

(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
2019年2月21日(21.02.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/035258 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/302 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/020187

(22) 国際出願日: 2018年5月25日(25.05.2018)

(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 2017-156541 2017年8月14日(14.08.2017) JP

(71) 出願人:株式会社KOKUSAI ELECTRIC (KOKUSAI ELECTRIC CORPORATION)

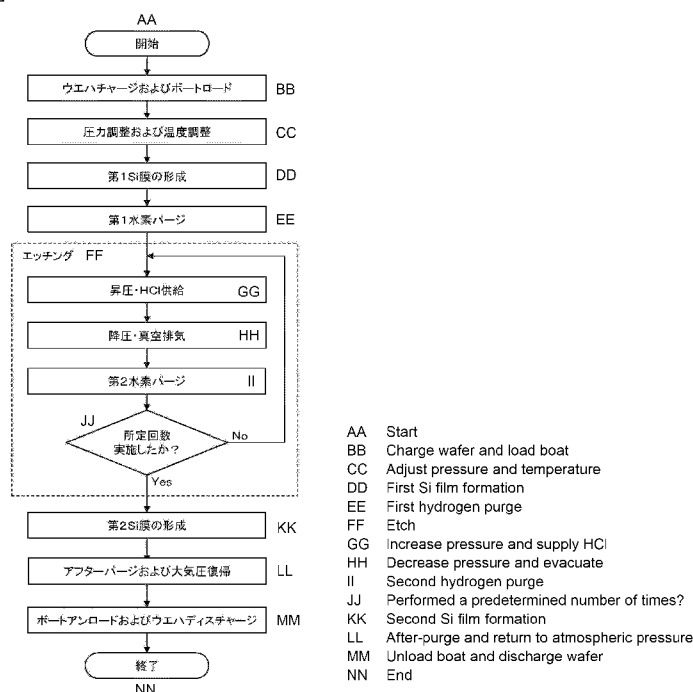
[JP/JP]; 〒1010045 東京都千代田区神田鍛冶町三丁目4番地 Tokyo (JP).

(72) 発明者:芳賀 健佑(HAGA Kensuke); 〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株式会社日立国際電気内 Toyama (JP). 森谷 敦(MORIYA Atsushi); 〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株式会社日立国際電気内 Toyama (JP). 中磯 直春(NAKAISO Naoharu); 〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株式会社日立国際電気内 Toyama (JP). 宮倉 敬弘(MIYAKURA Takahiro); 〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株式会社日立国際電気内 Toyama (JP).

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING METHOD, SUBSTRATE PROCESSING DEVICE, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 半導体装置の製造方法、基板処理装置およびプログラム

[図4]



(57) Abstract: According to the present invention, a portion of a film formed on the surface of a substrate is etched by performing a cycle a predetermined number of times, wherein the cycle comprises: a step for supplying an etching gas into a processing chamber while increasing the pressure inside the processing chamber in a state in which a substrate having a film formed on the surface thereof is accommodated in the processing chamber; and a step for reducing the pressure inside the processing chamber while exhausting the gas from the processing chamber in a state in which the supply of the



(74) 代理人: 福岡 昌浩, 外 (FUKUOKA Masahiro et al.); 〒1020072 東京都千代田区飯田橋四丁目 6 番 1 号 2 1 東和ビル 3 F 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

etching gas into the processing chamber is stopped.

(57) 要約: 表面に膜が形成された基板を処理室内に収容した状態で、処理室内の圧力を上昇させつつ、処理室内へエッチングガスを供給する工程と、処理室内へのエッチングガスの供給を停止した状態で、処理室内を排気することで、処理室内の圧力を降下させる工程と、を含むサイクルを所定回数行うことで、基板の表面に形成された膜の一部をエッチングする。

明 細 書

発明の名称：

半導体装置の製造方法、基板処理装置およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置の製造方法、基板処理装置およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 半導体装置の製造工程の一工程として、エッチングガスを用い、基板の表面に形成された膜の一部をエッチングする工程が行われる場合がある（例えば特許文献１，２参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特開２００３－２１８０３６号公報
特許文献２：特開２００３－２１８０３７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明の目的は、基板の表面に形成された膜をエッチングする際、基板面内におけるエッチング処理の均一性を向上させることが可能な技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明の一態様によれば、
表面に膜が形成された基板を処理室内に收容した状態で、前記処理室内の圧力を上昇させつつ、前記処理室内へエッチングガスを供給する工程と、
前記処理室内への前記エッチングガスの供給を停止した状態で、前記処理室内を排気することで、前記処理室内の圧力を降下させる工程と、
を含むサイクルを所定回数行うことで、前記基板の表面に形成された膜の

一部をエッチングする技術が提供される。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、基板の表面に形成された膜をエッチングする際、基板面内におけるエッチング処理の均一性を向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本発明の一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を縦断面図で示す図である。

[図2]本発明の一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を図1のA-A線断面図で示す図である。

[図3]本発明の一実施形態で好適に用いられる基板処理装置のコントローラの概略構成図であり、コントローラの制御系をブロック図で示す図である。

[図4]本発明の一実施形態の基板処理シーケンスを示すフロー図である。

[図5]図4における第1水素パージステップおよびエッチングステップにおけるガス供給シーケンス等を抜粋して示す図である。

[図6] (a)は第1Si膜を形成する前のウエハの表面構造を、(b)は第1Si膜を形成した後のウエハの表面構造を、(c)は第1Si膜の一部をエッチングした後のウエハの表面構造を、(d)は一部がエッチングされた第1Si膜の上に第2Si膜を形成した後のウエハの表面構造を示す断面拡大図である。

[図7] (a)はウエハ面内におけるSi膜のエッチング量の均一性の評価結果（実施例1）を示す図であり、(b)はウエハ面内におけるSi膜のエッチング量の均一性の評価結果（実施例2）を示す図であり、(c)はウエハ面内におけるSi膜のエッチング量の均一性の評価結果（比較例）を示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] <本発明の一実施形態>

以下、本発明の一実施形態について、図1～図5、図6(a)～図6(d)を用いて説明する。

[0009] (1) 基板処理装置の構成

図1に示すように、処理炉202は加熱機構（温度調整部）としてのヒータ207を有する。ヒータ207は円筒形状であり、保持板に支持されることにより垂直に据え付けられている。ヒータ207は、ガスを熱で活性化（励起）させる活性化機構（励起部）としても機能する。

[0010] ヒータ207の内側には、ヒータ207と同心円状に反応管203が配設されている。反応管203は、例えば石英（ SiO_2 ）または炭化シリコン（ SiC ）等の耐熱性材料により構成され、上端が閉塞し下端が開口した円筒形状に形成されている。反応管203の筒中空部には、処理室201が形成される。処理室201は、基板としてのウエハ200を収容可能に構成されている。

[0011] 処理室201内には、ノズル249a, 249bが、反応管203の下部側壁を貫通するように設けられている。ノズル249a, 249bには、ガス供給管232a, 232bがそれぞれ接続されている。

[0012] ガス供給管232a, 232bには、ガス流の上流側から順に、流量制御器（流量制御部）であるマスフローコントローラ（MFC）241a, 241bおよび開閉弁であるバルブ243a, 243bがそれぞれ設けられている。ガス供給管232a, 232bのバルブ243a, 243bよりも下流側には、ガス供給管232c, 232dがそれぞれ接続されている。ガス供給管232c, 232dには、ガス流の上流側から順に、MFC241c, 241dおよびバルブ243c, 243dがそれぞれ設けられている。

[0013] 図2に示すように、ノズル249a, 249bは、反応管203の内壁とウエハ200との間における平面視において円環状の空間に、反応管203の内壁の下部より上部に沿って、ウエハ200の積載方向上方に向かって立ち上がるようにそれぞれ設けられている。すなわち、ノズル249a, 249bは、ウエハ200が配列されるウエハ配列領域の側方の、ウエハ配列領域を水平に取り囲む領域に、ウエハ配列領域に沿うようにそれぞれ設けられている。ノズル249a, 249bの側面には、ガスを供給するガス供給孔

250a, 250bがそれぞれ設けられている。ガス供給孔250a, 250bは、反応管203の中心を向くようにそれぞれ開口しており、ウエハ200に向けてガスを供給することが可能となっている。ガス供給孔250a, 250bは、反応管203の下部から上部にわたって複数設けられている。

- [0014] ガス供給管232aからは、原料ガスとして、例えば、シリコン(Si)含有ガスが、MFC241a、バルブ243a、ノズル249aを介して処理室201内へ供給される。Si含有ガスとしては、例えば、モノシラン(SiH_4 、略称:MS)ガス等の水素化ケイ素ガスを用いることができる。
- [0015] ガス供給管232aからは、エッチングガスが、MFC241a、バルブ243a、ノズル249aを介して処理室201内へ供給される。エッチングガスとしては、例えば、ハロゲン原子およびハロゲン原子以外の原子を含むガスである塩化水素(HCl)ガスを用いることができる。
- [0016] ガス供給管232bからは、ドーパントガスが、MFC241b、バルブ243b、ノズル249bを介して処理室201内へ供給される。ドーパントガスとしては、例えば、ドーパント(不純物)としてのリン(P)を含むホスフィン(PH_3 、略称:PH)ガスを用いることができる。
- [0017] ガス供給管232c, 232dからは、水素(H)含有ガスとしての水素(H_2)ガス、不活性ガスとしての窒素(N_2)ガスが、それぞれ、MFC241c, 241d、バルブ243c, 243d、ガス供給管232a, 232b、ノズル249a, 249bを介して処理室201内へ供給される。
- [0018] 主に、ガス供給管232a、MFC241a、バルブ243aにより、原料ガス供給系、エッチングガス供給系がそれぞれ構成される。主に、ガス供給管232b、MFC241b、バルブ243bにより、ドーパントガス供給系が構成される。主に、ガス供給管232c, 232d、MFC241c, 241d、バルブ243c, 243dにより、H含有ガス供給系、不活性ガス供給系がそれぞれ構成される。
- [0019] 上述の各種供給系のうち、いずれか、或いは、全ての供給系は、バルブ2

