

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6554438号
(P6554438)

(45) 発行日 令和1年7月31日(2019.7.31)

(24) 登録日 令和1年7月12日(2019.7.12)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205
C 2 3 C 16/24 (2006.01)	C 2 3 C 16/24
HO 1 L 21/768 (2006.01)	HO 1 L 21/90 C
HO 1 L 21/3205 (2006.01)	HO 1 L 21/88 P
HO 1 L 23/532 (2006.01)	HO 1 L 21/28 3 O 1 A
請求項の数 15 (全 17 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2016-68449 (P2016-68449)
 (22) 出願日 平成28年3月30日 (2016. 3. 30)
 (65) 公開番号 特開2017-183508 (P2017-183508A)
 (43) 公開日 平成29年10月5日 (2017. 10. 5)
 審査請求日 平成30年8月31日 (2018. 8. 31)

(73) 特許権者 000219967
 東京エレクトロン株式会社
 東京都港区赤坂五丁目3番1号
 (74) 代理人 100099944
 弁理士 高山 宏志
 (72) 発明者 岡田 充弘
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内
 (72) 発明者 高木 聡
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内
 審査官 佐藤 靖史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シリコン膜の形成方法および形成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

凹部が形成された絶縁膜を表面に有する被処理基板に対し、前記凹部内にシリコン膜を形成するシリコン膜の形成方法であって、

(a) 被処理基板にシリコン原料ガスを供給して前記凹部を埋め込むように、ノンドープシリコン膜またはボロンドープシリコン膜からなる第1シリコン膜を成膜する工程と

(b) 次いで、前記被処理基板にハロゲン含有エッチングガスを供給して、前記第1シリコン膜をエッチングし、前記被処理基板の表面および前記凹部の内壁上部の前記絶縁膜表面を露出させ、前記凹部の底部に前記第1シリコン膜を残存させる工程と、

(c) 次いで、エッチング後の被処理基板にシリコン原料ガスを供給して、前記凹部の底部に残存する前記第1シリコン膜上に、ノンドープシリコン膜またはボロンドープシリコン膜からなる第2シリコン膜をボトムアップ成長させる工程と
 を有することを特徴とするシリコン膜の形成方法。

【請求項2】

前記(b) 工程により、露出した前記絶縁膜表面に、ハロゲン元素を含む吸着層が形成されることを特徴とする請求項1に記載のシリコン膜の形成方法。

【請求項3】

前記(a) 工程および前記(c) 工程に用いる前記シリコン原料ガスは、シラン系化合物またはアミノシラン系化合物であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の

シリコン膜の形成方法。

【請求項 4】

前記 (a) 工程に先立って行われる、 (d) 前記被処理基板にシリコン原料を供給して前記絶縁膜表面にシード層を形成する工程をさらに有することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のシリコン膜の形成方法。

【請求項 5】

前記 (d) 工程に用いる前記シリコン原料ガスは、高次シラン系化合物またはアミノシラン化合物であることを特徴とする請求項 4 に記載のシリコン膜の形成方法。

【請求項 6】

前記第 1 シリコン膜は、前記ノンドープシリコン膜であり、前記第 2 シリコン膜はポロンドープトシリコン膜であることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のシリコン膜の形成方法。

10

【請求項 7】

前記第 1 シリコン膜および前記第 2 シリコン膜はいずれもポロンドープトシリコン膜であることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のシリコン膜の形成方法。

【請求項 8】

前記ハロゲン含有エッチングガスは、 Cl_2 、 HCl 、 F_2 、 Br_2 、 HBr から選択されたガスであることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載のシリコン膜の形成方法。

20

【請求項 9】

前記絶縁膜は SiO_2 膜であり、前記ハロゲン含有エッチングガスは Cl_2 ガスであることを特徴とする請求項 8 に記載のシリコン膜の形成方法。

【請求項 10】

前記 (b) 工程および前記 (c) 工程を複数回繰り返すことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載のシリコン膜の形成方法。

