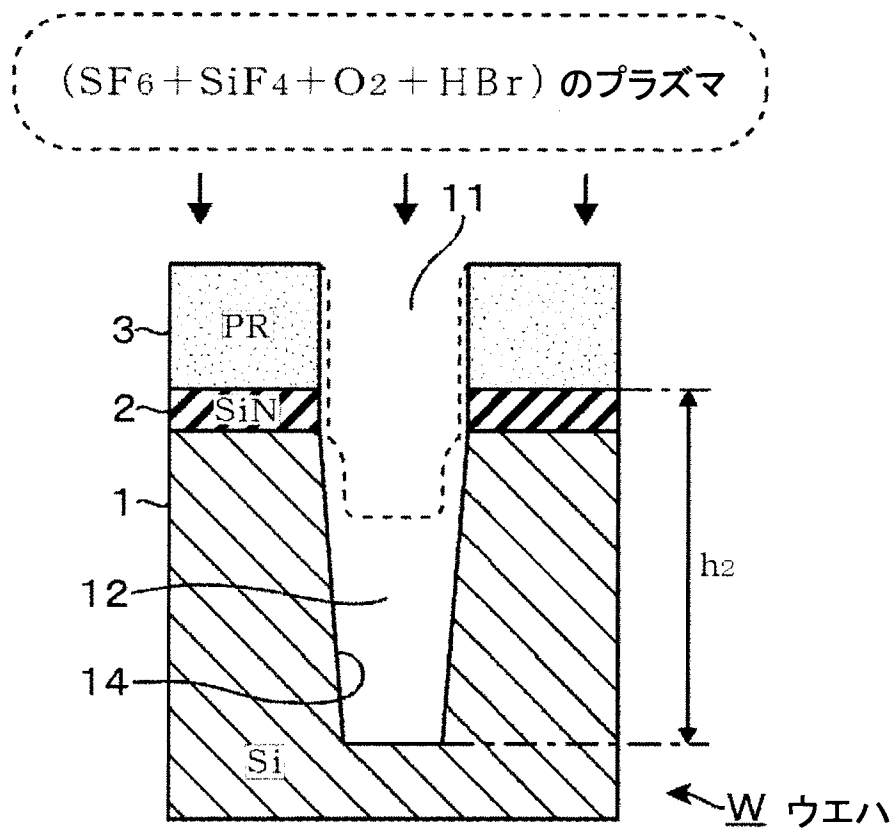
[図8]



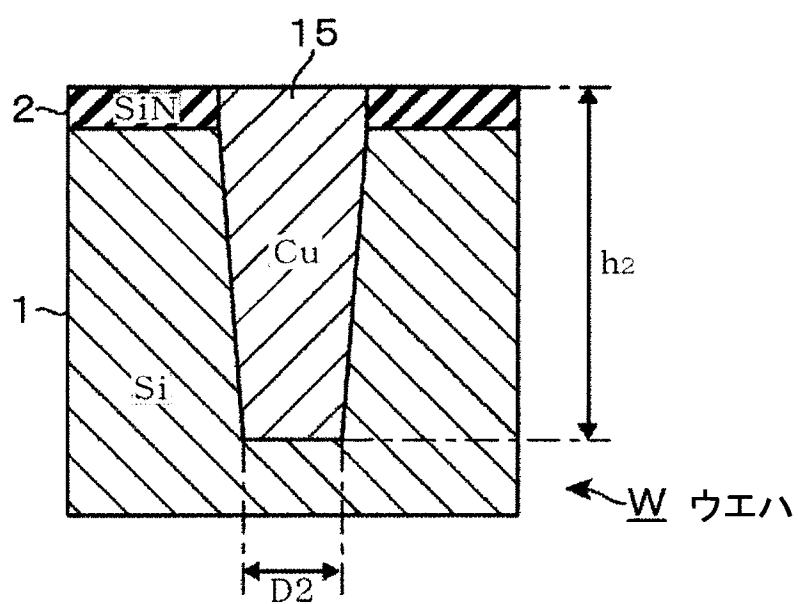
[図9]