4 3 a ~ 2 4 3 d や M F C 2 4 1 a ~ 2 4 1 d 等が集積されてなる集積型供給システム 2 4 8 として構成されていてもよい。集積型供給システム 2 4 8 は、ガス供給管 2 3 2 a ~ 2 3 2 d のそれぞれに対して接続され、ガス供給管 2 3 2 a ~ 2 3 2 d 内への各種ガスの供給動作、すなわち、バルブ 2 4 3 a ~ 2 4 3 d の開閉動作や M F C 2 4 1 a ~ 2 4 1 d による流量調整動作等が、後述するコントローラ 1 2 1 によって制御されるように構成されている。集積型供給システム 2 4 8 は、一体型、或いは、分割型の集積ユニットとして構成されており、ガス供給管 2 3 2 a ~ 2 3 2 d 等に対して集積ユニット単位で着脱を行うことができ、集積型供給システム 2 4 8 のメンテナンス、交換、増設等を、集積ユニット単位で行うことが可能なように構成されている。

[0020] 反応管 2 0 3 の側壁下方には、処理室 2 0 1 内の雰囲気気を排気する排気管 2 3 1 が接続されている。排気管 2 3 1 には、処理室 2 0 1 内の圧力を検出する圧力検出器（圧力検出部）としての圧力センサ 2 4 5 および圧力調整器（圧力調整部）としての A P C (A u t o P r e s s u r e C o n t r o l l e r) バルブ 2 4 4 を介して、真空排気装置としての真空ポンプ 2 4 6 が接続されている。A P C バルブ 2 4 4 は、真空ポンプ 2 4 6 を作動させた状態で弁を開閉することで、処理室 2 0 1 内の真空排気および真空排気停止を行うことができ、更に、真空ポンプ 2 4 6 を作動させた状態で、圧力センサ 2 4 5 により検出された圧力情報に基づいて弁開度を調節することで、処理室 2 0 1 内の圧力を調整することができるよう構成されている。主に、排気管 2 3 1、圧力センサ 2 4 5、A P C バルブ 2 4 4 により、排気系が構成される。真空ポンプ 2 4 6 を排気系に含めて考えてもよい。

[0021] 反応管 2 0 3 の下方には、反応管 2 0 3 の下端開口を気密に閉塞可能な炉口蓋体としてのシールキャップ 2 1 9 が設けられている。シールキャップ 2 1 9 は、例えば S U S 等の金属材料により構成され、円盤状に形成されている。シールキャップ 2 1 9 の上面には、反応管 2 0 3 の下端と当接するシール部材としての O リング 2 2 0 が設けられている。シールキャップ 2 1 9 の

下方には、後述するボート217を回転させる回転機構267が設置されている。回転機構267の回転軸255は、シールキャップ219を貫通してボート217に接続されている。回転機構267は、ボート217を回転させることでウエハ200を回転させるように構成されている。シールキャップ219は、反応管203の外部に設置された昇降機構としてのボートエレベータ115によって垂直方向に昇降されるように構成されている。ボートエレベータ115は、シールキャップ219を昇降させることで、ウエハ200を処理室201内外に搬入および搬出（搬送）する搬送装置（搬送機構）として構成されている。

[0022] 基板支持具としてのボート217は、複数枚、例えば25～200枚のウエハ200を、水平姿勢で、かつ、互いに中心を揃えた状態で垂直方向に整列させて多段に支持するように、すなわち、間隔を空けて配列させるように構成されている。ボート217は、例えば石英やSiC等の耐熱性材料により構成される。ボート217の下部には、例えば石英やSiC等の耐熱性材料により構成される断熱板218が水平姿勢で多段に支持されている。

[0023] 反応管203内には、温度検出器としての温度センサ263が設置されている。温度センサ263により検出された温度情報に基づきヒータ207への通電具合を調整することで、処理室201内の温度が所望の温度分布となる。温度センサ263は、反応管203の内壁に沿って設けられている。

[0024] 図3に示すように、制御部（制御手段）であるコントローラ121は、CPU（Central Processing Unit）121a、RAM（Random Access Memory）121b、記憶装置121c、I/Oポート121dを備えたコンピュータとして構成されている。RAM121b、記憶装置121c、I/Oポート121dは、内部バス121eを介して、CPU121aとデータ交換可能なように構成されている。コントローラ121には、例えばタッチパネル等として構成された入出力装置122が接続されている。

[0025] 記憶装置121cは、例えばフラッシュメモリ、HDD（Hard Di

s k Drive)等で構成されている。記憶装置121c内には、基板処理装置の動作を制御する制御プログラムや、後述する基板処理の手順や条件等が記載されたプロセスレシピ等が、読み出し可能に格納されている。プロセスレシピは、後述する基板処理工程における各手順をコントローラ121に実行させ、所定の結果を得ることが出来るように組み合わせられたものであり、プログラムとして機能する。以下、このプロセスレシピや制御プログラム等を総称して、単に、プログラムともいう。また、プロセスレシピを、単に、レシピともいう。本明細書においてプログラムという言葉を用いた場合は、レシピ単体のみを含む場合、制御プログラム単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。RAM121bは、CPU121aによって読み出されたプログラムやデータ等が一時的に保持されるメモリ領域（ワークエリア）として構成されている。

[0026] I/Oポート121dは、上述のMFC241a~241d、バルブ243a~243d、圧力センサ245、APCバルブ244、真空ポンプ246、ヒータ207、温度センサ263、回転機構267、ボートエレベータ115等に接続されている。

[0027] CPU121aは、記憶装置121cから制御プログラムを読み出して実行すると共に、入出力装置122からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置121cからレシピを読み出すように構成されている。CPU121aは、読み出したレシピの内容に沿うように、MFC241a~241dによる各種ガスの流量調整動作、バルブ243a~243dの開閉動作、APCバルブ244の開閉動作および圧力センサ245に基づくAPCバルブ244による圧力調整動作、真空ポンプ246の起動および停止、温度センサ263に基づくヒータ207の温度調整動作、回転機構267によるボート217の回転および回転速度調節動作、ボートエレベータ115によるボート217の昇降動作等を制御するように構成されている。

[0028] コントローラ121は、外部記憶装置（例えば、HDD等の磁気ディスク、CD等の光ディスク、MO等の光磁気ディスク、USBメモリ等の半導体

メモリ) 123に格納された上述のプログラムを、コンピュータにインストールすることにより構成することができる。記憶装置121cや外部記憶装置123は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体として構成されている。以下、これらを総称して、単に、記録媒体ともいう。本明細書において記録媒体という言葉を用いた場合は、記憶装置121c単体のみを含む場合、外部記憶装置123単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。なお、コンピュータへのプログラムの提供は、外部記憶装置123を用いず、インターネットや専用回線等の通信手段を用いて行ってもよい。

[0029] (2) 基板処理工程

上述の基板処理装置を用い、半導体装置の製造工程の一工程として、基板としてのウエハ200上にシリコン膜(Si膜)を形成するシーケンス例について、主に、図4、図5、図6(a)～図6(d)を用いて説明する。以下の説明において、基板処理装置を構成する各部の動作はコントローラ121により制御される。

[0030] 本実施形態の基板処理シーケンスでは、

ウエハ200の表面に設けられた凹部内を埋め込むように第1膜(第1Si膜)を形成するステップと、

ウエハ200の表面に形成された第1Si膜の一部をエッチングするステップと、

一部がエッチングされた第1Si膜上に、さらに第2膜(第2Si膜)を形成するステップと、

を行うことで、凹部内を第1Si膜および第2Si膜で埋め込む。

[0031] なお、第1Si膜の一部をエッチングするステップでは、

表面に第1Si膜が形成されたウエハ200を処理室201内に収容した状態で、処理室201内の圧力を上昇させつつ、処理室201内へエッチングガスとしてHClガスを供給するステップと、

処理室201内へのHClガスの供給を停止した状態で、処理室201内を排気することで、処理室201内の圧力を低下させるステップと、

を含むサイクルを所定回数行う。

[0032] 本明細書において「ウエハ」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものを意味する場合や、ウエハとその表面に形成された所定の層や膜との積層体を意味する場合がある。本明細書において「ウエハの表面」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものの表面を意味する場合や、ウエハ上に形成された所定の層等の表面を意味する場合がある。本明細書において「ウエハ上に所定の層を形成する」と記載した場合は、ウエハそのものの表面上に所定の層を直接形成することを意味する場合や、ウエハ上に形成されている層等の上に所定の層を形成することを意味する場合がある。本明細書において「基板」という言葉を用いた場合も、「ウエハ」という言葉を用いた場合と同義である。

[0033] (ウエハチャージおよびボートロード)

複数枚のウエハ200がボート217に装填(ウエハチャージ)される。その後、図1に示すように、複数枚のウエハ200を支持したボート217は、ボートエレベータ115によって持ち上げられて処理室201内へ搬入(ボートロード)される。この状態で、シールキャップ219は、リング220を介して反応管203の下端をシールした状態となる。

[0034] ウエハ200としては、例えば、単結晶Siにより構成されたSi基板、或いは、表面に単結晶Si膜が形成された基板を用いることができる。図6(a)に示すように、ウエハ200の表面には凹部が設けられている。凹部の底部は単結晶Siにより構成されており、凹部の側部および上部はシリコン酸化膜(SiO膜)やシリコン窒化膜(SiN膜)やシリコン酸炭窒化膜(SiOCN膜)等の絶縁膜200aにより構成されている。ウエハ200の表面は、単結晶Siと絶縁膜200aとがそれぞれ露出した状態となっている。