【請求項 11】

前記 (a) 工程および前記 (c) 工程は、 $300 \sim 600$ の範囲の温度で行われることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載のシリコン膜の形成方法。

【請求項 12】

前記 (b) 工程は、 $250 \sim 500$ の範囲の温度で行われることを特徴とする請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載のシリコン膜の形成方法。

30

【請求項 13】

凹部が形成された絶縁膜を表面に有する被処理基板に対し、前記凹部内にシリコン膜を形成するシリコン膜の形成装置であって、

前記被処理基板を収容する処理容器と、

前記処理容器内に所定のガスを供給するガス供給部と、

前記処理容器内を加熱する加熱機構と、

前記処理容器内を排気して減圧状態とする排気機構と、

前記ガス供給部、前記加熱機構、および前記排気機構を制御する制御部と

40

を具備し、

前記制御部は、

前記排気機構により前記処理容器内を所定の減圧状態に制御し、前記加熱機構により前記処理容器内を所定温度に制御し、

前記ガス供給部から前記処理容器内にシリコン原料ガスを供給させて、前記凹部を埋め込むように、ノンドープシリコン膜またはポロンドープトシリコン膜からなる第 1 シリコン膜を成膜させ、

次いで、前記ガス供給部から前記処理容器内にハロゲン含有エッチングガスを供給させ、前記第 1 シリコン膜をエッチングして、前記被処理基板の表面および前記凹部の内壁上部の前記絶縁膜表面を露出させ、前記凹部内の底部に前記第 1 シリコン膜を残存させ、

50

次いで、エッチング後の被処理基板にシリコン原料ガスを供給して、前記凹部内の底部に残存する前記第1シリコン膜上に、ノンドープシリコン膜またはボロンドープトシリコン膜からなる第2シリコン膜をボトムアップ成長させることを特徴とするシリコン膜の形成装置。

【請求項14】

前記処理容器は、前記被処理基板が複数保持された基板保持具が収容され、複数の基板に対して処理が行われることを特徴とする請求項13に記載のシリコン膜の形成装置。

【請求項15】

コンピュータ上で動作し、シリコン膜の形成装置を制御するためのプログラムが記憶された記憶媒体であって、前記プログラムは、実行時に、請求項1から請求項12のいずれかのシリコン膜の形成方法が行われるように、コンピュータに前記シリコン膜の形成装置を制御させることを特徴とする記憶媒体。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、凹部内にシリコン膜を形成するシリコン膜の形成方法および形成装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造プロセスにおいては、絶縁膜にホールやトレンチ等の凹部を形成し、その中にアモルファスシリコン膜等のシリコン膜を埋め込んで電極を形成する工程が存在する。シリコン膜の成膜処理には、一般的に化学蒸着法(CVD法)が用いられてきたが、CVD法によりシリコン膜を深いホールやトレンチを埋め込む場合には、ステップカバレッジが悪く、ポイドが発生してしまう。電極として用いられるシリコン膜にポイドが発生すると、抵抗値を増大させてしまうため、極力ポイドのないシリコン膜が求められている。

20

【0003】

これに対して、特許文献1には、ホールやトレンチ等の凹部にシリコン膜を形成した後、断面V字状にエッチングを行い、その後再びシリコン膜を埋め込む技術が提案されている。これにより、ポイドフリーの埋め込みを達成できるとしている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献3】特開2012-4542号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、近時、半導体デバイスのさらなる微細化が進み、シリコン膜を埋め込むべき凹部の幅が一層狭いものとなり、特許文献1に記載されたようなV字状にエッチングを利用した技術ではポイドフリーの埋め込みが困難になりつつある。