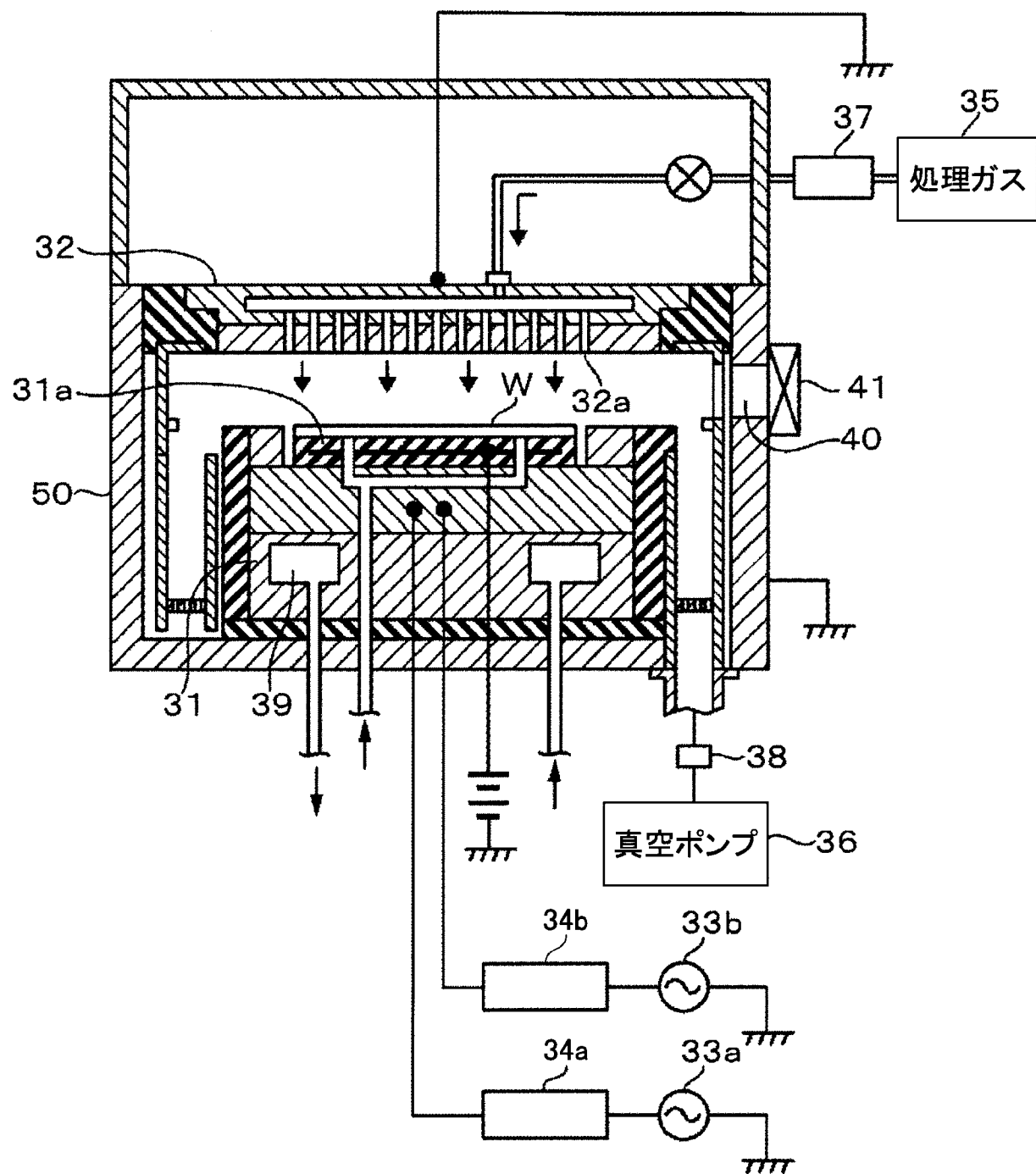
[図10]



[図11]