[0035] (圧力調整および温度調整)

処理室201内、すなわち、ウエハ200が存在する空間が所望の圧力(真空度)となるように、真空ポンプ246によって処理室201内が真空排

気（減圧排気）される。この際、処理室 201 内の圧力は圧力センサ 245 で測定され、この測定された圧力情報に基づき APC バルブ 244 がフィードバック制御される。また、処理室 201 内のウエハ 200 が所望の温度となるように、ヒータ 207 によって加熱される。この際、処理室 201 内が所望の温度分布となるように、温度センサ 263 が検出した温度情報に基づきヒータ 207 への通電具合がフィードバック制御される。また、回転機構 267 によるウエハ 200 の回転を開始する。真空ポンプ 246 の稼働、ウエハ 200 の加熱および回転は、いずれも、少なくともウエハ 200 に対する処理が終了するまでの間は継続して行われる。

[0036] （第 1 Si 膜形成ステップ）

その後、処理室 201 内のウエハ 200 に対し、MS ガスを供給する。このステップでは、バルブ 243 a を開き、ガス供給管 232 a 内へ MS ガスを流す。MS ガスは、MFC 241 a により流量調整され、ノズル 249 a を介して処理室 201 内へ供給され、排気管 231 から排気される。このとき、ウエハ 200 に対して MS ガスが供給される。このときバルブ 243 c, 243 d を開き、ガス供給管 232 c, 232 d 内へ N₂ ガスを流すようにしてもよい。N₂ ガスは、MFC 241 c, 241 d により流量調整され、ノズル 249 a, 249 b を介して処理室 201 内へ供給される。

[0037] ウエハ 200 に対して MS ガスを供給することにより、図 6 (b) に示すように、凹部内を埋め込むように第 1 Si 膜を形成することが可能となる。この成膜処理では、凹部の表面側が、凹部の側部および上部からオーバーハングするように成長した第 1 Si 膜によって塞がれた状態となる。そして、凹部内に、その深さ領域（方向）に伸びる非埋め込み領域、すなわち、ボイド、シーム等の中空部が形成される場合がある。中空部は、凹部の内部が第 1 Si 膜によって完全に埋め込まれる前に凹部の表面側が塞がれ、凹部の内部へ MS ガスが届かなくなり、凹部内における第 1 Si 膜の成長が停止することによって発生する。中空部は、凹部のアスペクト比（凹部の深さ／凹部の幅）が大きくなることにより、具体的には、アスペクト比が 1 以上、例え

ば20以上、更には50以上となることにより、生じやすくなる。また、アスペクト比が大きくなる程、中空部は、凹部内における底部側に形成されやすくなる。なお、後述する条件下では、少なくとも凹部の側部および上部において、Siが、アモルファス（非晶質）成長、ポリ（多結晶）成長、もしくは、アモルファスとポリとの混晶成長することとなる。すなわち、第1Si膜のうち、少なくとも凹部の側部および上部からオーバーハングするように成長した部分の結晶構造は、アモルファス、ポリ、もしくは、アモルファスとポリとの混晶となる。

[0038] 第1Si膜を形成した後、バルブ243aを閉じ、処理室201内へのMSガスの供給を停止する。なお、MSガスの供給は、凹部の表面側が第1Si膜によって塞がれた状態となる前に停止してもよく、完全に塞がれた状態となった後に停止してもよい。その後、処理室201内を真空排気し、処理室201内に残留するガス等を処理室201内から排除する。このとき、バルブ243c、243dを開き、処理室201内へN₂ガスを供給する。N₂ガスはパージガスとして作用する。

[0039] 本ステップにおける処理条件としては、

MSガス供給流量：10～2000sccm

N₂ガス供給流量（各ガス供給管）：0～10000sccm

ガス供給時間：20～400分

処理温度：450～550℃、好ましくは450～530℃

処理圧力：1～900Pa

が例示される。

[0040] なお、処理温度を530℃以下、好ましくは530℃未満の温度とすることで、第1Si膜の結晶構造をアモルファスとすることが容易となり、これにより、後述するエッチングステップでのエッチングレートをより高め、生産性をより向上させることが可能となる。なお、Siの結晶化温度が530℃程度であることから、処理温度を530℃未満とすることで第1Si膜の結晶構造をアモルファスとすることができ、処理温度を530℃超とするこ

とで第1 Si 膜の結晶構造をポリとすることができ、処理温度を530℃付近とすることで第1 Si 膜の結晶構造をアモルファスとポリとの混晶とすることができる。

[0041] 原料ガスとしては、MSガスその他、ジシラン (Si_2H_6 、略称：DS) ガス、トリシラン (Si_3H_8) ガス、テトラシラン (Si_4H_{10}) ガス等の一般式 $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$ (n は1以上の整数) で表される水素化ケイ素ガスを用いることができる。また、原料ガスとしては、モノクロロシラン (SiH_3Cl 、略称：MCS) ガス、ジクロロシラン (SiH_2Cl_2 、略称：DCS) ガス、トリクロロシラン (SiHCl_3 、略称：TCS) ガス、テトラクロロシラン (SiCl_4 、略称：STC) ガス、ヘキサクロロジシラン (Si_2Cl_6 、略称：HCDS) ガス、オクタクロロトリシラン (Si_3Cl_8 、略称：OCTS) ガス等のクロロシラン系ガスを用いることもできる。

[0042] 不活性ガスとしては、 N_2 ガスの他、Arガス、Heガス、Neガス、Xeガス等の希ガスを用いることができる。この点は、後述する各ステップにおいても同様である。

[0043] (第1水素パージステップ)

第1 Si 膜形成ステップが終了した後、処理室201内のウエハ200、すなわち、ウエハ200上に形成された第1 Si 膜に対して H_2 ガスを供給する。具体的には、バルブ243c、243dを開き、ガス供給管232c、232d内へ H_2 ガスを流す。 H_2 ガスは、MFC241c、241dにより流量調整され、ガス供給管232a、232b、ノズル249a、249bを介して処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。このとき、ウエハ200に対して H_2 ガスが供給される。ウエハ200に対して H_2 ガスを供給することで、ウエハ200上に形成された第1 Si 膜の表面を水素終端させ、その表面全域を清浄化させることが可能となる。

[0044] その後、バルブ243c、243dを閉じ、処理室201内への H_2 ガスの供給を停止する。このとき、APCバルブ244は開いたままとして、真空ポンプ246により処理室201内を排気する。このとき、 N_2 ガスを処理室

201内へ供給するようにしてもよい。N₂ガスはパージガスとして作用する。

[0045] 本ステップにおける処理条件としては、

H₂ガス供給流量：500～3000 sccm

ガス供給時間：20～400分

処理圧力：1～1000 Pa

が例示される。処理温度等の他の処理条件は、第1 Si膜形成ステップにおける処理条件と同様とする。

[0046] (エッチングステップ)

第1水素パージステップが終了した後、後述する昇圧・HC I供給ステップ、降圧・真空排気ステップ、第2水素パージステップを順に行う。

[0047] [昇圧・HC I供給ステップ]

このステップでは、処理室201内のウエハ200、すなわち、ウエハ200上に形成され、第1水素パージステップがなされた第1 Si膜に対してHC Iガスを供給する。具体的には、バルブ243a, 243c, 243dの開閉制御を、第1 Si膜形成ステップにおけるバルブ243a, 243c, 243dの開閉制御と同様の手順で行う。HC Iガスは、MFC 241aにより流量調整され、ノズル249aを介して処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。このとき、ウエハ200に対してHC Iガスが供給される。

[0048] ウエハ200に対してHC Iガスを供給することにより、ウエハ200上に形成された第1 Si膜の一部をエッチングすることができる。第1 Si膜のうち、凹部の表面側を塞ぐ部分を除去することで、その下に形成されていた中空部の上部を開口させ、中空部の内壁（側壁や底部）を露出させることができる。この状態でエッチング処理を所定時間継続することにより、中空部の内壁を構成する第1 Si膜をさらにエッチングし、その開口を広げることが可能となる。中空部の内部へのHC Iガスの供給量は、表面側から底部側へ向かうにつれて徐々に少なくなる。そのため、露出した中空部の縦断面

形状は、図6(c)に示すように、底部側から表面側に向かうにつれて開口幅が次第に大きくなるV字形状或いは逆台形状へと近づくことになる。露出した中空部をこのような形状に加工することで、後述する第2Si膜形成ステップにおいて、露出した中空部の内部へのMSガスの供給を促すことが可能となる。結果として、凹部の内部を、Si膜によって完全に、すなわち、ボイドフリーかつシームレスの状態となるように埋め込むことが可能となる。

[0049] 本ステップの開始時、処理室201内の圧力は、比較的低い所定の圧力（開始圧力）に設定する。このような圧力条件下で本ステップを開始することにより、処理室201内へ供給されたHClガスの流速（拡散速度）を高めることができ、処理室201内の全域、すなわち、ウエハ200面内の全域に対し、均等な量でHClガスを供給することが可能となる。結果として、上述のエッチング処理を、ウエハ200面内全域にわたって均等なタイミングで開始させ、また、均等なレートで進行させることが可能となる。