40

【0006】

したがって、本発明は、極めて微細な凹部にポイドフリーでシリコン膜を埋め込むことができるシリコン膜の形成方法および形成装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するため、本発明の第1の観点は、凹部が形成された絶縁膜を表面に有する被処理基板に対し、前記凹部内にシリコン膜を形成するシリコン膜の形成方法であって、(a)被処理基板にシリコン原料ガスを供給して前記凹部を埋め込むように、ノンドープシリコン膜またはボロンドープトシリコン膜からなる第1シリコン膜を成膜する工程と、(b)次いで、前記被処理基板にハロゲン含有エッチングガスを供給して、前記第1

50

シリコン膜をエッチングし、前記被処理基板の表面および前記凹部の内壁上部の前記絶縁膜表面を露出させ、前記凹部内の底部に前記第1シリコン膜を残存させる工程と、(c)次いで、エッチング後の被処理基板にシリコン原料ガスを供給して、前記凹部内の底部に残存する前記第1シリコン膜上に、ノンドープシリコン膜またはボロンドープトシリコン膜からなる第2シリコン膜をボトムアップ成長させる工程とを有することを特徴とするシリコン膜の形成方法を提供する。

【0008】

上記第1の観点において、前記(b)工程により、露出した前記絶縁膜表面に、ハロゲン元素を含む吸着層が形成されるようにすることができる。

【0009】

前記(a)工程および前記(c)工程に用いる前記シリコン原料ガスとして、シラン系化合物またはアミノシラン系化合物を用いることができる。

【0010】

前記(a)工程に先立って行われる、(d)前記被処理基板にシリコン原料を供給して前記絶縁膜表面にシード層を形成する工程をさらに有してもよい。前記(d)工程は、前記シリコン原料ガスとして、高次シラン系化合物またはアミノシラン化合物を用いることができる。

【0011】

第1シリコン膜および第2シリコン膜の具体的な組み合わせとしては、前記第1シリコン膜が前記ノンドープシリコン膜、前記第2シリコン膜がボロンドープトシリコン膜の組み合わせ、前記第1シリコン膜および前記第2シリコン膜がいずれもボロンドープトシリコン膜である組み合わせを挙げることができる。

【0012】

前記ハロゲン含有エッチングガスは、 Cl_2 、 HCl 、 F_2 、 Br_2 、 HBr から選択されたガスを用いることができる。前記絶縁膜は SiO_2 膜であり、前記ハロゲン含有エッチングガスは Cl_2 ガスである組み合わせが好適である。

【0013】

上記第1の観点において、前記(b)工程および前記(c)工程を複数回繰り返してもよい。

【0014】

前記(a)工程および前記(c)工程は、 $300 \sim 600$ の範囲の温度で行うことができる。前記(b)工程は、 $250 \sim 500$ の範囲の温度で行うことができる。

【0015】

本発明の第2の観点は、凹部が形成された絶縁膜を表面に有する被処理基板に対し、前記凹部内にシリコン膜を形成するシリコン膜の形成装置であって、前記被処理基板を収容する処理容器と、前記処理容器内に所定のガスを供給するガス供給部と、前記処理容器内を加熱する加熱機構と、前記処理容器内を排気して減圧状態とする排気機構と、前記ガス供給部、前記加熱機構、および前記排気機構を制御する制御部とを具備し、前記制御部は、前記排気機構により前記処理容器内を所定の減圧状態に制御し、前記加熱機構により前記処理容器内を所定温度に制御し、前記ガス供給部から前記処理容器内にシリコン原料ガスを供給させて、前記凹部を埋め込むように、ノンドープシリコン膜またはボロンドープトシリコン膜からなる第1シリコン膜を成膜させ、次いで、前記ガス供給部から前記処理容器内にハロゲン含有エッチングガスを供給させ、前記第1シリコン膜をエッチングして、前記被処理基板の表面および前記凹部の内壁上部の前記絶縁膜表面を露出させ、前記凹部内の底部に前記第1シリコン膜を残存させ、次いで、エッチング後の被処理基板にシリコン原料ガスを供給して、前記凹部内の底部に残存する前記第1シリコン膜上に、ノンドープシリコン膜またはボロンドープトシリコン膜からなる第2シリコン膜をボトムアップ成長させることを特徴とするシリコン膜の形成装置を提供する。