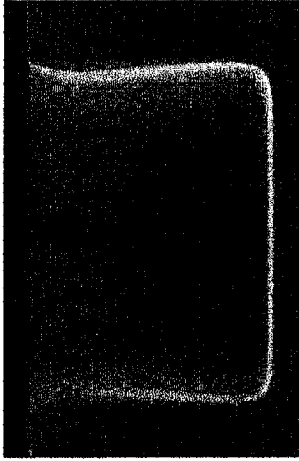


[図12]

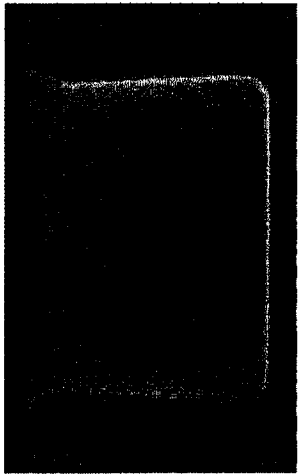


[図13]

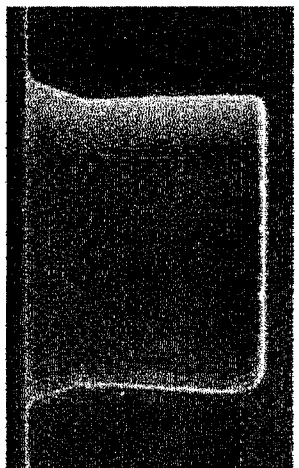
13.3Pa



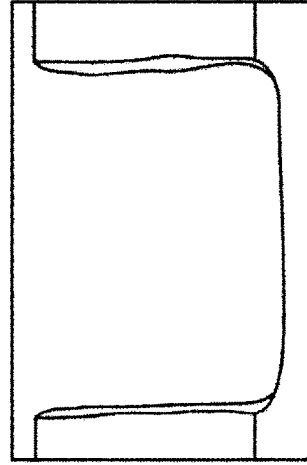
6.67Pa



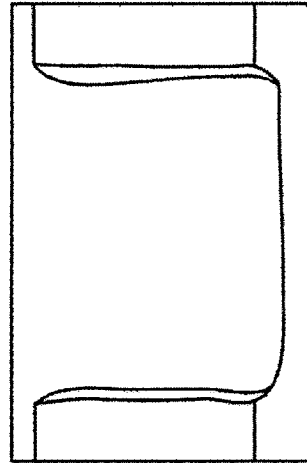
2.67Pa



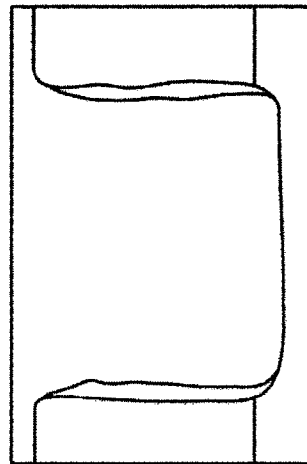
13.3Pa



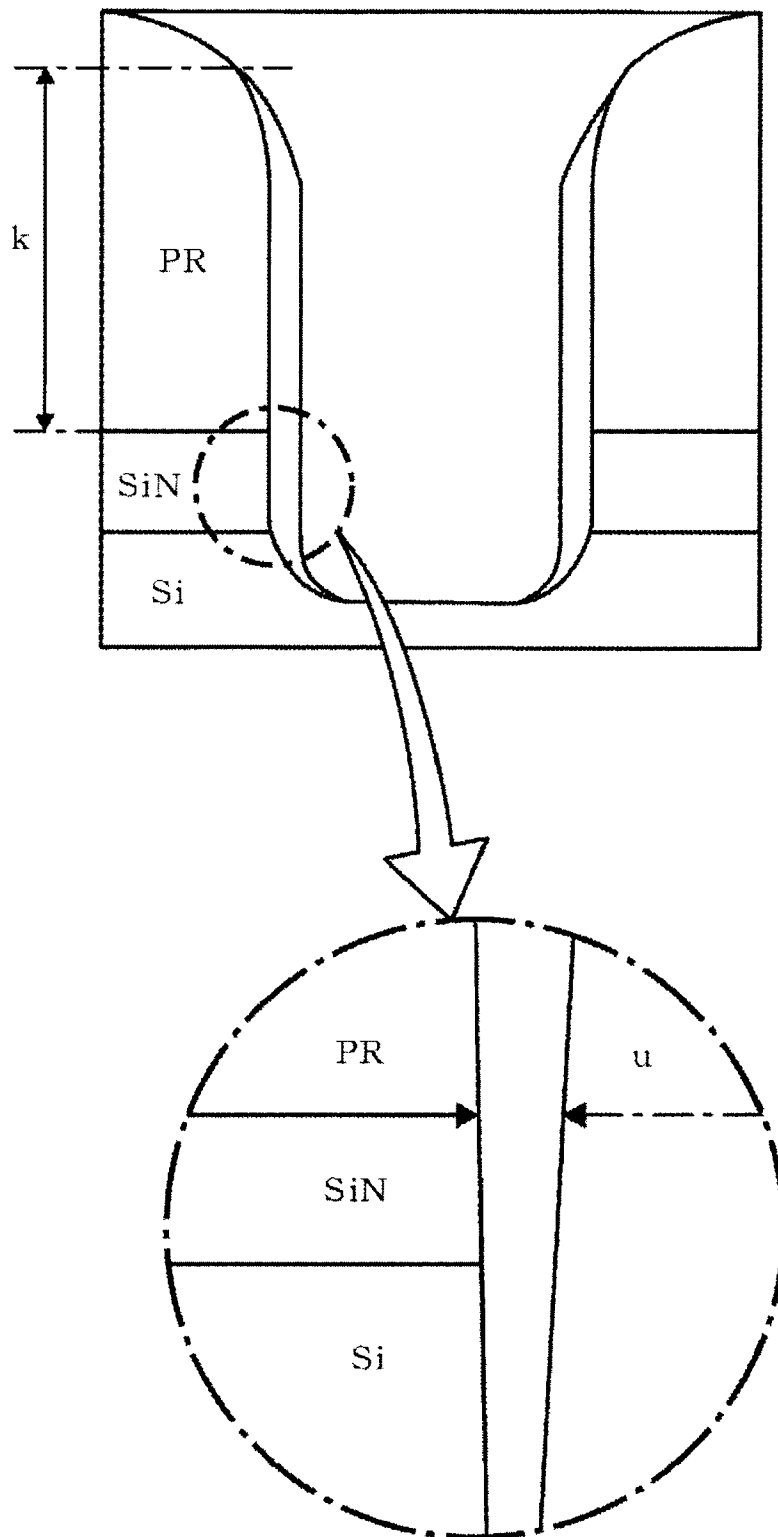
6.67Pa



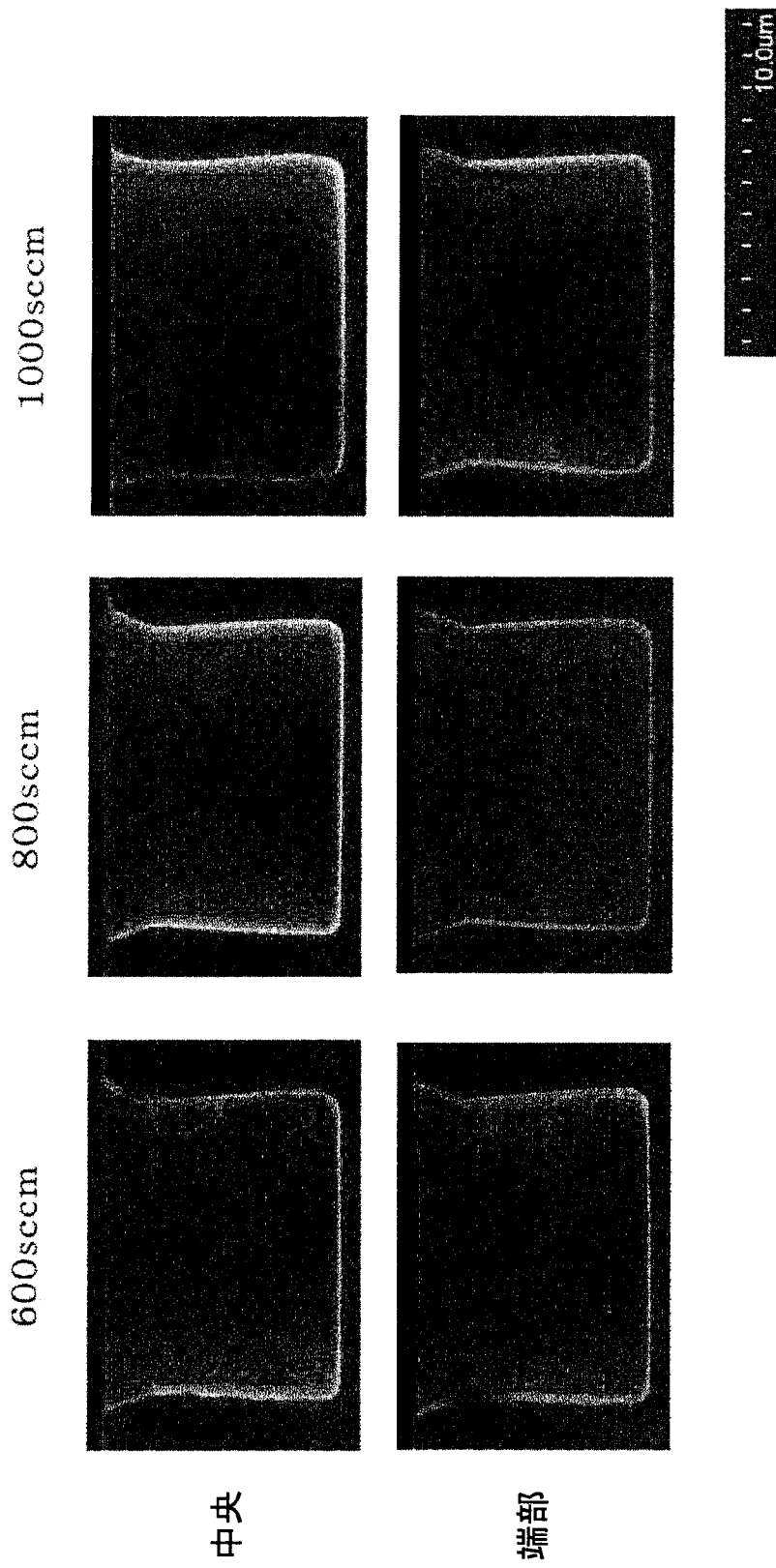
2.67Pa



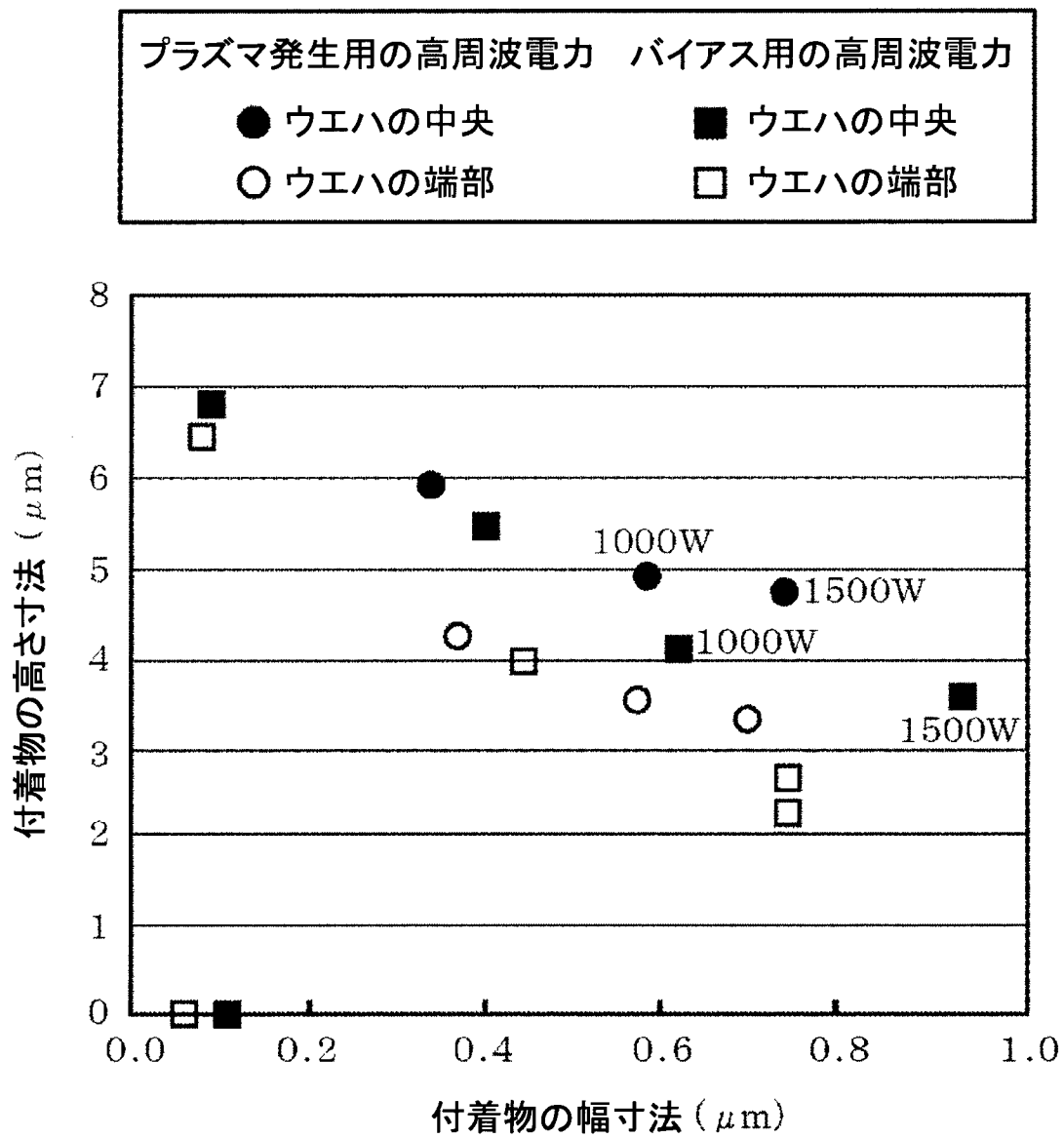
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/052789

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 2005-310944 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 04 November 2005 (04.11.