[0050] 本ステップの開始後、処理室201内へHClガスを供給する際、APCバルブ244の開度を調整し、処理室201内の圧力を上昇させ続けるようにする。本ステップにおいては、処理室201内の圧力を一定圧力に維持しつつ処理室201内へHClガスを供給するステップや、処理室201内の圧力を降下させつつ処理室201内へHClガスを供給するステップを不実施とする。処理室201内の圧力をこのように制御することにより、処理室201内の圧力が高圧の一定圧力に維持されることを防止することができ、例えば、ウエハ200の中央部においてHClガスが滞留してしまうことを防止することが可能となる。これにより、ウエハ200面内における第1膜のエッチング量の均一性の低下を抑制することが可能となる。また、第1Si膜のエッチングレートを徐々に高める（変動させる）ことができ、これにより、エッチング処理の効率を向上させることが可能となる。

[0051] なお、処理室201内の圧力が過剰に上昇したり、高圧の一定圧力に維持されたりすると、処理室201内におけるHClガスの流速が低下し、例え

ばウエハ200の中央部において、HC I ガスが滞留する場合がある。ウエハ200の中央部にHC I ガスが滞留すると、ウエハ200の中央部における第1 Si 膜のエッチング量が、ウエハ200の周縁部における第1 Si 膜のエッチング量に比べて多くなる等、ウエハ200面内におけるエッチング量の均一性が低下する場合がある。そこで、処理室201内の圧力が比較的高い所定の圧力（終了圧力）に達したら、バルブ243aを閉じ、処理室201内へのHC I ガスの供給を停止して、本ステップを終了する。そして、処理室201内の圧力が終了圧力以上の圧力となった状態を維持することなく、後述する降圧・真空排気ステップを直ちに開始する。

[0052] 本ステップにおける処理条件としては、

HC I ガス供給流量：100～10000 s c c m

ガス供給時間：10～60分

開始圧力（本ステップ開始時の処理圧力）：1～1000 Pa

終了圧力（本ステップ終了時の処理圧力）：28000～32000 Pa

平均昇圧レート：400～1100 Pa / 分

が例示される。処理温度等の他の処理条件は、第1 Si 膜形成ステップにおける処理条件と同様とする。

[0053] 本ステップにおける処理圧力（開始圧力以上、終了圧力以下の圧力）は、少なくとも上昇させ続ける限りにおいては、ウエハ200の中央部におけるHC I ガスの滞留を防止することができ、第1 Si 膜のエッチング量の面内均一性を維持することが可能となる圧力である。本ステップにおける終了圧力は、エッチングステップにおける最大処理室内圧力であり、上述の第1 Si 膜形成ステップ、および、後述する第2 Si 膜形成ステップにおける最大処理室内圧力よりも大きな圧力である。

[0054] なお、本ステップにおける処理温度は、第1 Si 膜形成ステップでウエハ200上に形成された第1 Si 膜がアモルファス状態である場合に、第1 Si 膜のアモルファス状態が維持される温度、すなわち、第1 Si 膜の結晶化が回避される温度を含んでいる。第1 Si 膜の結晶化が回避される温度は、

第1 Si膜がポリ化（多結晶化）しない温度であり、エピ化（単結晶化）しない温度でもある。そしてこの温度は、第1 Si膜の結晶化が回避されることから、第1 Si膜のエッチング量の面内均一性をより高くすることが可能な温度でもある。ウエハ200の温度を、アモルファスSiが形成される温度と、ポリSiが形成され始める温度と、の臨界温度（Siの結晶化温度）である530℃程度の温度以下の温度（450～530℃）とすることで、第1 Si膜のアモルファス状態の維持が容易となる。また、ウエハ200の温度を530℃未満の温度とすることで、第1 Si膜のアモルファス状態の維持が確実となる。なお、これらのことは、本ステップ以降のステップにおいても同様である。

[0055] [降圧・真空排気ステップ]

昇圧・HCl供給ステップが終了したら、バルブ243aを閉じ、処理室201内へのHClガスの供給を停止した状態で、APCバルブ244を全開（フルオープン）とする。これにより、処理室201内を真空排気（真空引き）し、処理室201内の圧力を降下させる。

[0056] 本ステップにおける単位時間当たりの圧力変化量（圧力変化率、降圧レート）は、昇圧・HCl供給ステップにおける単位時間あたりの圧力変化量（圧力変化率、昇圧レート）よりも大きくする。具体的には、本ステップの実施期間中における平均降圧レートを、上述の昇圧・HCl供給ステップにおける平均昇圧レートよりも大きなレートであって、例えば5000～7000 Pa／分の範囲内の大きさとする。本ステップの実施時間は、昇圧・HCl供給ステップの実施時間よりも短い時間であって、例えば5～10分の範囲内の時間とする。本ステップを所定時間実施することで、処理室201内の圧力は、例えば20～30 Paの範囲内の圧力（真空排気圧力）に到達する。

[0057] [第2水素パージステップ]

処理室201内の圧力が所定の真空排気圧力に到達したら、第1水素パージステップと同様の処理手順により、処理室201内へH₂ガスを供給する。

これにより、処理室201内に残留するHC₁やC₁等を処理室201内から効率的に排除することができる。その後、第1水素パージステップと同様の処理手順により、処理室201内を排気する。H₂ガスの供給時間は、例えば5～10分の範囲内の時間とする。他の処理条件は、第1水素パージステップの処理条件と同様とする。

[0058] [所定回数実施]

上述した3つのステップを非同時に、すなわち、同期させることなく行うサイクルを所定回数（n回、nは1以上の整数）行う。図5は、このサイクルを3回実施する例を示している。このようにサイクルを複数回、例えば3～10回程度実施することにより、ウエハ200の表面に形成された凹部のアスペクト比が例えば20以上となるような場合、すなわち、中空部が凹部内における底部側に形成されるような場合であっても、中空部を露出させ、さらに、露出した中空部の縦断面形状をV字形状等へと加工することが容易に行えるようになる。結果として、後述する第2Si膜形成ステップにおいて、凹部の内部のSi膜による埋め込みを、より確実に行えるようになる。

[0059] (第2Si膜形成ステップ)

エッチングステップが終了した後、第1Si膜形成ステップと同様の処理手順により、処理室201内のウエハ200、すなわち、ウエハ200上に形成され、エッチング処理が施された後の第1Si膜、すなわち、一部がエッチングされた第1Si膜に対し、MSガスを供給する。MSガスの供給時間は、例えば10～300分の範囲内の時間とする。他の処理条件は、第1Si膜形成ステップにおける処理条件と同様とする。

[0060] ウエハ200に対してMSガスを供給することにより、図6（d）に示すように、ウエハ200上、すなわち、一部がエッチングされた第1Si膜の表面上に、第2Si膜を形成することができる。上述したように、エッチングステップを実施することで、第1Si膜が有していた中空部は上部が開口して露出した状態となっており、また、その縦断面形状は、底部側から表面側に向かうにつれて開口幅が次第に大きくなるV字形状等へと加工されてい

る。これらにより、第2 Si 膜は、開口された中空部の側部等からオーバーハングするように成長しなくなる。すなわち、開口された中空部の表面側は塞がれなくなり、中空部の内部にMSガスが届かなくなることがなくなる。結果として、第2 Si 膜には中空部が形成されなくなり、ウエハ200の表面に設けられた凹部の内部は、第1 Si 膜および第2 Si 膜によって完全に、すなわち、ボイドフリーかつシームレスの状態となるように埋め込まれる。なお、本ステップにおける処理条件下では、第2 Si 膜の結晶構造は、アモルファス、ポリ、もしくは、それらの混晶となる。

[0061] その後、バルブ243aを閉じ、処理室201内へのMSガスの供給を停止する。そして、第1 Si 膜形成ステップと同様の処理手順により、処理室201内を真空排気し、処理室201内に残留するガス等を処理室201内から排除する。

[0062] (アフターパージおよび大気圧復帰)

第2 Si 膜形成ステップが終了した後、ガス供給管232c, 232dのそれぞれからN₂ガスを処理室201内へ供給し、排気管231から排気する。これにより、処理室201内がパージされ、処理室201内に残留するガスや反応副生成物等が処理室201内から除去される(アフターパージ)。その後、処理室201内の雰囲気の不活性ガスに置換され(不活性ガス置換)、処理室201内の圧力が常圧に復帰される(大気圧復帰)。

[0063] (ボートアンロードおよびウエハディスチャージ)

その後、ボートエレベータ115によりシールキャップ219が下降され、反応管203の下端が開口されるとともに、処理済のウエハ200が、ボート217に支持された状態で、反応管203の下端から反応管203の外部に搬出(ボートアンロード)される。処理済のウエハ200は、反応管203の外部に搬出された後、ボート217より取り出される(ウエハディスチャージ)。

[0064] (3) 本実施形態による効果

本実施形態によれば、以下に示す1つ又は複数の効果が得られる。

- [0065] (a) エッチングステップにおいて、昇圧・HC I 供給ステップと、降圧・真空排気ステップと、を含むサイクルを所定回数行うことにより、第1 Si 膜が有する中空部の上部を開口させ、その縦断面形状を、V 字形状等へと加工することが可能となる。これにより、第2 Si 膜形成ステップにおいて、凹部の内部のSi 膜による埋め込みをより確実に行えるようになる。
- [0066] (b) 昇圧・HC I 供給ステップの開始時、処理室201内の圧力を比較的低い開始圧力に設定することにより、処理室201内へ供給されたHC I ガスの流速を高め、ウエハ200面内におけるHC I ガスの供給量を均一化させることが可能となる。結果として、第1 Si 膜のエッチング処理を、ウエハ200面内全域にわたって均等なタイミングで開始させ、また、均等なレートで進行させることが可能となる。すなわち、ウエハ200面内におけるエッチング処理の均一性を向上させることが可能となる。
- [0067] (c) 昇圧・HC I 供給ステップを開始した後、処理室201内へHC I ガスを供給する際、処理室201内の圧力を上昇させ続けることにより、処理室201内の圧力が高圧の一定圧力に保持されることを防止することができ、ウエハ200の中央部等においてHC I ガスが滞留してしまうことを回避することが可能となる。これにより、ウエハ200の面内における第1 Si 膜のエッチング処理の均一性の低下を抑制することが可能となる。また、処理室201内の圧力を上昇させ続けることにより、第1 Si 膜のエッチングレートを高め、エッチング処理の効率を向上させることが可能となる。
- [0068] (d) 処理室201内の圧力が所定の終了圧力に到達したら、昇圧・HC I 供給ステップを直ちに終了し、降圧・真空排気ステップを直ちに開始することにより、ウエハ200の中央部等においてHC I ガスが滞留してしまう事態を回避することが可能となる。これにより、ウエハ200面内における第1 Si 膜のエッチング処理の均一性の低下を抑制することが可能となる。
- [0069] (e) 降圧・真空排気ステップを、処理室201内へのHC I ガスの供給を停止した状態で行うことにより、エッチングステップにおけるHC I ガスの使用量を削減することができ、ガスコストを低減させることが可能となる。