【0016】

上記第2の観点において、前記処理容器は、前記被処理基板が複数保持された基板保持

10

20

30

40

50

具が収容され、複数の基板に対して処理が行われるようにすることができる。

【0017】

本発明の第3の観点は、コンピュータ上で動作し、シリコン膜の形成装置を制御するためのプログラムが記憶された記憶媒体であって、前記プログラムは、実行時に、上記第1の観点のシリコン膜の形成方法が行われるように、コンピュータに前記シリコン膜の形成装置を制御させることを特徴とする記憶媒体を提供する。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、凹部が形成された絶縁膜を表面に有する被処理基板に対し、凹部内にシリコン膜を形成するにあたり、被処理基板にシリコン原料ガスを供給して凹部を埋め込むように第1シリコン膜を成膜し、次いで被処理基板にハロゲン含有エッチングガスを供給して、第1シリコン膜をエッチングし、被処理基板の表面および凹部の内壁上部の前記絶縁膜表面を露出させ、前記凹部の底部に前記第1のシリコン膜を残存させることにより、被処理基板の表面および凹部の内壁上部にハロゲン元素が吸着して不活性化され、その部分のインキュベーションタイムが長くなる。このため、次の第2シリコン膜の成膜の際に、第1シリコン膜上からボトムアップ成長させることができる。これにより、凹部が微細であってもボイドレスでシリコン膜を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明に係るシリコン膜の形成方法の第1の実施形態を示すフロー図である。

【図2】本発明に係るシリコン膜の形成方法の第1の実施形態を示す工程断面図である。

【図3】ハロゲン含有エッチングガスでエッチングを行った際の凹部の状態を説明するための図である。

【図4】 SiO_2 膜上およびシリコン膜上にハロゲン元素が吸着した場合の、シリコン膜成膜の際のインキュベーションタイムの変化を示す図である。

【図5】凹部に第2シリコン膜を成膜する際のボトムアップ成長の状態を示す模式図である。

【図6】特許文献1におけるシリコン膜の形成方法を説明するための図である。

【図7】本発明に係るシリコン膜の形成方法の第2の実施形態を示すフロー図である。

【図8】本発明に係るシリコン膜の形成方法の第2の実施形態を示す工程断面図である。

【図9】本発明のシリコン膜の形成方法の実施に用いることができるシリコン膜の形成装置の一例を示す縦断面図である。

【図10】実験例におけるサンプルウエハの各工程の断面を示すSEM写真である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

【0021】

<シリコン膜の形成方法>

[第1の実施形態]

最初に、本発明に係るシリコン膜の形成方法の第1の実施形態について、図1のフロー図および図2の工程断面図に基づいて説明する。

【0022】

まず、トレンチやホール等の凹部202が所定パターンで形成された、 SiO_2 膜や SiN 膜等からなる絶縁膜201を半導体基体200上に有する半導体ウエハ(以下単にウエハと記す)を準備する(ステップ1、図2(a))。

【0023】

凹部202は、例えば、開口径または開口幅が5~40nm、深さが50~300nm程度である。

【0024】

次に、ウエハに Si 原料ガスを供給して、凹部202を埋め込むように第1シリコン膜

10

20

30

40

50

203を成膜する第1成膜工程を行う(ステップ2、図2(b))。このとき、凹部202の埋め込みは、凹部202内がほぼ完全に埋め込まれるまで行うことが好ましい。第1シリコン膜203は成膜された状態では典型的にはアモルファスシリコンである。第1シリコン膜203は、ノンドープシリコンであってもよいし、不純物をドープしたシリコンであってもよい。不純物としては、ボロン(B)、リン(P)、ヒ素(As)が例示される。