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 2004-259927 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 16 September 2004 (16.09.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 2007-080982 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 29 March 2007 (29.03.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-4

☒ 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
17 April, 2012 (17.04.12)

Date of mailing of the international search report
24 April, 2012 (24.04.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/052789

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 2002-043413 A (Toshiba Corp.), 08 February 2002 (08.02.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 2006-237356 A (Toshiba Corp.), 07 September 2006 (07.09.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 2007-005377 A (Tokyo Electron Ltd.), 11 January 2007 (11.01.2007), entire text; all drawings & US 2006/0292876 A1 & CN 1885492 A	1-4
A	JP 2005-175369 A (Japan Aviation Electronics Industry Ltd.), 30 June 2005 (30.06.2005), entire text; all drawings & US 2005/0155951 A1	1-4

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2012年
日本国実用新案登録公報	1996-2012年
日本国登録実用新案公報	1994-2012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 2005-310944 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ） 2005. 11. 04, 全文全図（ファミリーなし）	1-4
A	JP 2004-259927 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ） 2004. 09. 16, 全文全図（ファミリーなし）	1-4
A	JP 2007-080982 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ） 2007. 03. 29, 全文全図（ファミリーなし）	1-4

☒ 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

17. 04. 2012

国際調査報告の発送日

24. 04. 2012

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

長谷部 智寿

4 R

3339

電話番号 03-3581-1101 内線 3471

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 2002-043413 A (株式会社東芝) 2002. 02. 08, 全文全図 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2006-237356 A (株式会社東芝) 2006. 09. 07, 全文全図 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2007-005377 A (東京エレクトロン株式会社) 2007. 01. 11, 全文全図 & US 2006/0292876 A1 & CN 1885492 A	1-4
A	JP 2005-175369 A (日本航空電子工業株式会社) 2005. 06. 30, 全文全図 & US 2005/0155951 A1	1-4