なお、降圧・真空排気ステップの実施時間は比較的短時間であることから、仮に降圧・真空排気ステップにおいて処理室201内へのHC1ガスの供給を行うようにしたとしても、このときに供給されるHC1ガスは、そもそもエッチング処理に寄与しにくい傾向がある。したがって、降圧・真空排気ステップを、処理室201内へのHC1ガスの供給を停止した状態で行ったとしても、エッチング処理の効率は殆ど低下しない。

[0070] (f) 降圧・真空排気ステップを、処理室201内へのHC1ガスの供給を停止した状態で行うことにより、処理室201内からHC1ガスを一旦排出することを効率的かつ効果的に行うことが可能となる。結果として、次のサイクルの昇圧・HC1供給ステップを行う際における第1Si膜のエッチング処理の効率低下を防止することが可能となる。これらにより、1サイクルあたりの処理時間を短縮させ、生産性を向上させることが可能となる。

[0071] (g) 昇圧・HC1供給ステップにおける昇圧レートを、降圧・真空排気ステップにおける降圧レートよりも小さくすることにより、昇圧・HC1供給ステップの実施時間を長くすること、例えば、降圧・真空排気ステップの実施時間よりも長くすることが可能となる。すなわち、処理室201内へ供給されたHC1ガスがウエハ200の表面上で滞留することなく大きな流速で拡散することが可能となる時間を、長く確保することが可能となる。これにより、ウエハ200面内における第1Si膜のエッチング処理の均一性を向上させることが可能となる。

[0072] (h) 降圧・真空排気ステップにおける降圧レートを、昇圧・HC1供給ステップにおける昇圧レートよりも大きくすることにより、降圧・真空排気ステップの実施時間を短くすること、例えば、昇圧・HC1供給ステップの実施時間よりも短くすることが可能となる。これにより、1サイクルあたりの処理時間を短縮させ、基板処理の生産性を向上させることが可能となる。

[0073] (i) エッチングガスとしてHC1ガスを用いることにより、エッチング温度を、成膜温度と同様の温度（450～550℃の範囲内の温度）に設定しても、第1Si膜のエッチング処理を進行させることが可能となる。これに

より、基板処理の生産性を向上させることが可能となる。

[0074] というのも、エッチングガスとして塩素 (Cl_2) ガスを用いる場合、第1 Si 膜をエッチングするには、エッチング温度を例えば 350°C 程度の温度に設定する必要がある。この場合、第1 Si 膜形成ステップとエッチングステップとの間に、処理室 201 内の温度を 100°C 以上低下させてその温度が安定化するまで待機する降温ステップを設ける必要がある。また、エッチングステップと第2 Si 膜形成ステップとの間に、処理室 201 内の温度を 100°C 以上上昇させその温度が安定するまで待機する昇温ステップを設ける必要がある。

[0075] これに対し、本実施形態では、第1 Si 膜形成ステップから第2 Si 膜形成ステップに至る一連のステップを同様の温度下で実施できるため、それらのステップの間に降温ステップや昇温ステップを設ける必要がない。これにより、基板処理の手順を簡素化させたり、基板処理に要する合計時間を短縮させたりすることができ、基板処理の生産性を向上させることが可能となる。

[0076] (j) 第1 Si 膜形成ステップにおいて、アモルファス状態の第1 Si 膜を形成した場合に、エッチングステップを、第1 Si 膜のアモルファス状態が維持される温度下で行うことにより、第1 Si 膜の結晶化を回避することが可能となる。これにより、エッチングステップにおいて、第1 Si 膜のエッチングレートが高い状態を維持することが可能となり、基板処理の生産性を向上させることが可能となる。また、第1 Si 膜の一部が局所的に結晶化することを回避でき、エッチング後の第1 Si 膜の表面に凹凸が形成されることを抑制することが可能となる。結果として、第1 Si 膜と第2 Si 膜との界面ラフネスの悪化や、最終的に形成される Si 膜 (第1 Si 膜と第2 Si 膜との積層膜) の表面ラフネスの悪化、すなわち、膜の表面の平滑度の低下を回避することが可能となる。

[0077] (k) エッチングステップの前に第1 水素パージステップを行うことにより、ウエハ 200 上に形成された第1 Si 膜の表面を水素終端させ、表面全域

を清浄化させることが可能となる。これにより、ウエハ200面内における第1Si膜のエッチング処理の均一性を向上させることが可能となる。

[0078] (l) エッチングステップの実施中に第2水素パージステップを行うことにより、処理室201内に残留するHClやCl等を処理室201内から効率的に排除することが可能となる。結果として、次のサイクルの昇圧・HCl供給ステップを行う際における第1Si膜のエッチング処理の効率低下を回避することが可能となる。

[0079] (m) 上述の効果は、MSガス以外の上述の原料ガスを用いる場合や、N₂ガス以外の不活性ガスを用いる場合にも、同様に得ることができる。

[0080] (4) 変形例

本実施形態は、以下の変形例のように変更することができる。また、これらの変形例は、任意に組み合わせることができる。特に説明がない限り、各変形例の各ステップにおける処理手順、処理条件は、上述の基板処理シーケンスの各ステップにおける処理手順、処理条件と同様とする。

[0081] (変形例1)

エッチングステップにおいて、比較的短時間であれば、処理室201内の圧力を一定圧力に維持しつつ処理室201内へHClガスを供給する圧力維持ステップを実施するようにしてもよい。圧力維持ステップは、例えば、昇圧・HCl供給ステップを開始する前に行ってもよく、昇圧・HCl供給ステップの実施期間中に行ってもよく、昇圧・HCl供給ステップの終了後であって降圧・真空排気ステップを開始する前に行ってもよい。圧力維持ステップを実施する際は、その実施時間を、圧力維持ステップを開始してから、ウエハ200の中央部における第1Si膜のエッチングレートがウエハ200の周縁部における第1Si膜のエッチングレートよりも大きくなる前までの時間とする。本変形例においても、図4、図5等を示す上述の基板処理シーケンスと同様の効果が得られる。

[0082] (変形例2)

第1Si膜形成ステップにおいては、ウエハ200に対してMSガスと一

緒に（同時に）PHガスを供給するようにしてもよい。この場合、第1 Si膜は、ドーパントとしてのPがドーパされたSi膜となる。PHガスの供給流量は、ウエハ200上に形成するデバイスの仕様等によって適宜決定されるが、例えば0.1～500 sccmの範囲内の流量とすることができる。本変形例においても、図4、図5等を示す上述の基板処理シーケンスと同様の効果が得られる。但し、上述したHClガスの滞留による技術的課題（エッチング処理の均一性低下）は、第1 Si膜がノンドープSi膜である場合に特に顕著に生じることとなる。そのため、本実施形態で示したエッチング処理の技術的意義は、ウエハ200上にノンドープSi膜を形成する際に特に大きなものとなる。

[0083] （変形例3）

エッチングステップにおいては、上述のサイクルを1回のみ行うようにしてもよい。ウエハ200の表面に形成された凹部のアスペクト比がさほど大きくない場合、上述のサイクルを1回行うことによっても、露出した中空部の縦断面形状をV字形状等へと加工することが可能となる。この場合、基板処理の手順を簡素化させ、また、処理時間を短縮させることが可能となる。

[0084] （変形例4）

第1水素パージステップおよび第2水素パージステップのうち、いずれかのステップの実施を省略してもよい。また、これら両方のステップの実施をそれぞれ省略してもよい。これらの場合、基板処理の手順を簡素化させたり、処理時間を短縮させたりすることが可能となる。ただし、エッチング処理の均一性をより向上させたり、エッチング処理の効率をより向上させたりするには、これらのステップを省略することなく実施するほうが好ましい。

[0085] ＜他の実施形態＞

以上、本発明の実施形態を具体的に説明した。但し、本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

[0086] 上述の実施形態では、第1 Si膜形成ステップ～第2 Si膜形成ステップ

に至る一連のステップを、同一の処理室201内にて（*in-situ*で）行う例について説明したが、本発明はこのような態様に限定されない。例えば、第1 Si膜形成ステップと、エッチングステップ以降のステップ群と、を異なる処理室内にて（*ex-situ*で）行うこともできる。また例えば、エッチングステップに至る一連のステップ群と、第2 Si膜形成ステップと、を*ex-situ*で行うこともできる。また例えば、第1、第2 Si膜形成ステップと、エッチングステップと、を*ex-situ*で行うこともできる。また例えば、それぞれのステップを*ex-situ*で行うこともできる。但し、全てのステップを*in-situ*で行う方が、途中、ウエハ200が大気曝露されることはなく、ウエハ200を清浄な雰囲気下に置いたまま一貫して処理を行うことができ、安定した成膜処理を行うことが可能となる。