【0025】

Si原料ガスとしては、CVD法に適用可能なSi含有化合物全般を用いることができ特に限定されないが、シラン系化合物、アミノシラン系化合物を好適に用いることができる。シラン系化合物としては、例えば、モノシラン(SiH_4)、ジシラン(Si_2H_6)等を挙げることができ、アミノシラン系化合物としては、例えば、BAS(ブチルアミノシラン)、BTBAS(ビスターシャリブチルアミノシラン)、DMAS(ジメチルアミノシラン)、BDMAS(ビスジメチルアミノシラン)、DPAS(ジプロピルアミノシラン)、DIPAS(ジイソプロピルアミノシラン)等を挙げることができる。もちろん他のシラン系化合物、アミノシラン系化合物であってもよい。

10

【0026】

不純物含有ガスとしては、ジボラン(B_2H_6)、三塩化ホウ素(BCl_3)、ホスフィン(PH_3)、アルシン(AsH_3)等を用いることができる。

【0027】

具体的なプロセス条件としては、処理温度(ウエハの温度)が300~600、圧力が0.05~5 Torr(6.7~667 Pa)の範囲を用いることができる。

20

【0028】

次に、ウエハにハロゲン含有エッチングガスを供給して、第1成膜工程で形成された第1シリコン膜203エッチングし、凹部202内の底部にのみ第1シリコン膜203を残存させる(ステップ3、図2(c))。

【0029】

エッチングガスは、上方から供給されるため、第1シリコン膜203は表面側からエッチングされる。このため、第1シリコン膜203をエッチングすることにより、凹部202の底部のみに第1シリコン膜203を残存させ、表面および凹部202の上部において絶縁膜201が露出した状態とすることができる。

30

【0030】

ハロゲン含有エッチングガスとしては、ハロゲン元素を含み、シリコンをエッチングすることができるものを用いることができ、例えば、 Cl_2 、HCl、 F_2 、 Br_2 、HBr等を用いることができる。これらの中では、エッチング制御性が良好な Cl_2 ガスが好ましい。この際のエッチング温度は250~500の範囲、圧力は0.05~5 Torr(6.7~667 Pa)程度が好ましい。このとき、ハロゲン含有エッチングガスは、ウエハの表面に吸着し、図2(c)に示すように、吸着層205を形成する。

【0031】

次に、ウエハにSi原料ガスを供給して、第1シリコン膜203が底部に残存した凹部202内に第2シリコン膜204を成膜する第2成膜工程を行う(ステップ4、図2(d))。第2シリコン膜204は、第1シリコン膜203と同様、成膜された状態では典型的にはアモルファスシリコンである。また、第2シリコン膜204は、ノンドープシリコンであってもよいし、不純物をドープしたシリコンであってもよい。不純物としては、ヒ素(As)、ボロン(B)、リン(P)が例示される。Si原料ガスおよび不純物含有ガスとしては、第1シリコン膜203と同じであっても異なってもよい。このとき、第2シリコン膜204の成膜の際に用いられるシリコン原料ガスは、第1シリコン膜203用いられるシリコン原料ガスと同一であっても異なってもよい。

40

【0032】

具体的なプロセス条件としては、ステップ2と同様、処理温度(ウエハの温度)が300~600、圧力が0.05~5 Torr(6.7~667 Pa)の範囲を用いること

50

ができる。

【0033】

ステップ4の第2シリコン膜204の成膜の際には、その前のステップ3のエッチングの際に、図3に示すように、ハロゲン含有エッチングガス、例えば Cl_2 ガスが、露出した絶縁膜201の表面および第1シリコン膜203の上面に吸着されて吸着層205を形成した状態となっている。

【0034】

このとき、 SiO_2 等からなる絶縁膜は、 Cl 等のハロゲン元素を含有する吸着層205が形成されることにより表面が不活性化される。一方、シリコン膜は、不純物ドーパの有無にかかわらず、ハロゲン元素を含有する吸着層206が形成されてもほとんど不活性化されない。

10

【0035】

すなわち、エッチングガスに含有される Cl 等のハロゲン元素は、 SiO_2 等からなる絶縁膜201上に吸着されることにより、シリコン膜の成膜を生じ難くする作用があるのに対し、シリコン膜上に Cl 等のハロゲン元素が吸着しても、シリコン膜の成膜はほとんど阻害されない。