[0087] 基板処理に用いられるレシピは、処理内容に応じて個別に用意し、電気通信回線や外部記憶装置123を介して記憶装置121c内に格納しておくことが好ましい。そして、基板処理を開始する際、CPU121aが、記憶装置121c内に格納された複数のレシピの中から、基板処理の内容に応じて、適正なレシピを適宜選択することが好ましい。これにより、1台の基板処理装置で様々な膜種、組成比、膜質、膜厚の膜を、再現性よく形成することができるようになる。また、オペレータの負担を低減でき、操作ミスを回避しつつ、処理を迅速に開始できるようになる。

[0088] 上述のレシピは、新たに作成する場合に限らず、例えば、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを変更することで用意してもよい。レシピを変更する場合は、変更後のレシピを、電気通信回線や当該レシピを記録した記録媒体を介して、基板処理装置にインストールしてもよい。また、既存の基板処理装置が備える入出力装置122を操作し、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを直接変更するようにしてもよい。

[0089] 上述の実施形態では、一度に複数枚の基板を処理するバッチ式の基板処理

装置を用いて膜を形成する例について説明した。本発明は上述の実施形態に限定されず、例えば、一度に1枚または数枚の基板を処理する枚葉式の基板処理装置を用いて膜を形成する場合にも、好適に適用できる。また、上述の実施形態では、ホットウォール型の処理炉を有する基板処理装置を用いて膜を形成する例について説明した。本発明は上述の実施形態に限定されず、コールドウォール型の処理炉を有する基板処理装置を用いて膜を形成する場合にも、好適に適用できる。

[0090] これらの基板処理装置を用いる場合においても、上述の実施形態や変形例と同様な処理手順、処理条件にて成膜を行うことができ、これらと同様の効果が得られる。

[0091] また、上述の実施形態や変形例は、適宜組み合わせて用いることができる。このときの処理手順、処理条件は、例えば、上述の実施形態の処理手順、処理条件と同様とすることができる。

実施例

[0092] 以下、実施例について説明する。

[0093] 実施例1として、図1に示す基板処理装置を用い、上述の実施形態におけるエッチングステップと同様の処理手順により、ウエハの表面に形成されたSi膜をエッチングした。エッチングステップを実施する際、処理室内の圧力を一定圧力に維持しつつ処理室内へHClガスを供給するステップを不実施とした。エッチングステップにおけるサイクルの実施回数は1回とした。他の処理条件は、上述の実施形態に記載の処理条件範囲内の所定の条件とした。

[0094] 実施例2として、図1に示す基板処理装置を用い、上述の実施形態におけるエッチングステップと同様の処理手順により、ウエハの表面に形成されたSi膜をエッチングした。エッチングステップを実施する際、処理室内の圧力を一定圧力に維持しつつ処理室内へHClガスを供給するステップを不実施とした。エッチングステップにおけるサイクルの実施回数は2回とした。他の処理条件は、実施例1の処理条件と同様とした。

[0095] 比較例として、図1に示す基板処理装置を用い、ウエハが収容された処理室内の圧力を上昇させ、処理室内の圧力が28000～32000Paの範囲内の圧力に達したら、その圧力を一定圧力に維持しつつ処理室内へHClガスを供給することにより、ウエハの表面に形成されたSi膜をエッチングした。他の処理条件は、実施例1の処理条件と同様とした。

[0096] そして、実施例1、2および比較例について、ウエハ面内におけるエッチング量の均一性(WiW)、および、ウエハ面内における平均エッチング量(Å)をそれぞれ測定した。図7(a)～図7(c)は、実施例1、2および比較例の測定結果等を示す図である。なお、WiWは、その値が小さいほどウエハ面内におけるエッチング量の均一性が高いことを意味する。

[0097] 図7(a)～図7(c)によれば、実施例1、2におけるWiWは、比較例におけるWiWよりも小さいことが分かる。すなわち、実施例1、2で採用したエッチング手法(上述の実施形態の手法)の方が、比較例で採用したエッチング手法よりも、ウエハ面内におけるエッチング量の均一性が良好であることが分かる。また、図7(a)、図7(b)によれば、実施例1、2のWiWは略同等であり、エッチングステップにおけるサイクル数を増減させても、ウエハ面内におけるエッチング量の均一性には影響がないことが分かる。また、実施例2の平均エッチング量は、実施例1の平均エッチング量の2倍程度であることから、サイクル数を調整することで、平均エッチング量を正確に制御することが可能であることも分かる。

符号の説明

[0098] 200 ウエハ(基板)

請求の範囲

- [請求項1] 表面に膜が形成された基板を処理室内に収容した状態で、前記処理室内の圧力を上昇させつつ、前記処理室内へエッチングガスを供給する工程と、
- 前記処理室内への前記エッチングガスの供給を停止した状態で、前記処理室内を排気することで、前記処理室内の圧力を降下させる工程と、
- を含むサイクルを所定回数行うことで、前記基板の表面に形成された膜の一部をエッチングする工程を有する半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 前記処理室内の圧力を降下させる工程における単位時間あたりの圧力変化量を、前記エッチングガスを供給する工程における単位時間あたりの圧力変化量よりも大きくする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項3] 前記処理室内の圧力を降下させる工程の実施時間を、前記エッチングガスを供給する工程の実施時間よりも短くする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記膜の一部をエッチングする工程では、
- 前記処理室内の圧力を一定圧力に維持しつつ前記処理室内へ前記エッチングガスを供給する工程を不実施とするか、もしくは、
- 前記処理室内の圧力を一定圧力に維持しつつ前記処理室内へ前記エッチングガスを供給する工程を実施する場合は、その実施時間を、前記基板の中央部における前記膜のエッチングレートが前記基板の周縁部における前記膜のエッチングレートよりも大きくなる前までの時間とする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項5] 前記膜の一部をエッチングする工程では、前記処理室内の圧力を降下させつつ前記処理室内へ前記エッチングガスを供給する工程を不実施とする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項6] 前記膜の一部をエッチングする工程では、前記処理室内へ前記エッ

チングガスを供給している間は、前記膜のエッチングレートを上昇させ続ける請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項7] 前記サイクルは、さらに、前記処理室内を水素含有ガスでパージする工程を含む請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項8] 前記膜の一部をエッチングする工程では、前記サイクルを複数回繰り返す請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項9] 前記膜の一部をエッチングする工程を実施する前に、前記基板の表面に設けられた凹部内を埋め込むように前記膜を形成する工程を、さらに有する請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項10] 前記膜の一部をエッチングする工程を実施した後に、一部がエッチングされた前記膜上に、さらに膜を形成する工程を、さらに有する請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項11] 前記膜を形成する工程、前記膜の一部をエッチングする工程、および、前記さらに膜を形成する工程を、同一の前記処理室内で行う請求項 10 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項12] 前記膜を形成する工程、前記膜の一部をエッチングする工程、および、前記さらに膜を形成する工程を、同一温度下で行う請求項 10 に記載の半導体装置の製造方法。

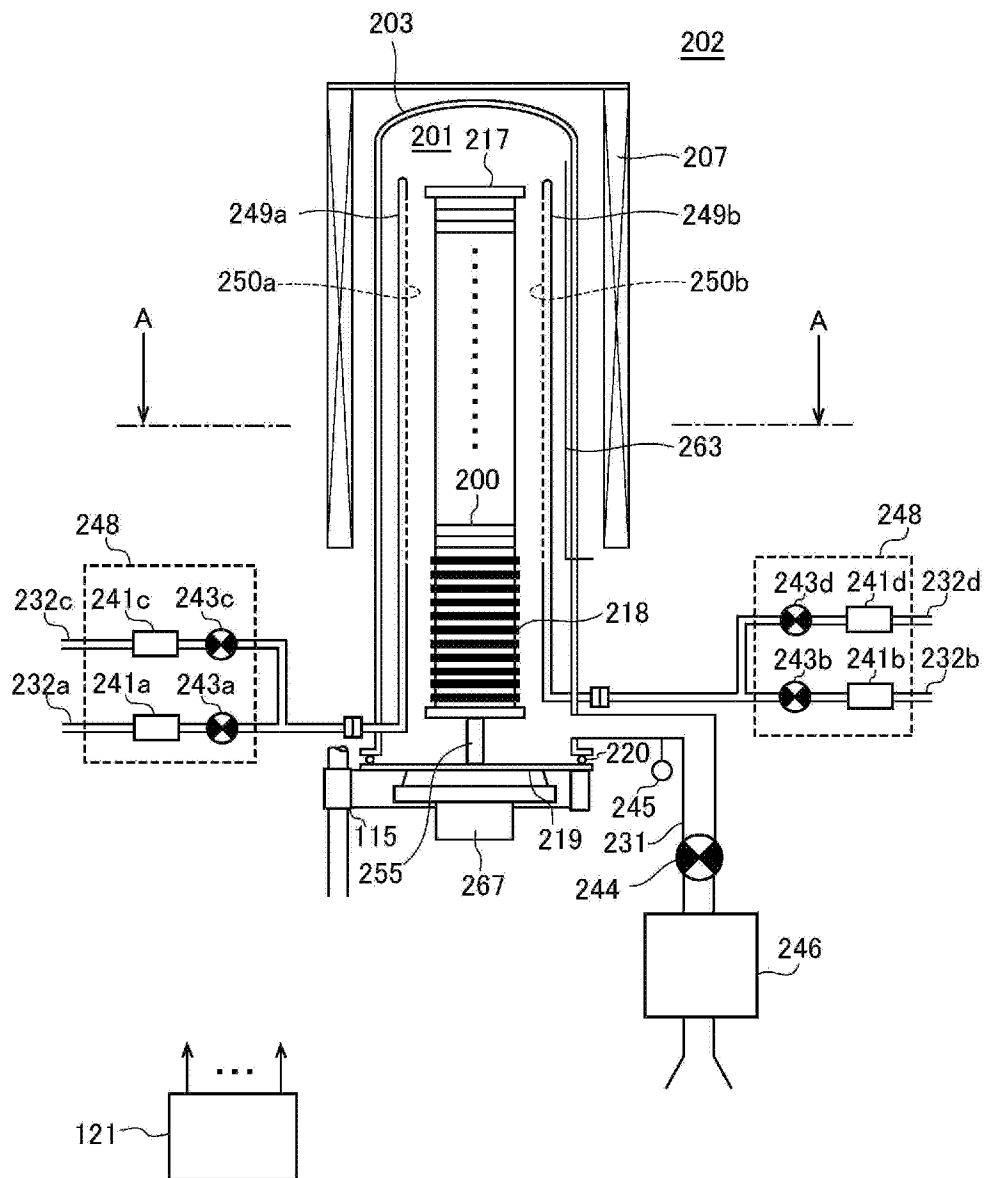
[請求項13] 前記膜を形成する工程、前記膜の一部をエッチングする工程、および、前記さらに膜を形成する工程を、前記膜の結晶化温度以下の温度下で行う請求項 10 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項14] 前記膜の一部をエッチングする工程における最大処理室内圧力を、前記膜を形成する工程および前記さらに膜を形成する工程のそれぞれにおける最大処理室内圧力よりも大きくする請求項 11 に記載の半導体装置の製造方法。