【0036】

このことをインキュベーションタイムの点から考察すると、図4に示すようになる。

一般的に、シリコン膜上へシリコン膜を成膜する際にはインキュベーションタイムはほとんど存在しない。一方、絶縁膜である SiO_2 膜上へシリコン膜を成膜する際には所定のインキュベーションタイムが存在する。この状態で表面にハロゲン元素を含有する吸着層205が形成されると、シリコン膜上ではインキュベーションタイムがほとんど増加しないのに対し、 SiO_2 膜上ではさらにインキュベーションタイムが増加する。

20

【0037】

したがって、凹部202内において、第1シリコン膜203上に第2シリコン膜204が成膜されている間、ハロゲン元素を含有する吸着層205により絶縁膜201上には成膜されない状態を作り出すことができる。すなわち、図5に示すように、ハロゲン元素を含有する吸着層205により、第2シリコン膜204を、凹部202の底部に存在する第1シリコン膜203からボトムアップ成長させることができる。このため、凹部202が微細であっても、ボイドのないシリコン膜を形成することができる。

30

【0038】

上記特許文献1の技術でも、図6(a)のように、凹部202内に第1シリコン膜203を形成した後、エッチングを行うが、その際のエッチングは、図6(b)のように、V字形状のエッチング部位210を形成するために行うものであるから、ウエハ表面およびエッチング部位210の内壁部には第1シリコン膜203が残存している。このため、ウエハ表面およびエッチング部位210の内壁部にエッチングガスである Cl_2 ガスが吸着しても、次の第2シリコン膜204の成膜の際に、ウエハ表面およびエッチング部位210の内壁部に第2シリコン膜204が成膜され、凹部202が微細化されると、エッチング部位210がV字状であっても、図6(c)のように、エッチング部位210の間口が狭まることがあり、ボイドフリーの埋め込みが困難になるおそれがある。

40

【0039】

これに対して、本実施形態では、上述したように第2シリコン膜204をボトムアップ成長させるので、特許文献1に示すような事態は生じない。

【0040】

ステップ3のエッチングとステップ4の第2成膜工程とは1回のみであってもよいが、所定の埋め込み高さになるまでこれらを複数回繰り返してもよい。

【0041】

また、ステップ2の第1成膜工程、ステップ3のエッチング工程、ステップ4の第2成膜工程は、工程が許容すれば、極力近い温度で行うことが好ましく、同じ温度で行うことがより好ましい。

50

【0042】

第1の例においては、第1シリコン膜203および第2シリコン膜204ともノンドープシリコンであってもよいし、第1シリコン膜203および第2シリコン膜204ともボロン等をドーパしたドープトシリコンであってもよいし、第1シリコン膜203がノンドープシリコンで第2シリコン膜204がドープトシリコンであっても、第1シリコン膜がドープトシリコンで第2シリコン膜204がノンドープシリコンであってもよい。

【0043】

[第2の実施形態]

次に、本発明に係るシリコン膜の形成方法の第2の実施形態について、図7のフロー図および図8の工程断面図に基づいて説明する。

【0044】

まず、第1の例と同様、トレンチやホール等の凹部202が所定パターンで形成された、 SiO_2 膜や SiN 膜等からなる絶縁膜201を半導体基体200上に有するウエハを準備する(ステップ11、図8(a))。