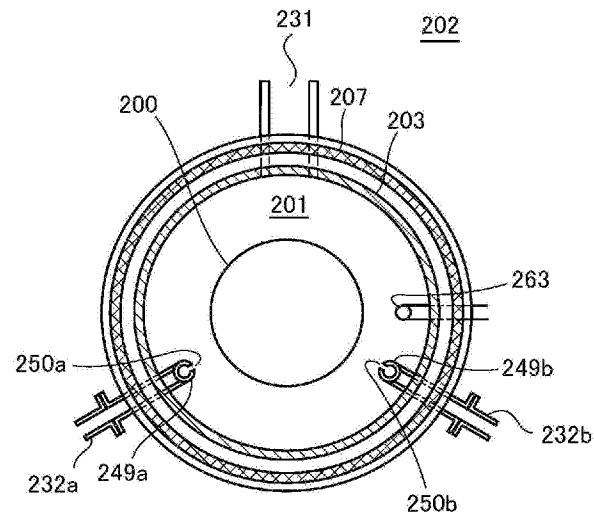
[請求項15] 前記膜を形成する工程および前記さらに膜を形成する工程では、前記膜として、ノンドープシリコン膜を形成する請求項 10 に記載の半導体装置の製造方法。

- [請求項16] 前記膜を形成する工程および前記さらに膜を形成する工程では、前記膜として、ドーパントがドーピングされたシリコン膜を形成する請求項10に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項17] 基板に対する処理が行われる処理室と、
前記処理室内へエッチングガスを供給するエッチングガス供給系と、
、
前記処理室内の圧力を調整する圧力調整部と、
前記処理室内を排気する排気系と、
表面に膜が形成された基板を前記処理室内に收容した状態で、前記処理室内の圧力を上昇させつつ、前記処理室内へ前記エッチングガスを供給する処理と、前記処理室内への前記エッチングガスの供給を停止した状態で、前記処理室内を排気することで、前記処理室内の圧力を低下させる処理と、を含むサイクルを所定回数行うことで、前記基板の表面に形成された膜の一部をエッチングする処理を行わせるように、前記エッチングガス供給系、前記圧力調整部、および前記排気系を制御するよう構成される制御部と、
を有する基板処理装置。
- [請求項18] 基板処理装置の処理室内に、表面に膜が形成された基板を收容した状態で、前記処理室内の圧力を上昇させつつ、前記処理室内へエッチングガスを供給する手順と、
前記処理室内への前記エッチングガスの供給を停止した状態で、前記処理室内を排気することで、前記処理室内の圧力を低下させる手順と、
を含むサイクルを所定回数行うことで、前記基板の表面に形成された膜の一部をエッチングする手順をコンピュータによって前記基板処理装置に実行させるプログラム。

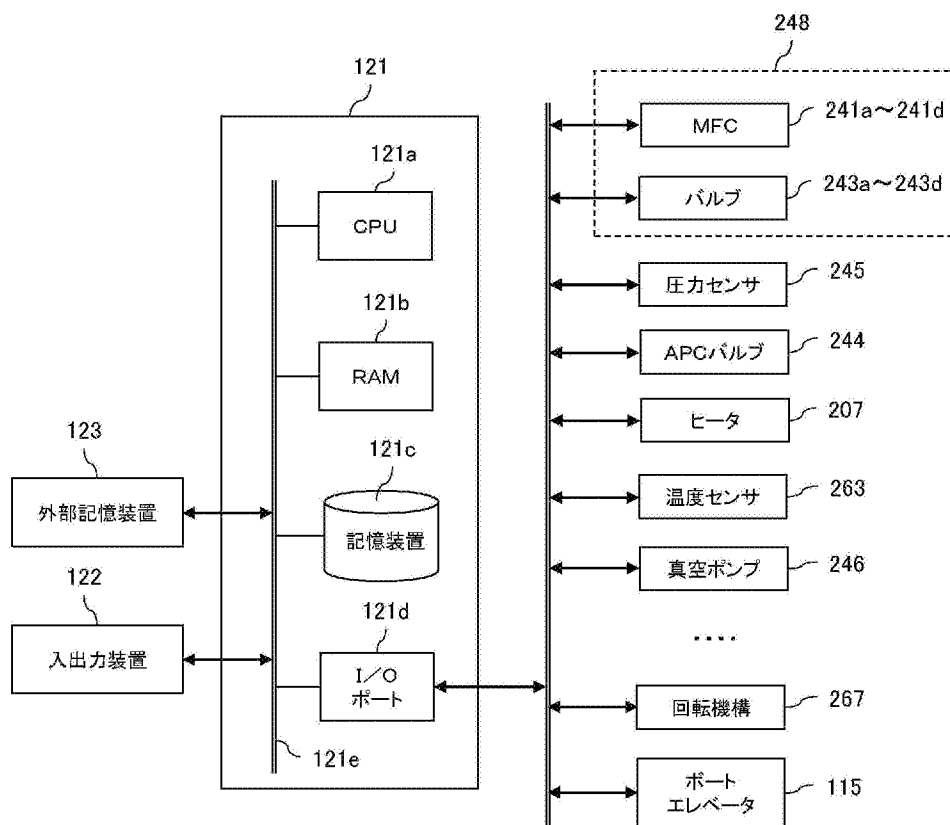
[図1]



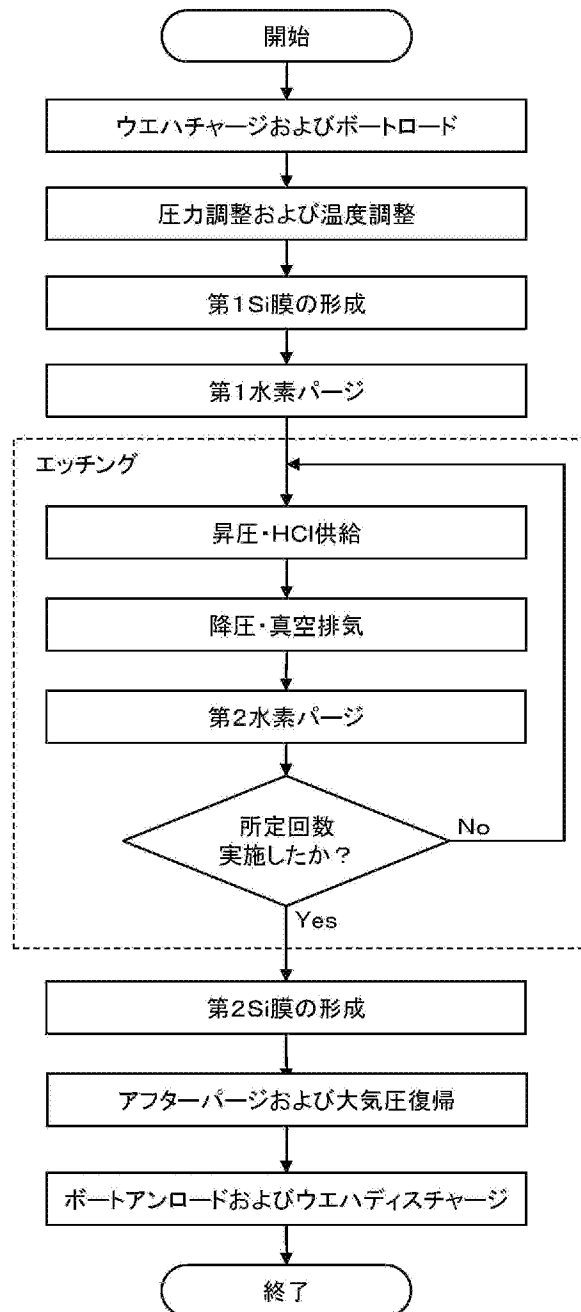
[図2]



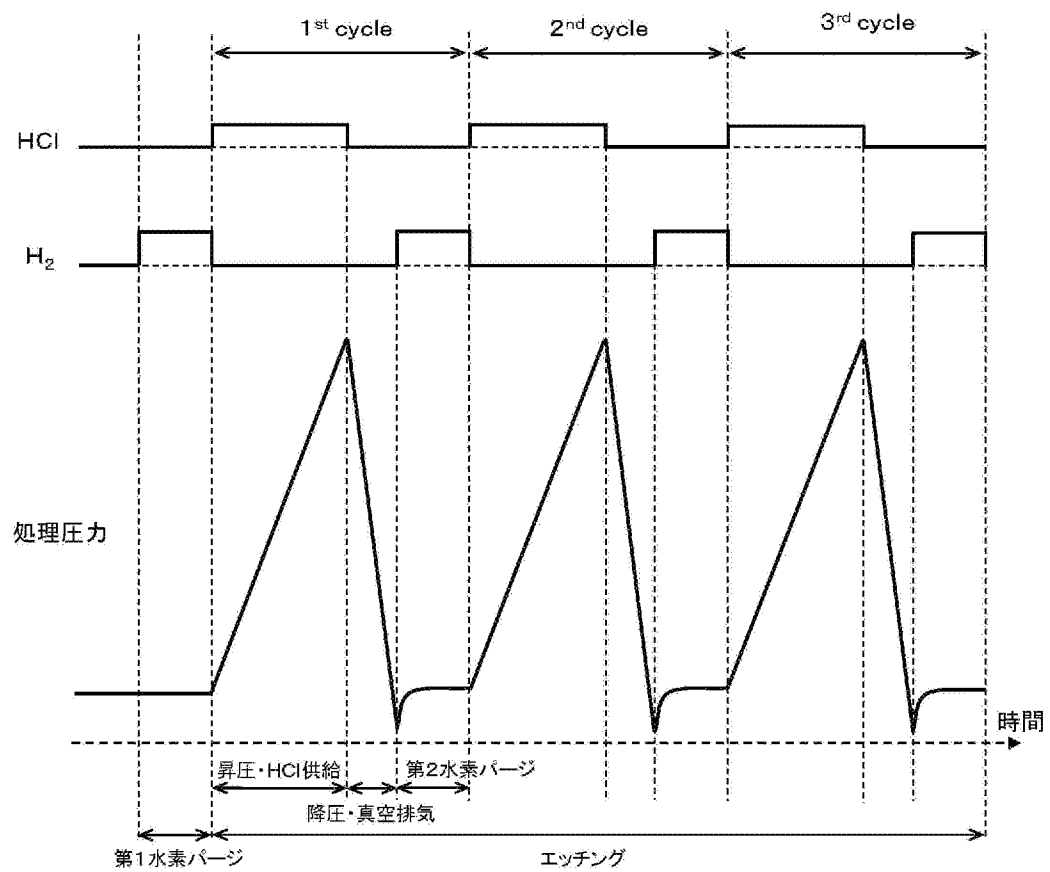
[図3]



[図4]

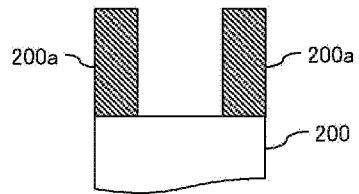


[図5]

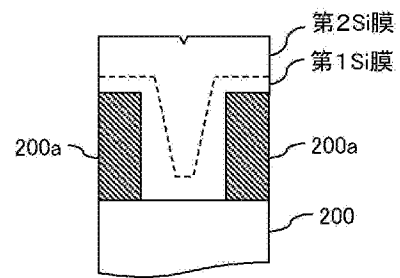


[図6]

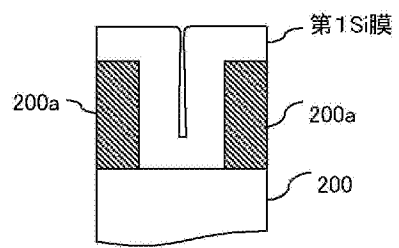
(a)



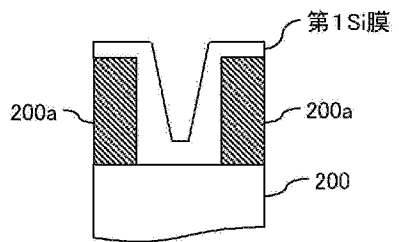
(d)



(b)

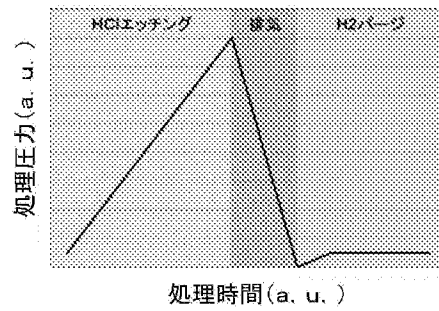
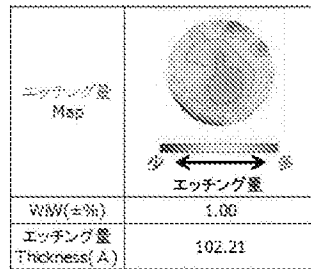


(c)

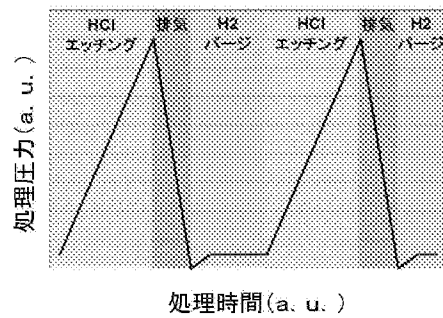
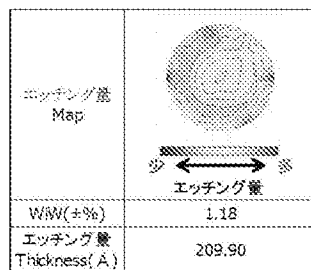


[図7]

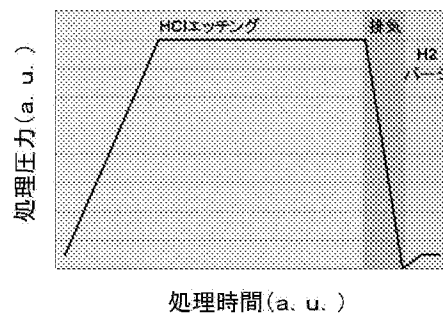
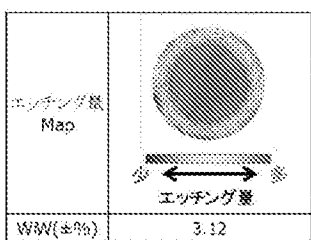
(a)



(b)



(c)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/020187

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01L21/302 (2006.01) i, H01L21/205 (2006.01) i, 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)

Int. Cl. H01L21/302, H01L21/205, H01L21/3065

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 2002-353205 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 06 December 2002, paragraphs [0082]-[0157], fig. 8-26 & US 2002/0052120 A1, paragraphs [0110]-[0186], fig. 8-26 & KR 10-2002-0018022 A & TW 511152 B & TW 522464 B	1-6, 8, 17, 18 7
X Y	JP 63-304631 A (HITACHI, LTD.) 12 December 1988, page 2, lower left column, to page 4, upper left column, fig. 1-3 (Family: none)	1-5, 8, 17, 18 7, 9-16



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
08.08.2018

Date of mailing of the international search report
21.08.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/020187

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2005-150332 A (SONY CORP.) 09 June 2005, claim 2, paragraphs [0003], [0019]-[0045], [0054], fig.	1, 5, 6, 8, 17, 18
Y	1, 2 & US 2005/0106892 A1, claim 2, paragraphs [0007], [0029]-[0057], [0067], fig. 3, 4 & EP 1531145 A2 & KR 10-2005-0046583 A & CN 1616341 A & TW 200528588 A	7, 9-16
Y	JP 2012-146741 A (HITACHI KOKUSAI ELECTRIC INC.) 02 August 2012, paragraphs [0040]-[0042], fig. 3 (Family: none)	7
Y	JP 2012-004542 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 05 January 2012, paragraphs [0015]-[0060], fig. 1-5 & US 2011/0287629 A1, paragraphs [0024]-[0073], fig. 1-5B & CN 102254807 A & KR 10-2011-0128145 A & TW 201205670 A	9-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/302(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, 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（IPC））

Int.Cl. H01L21/302, H01L21/205, 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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2002-353205 A（三菱電機株式会社） 2002.12.06, 段落[0082]-[0157], 図 8-26 & US 2002/0052120 A1, 段落[0110]-[0186], 図 8-26 & KR 10-2002-0018022 A & TW 511152 B & TW 522464 B	1-6, 8, 17, 18 7
X Y	JP 63-304631 A（株式会社日立製作所） 1988.12.12, 第2頁左下欄-第4頁左上欄, 第1-3図 (ファミリーなし)	1-5, 8, 17, 18 7, 9-16

☒ 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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

08.08.2018

国際調査報告の発送日

21.08.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

長谷川 直也

50

4549

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

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
X	JP 2005-150332 A (ソニー株式会社) 2005.06.09, [請求項 2], 段落[0003], [0019]-[0045], [0054],	1, 5, 6, 8, 17, 18
Y	図 1, 2 & US 2005/0106892 A1, Claim 2, 段落[0007], [0029]-[0057], [0067], 図 3, 4 & EP 1531145 A2 & KR 10-2005-0046583 A & CN 1616341 A & TW 200528588 A	7, 9-16
Y	JP 2012-146741 A (株式会社日立国際電気) 2012.08.02, 段落[0040]-[0042], 図 3 (ファミリーなし)	7
Y	JP 2012-004542 A (東京エレクトロン株式会社) 2012.01.05, 段落[0015]-[0060], 図 1-5 & US 2011/0287629 A1, 段落[0024]-[0073], 図 1-5B & CN 102254807 A & KR 10-2011-0128145 A & TW 201205670 A	9-16