【0045】

次に、ウエハにシード層用の Si 原料ガスを供給して全面にシード層206を形成する(ステップ12、図7(b))。シード層用の Si 原料ガスとしては、一分子中に2つ以上の Si を含む高次シラン系化合物や、アミノシラン系化合物を用いることができる。シード層206を形成することにより、その上に形成されるシリコン膜のラフネスを低減することができる。シード層用の Si 原料ガスに用いる高次シラン系化合物としては、例えば、ジシラン(SiH_6)、トリシラン(Si_3H_8)、テトラシラン(Si_4H_{10})等を用いることができる。また、シード層用の Si 原料ガスに用いるアミノシラン系化合物としては、例えばBAS(ブチルアミノシラン)、BTBAS(ビスターシャリブチルアミノシラン)、DMAS(ジメチルアミノシラン)、BDMAS(ビスジメチルアミノシラン)、DPAS(ジプロピルアミノシラン)、DIPAS(ジイソプロピルアミノシラン)等を挙げることができる。もちろん他の高次シラン系化合物、アミノシラン系化合物であってもよい。シード層205の厚さは1~2nm程度が好ましい。また、この際の処理温度は、300~400が好ましい。アミノシラン系化合物を用いる場合には、熱分解が起こらない温度とすることが好ましい。

【0046】

次に、凹部202を埋め込むように第1シリコン膜203を成膜する第1成膜工程を行う(ステップ13、図8(c))。このとき、 Si 原料ガスとしては、アミノシラン系化合物以外のシリコン化合物を用いることが好ましい。それ以外は、第1の例のステップ2と同様の条件で行うことができる。

【0047】

次に、ウエハにハロゲン含有エッチングガスを供給して、第1成膜工程で形成された第1シリコン膜203エッチングし、凹部202の底部にのみ第1アモルファスシリコン膜203を残存させる(ステップ14、図8(d))。このエッチング工程は、第1の例のステップ3と全く同様に行うことができる。

【0048】

次に、第1シリコン膜203が底部に残存した凹部202を埋め込むように第2シリコン膜204を成膜する第2成膜工程を行う(ステップ15、図8(e))。この第2成膜工程は、第1の例のステップ4と全く同様に行うことができる。

【0049】

ステップ14のエッチングとステップ15の第2成膜工程とは1回のみであってもよいが、所定の埋め込み高さになるまでこれらを複数回繰り返してもよい。

【0050】

<シリコン膜の形成装置の一例>

次に、本発明のシリコン膜の形成方法の実施に用いることができるシリコン膜の形成装置の一例について説明する。図9は、そのようなシリコン膜の形成装置の一例である成膜

10

20

30

40

50

装置を示す縦断面図である。

【0051】

成膜装置1は、天井部を備えた筒状の断熱体3と、断熱体3の内周面に設けられたヒータ4とを有する加熱炉2を備えている。加熱炉2は、ベースプレート5上に設置されている。

【0052】

加熱炉2内には、例えば石英からなる、上端が閉じている外管11と、この外管11内に同心状に設置された例えば石英からなる内管12とを有する2重管構造をなす処理容器10が挿入されている。そして、上記ヒータ4は処理容器10の外側を囲繞するように設けられている。

10

【0053】

上記外管11および内管12は、各々その下端にてステンレス等からなる筒状のマニホール13に保持されており、このマニホール13の下端開口部には、当該開口を気密に封止するためのキャップ部14が開閉自在に設けられている。

【0054】

キャップ部14の中心部には、例えば磁気シールにより気密な状態で回転可能な回転軸15が挿通されており、回転軸15の下端は昇降台16の回転機構17に接続され、上端はターンテーブル18に固定されている。ターンテーブル18には、保温筒19を介して被処理基板である半導体ウエハ(以下単にウエハと記す)を保持する基板保持具である石英製のウエハポート20が載せられる。このウエハポート20は、例えば50~150枚のウエハWを所定間隔のピッチで積み重ねて収容できるように構成されている。

20

【0055】

そして、昇降機構(図示せず)により昇降台16を昇降させることにより、ウエハポート20を処理容器10内へ搬入搬出可能となっている。ウエハポート20を処理容器10内に搬入した際に、上記キャップ部14がマニホール13に密接し、その間が気密にシールされる。

【0056】

また、成膜装置1は、処理容器10内へSi原料ガスを導入するSi原料ガス供給機構21と、処理容器10内へ不純物含有ガスを導入する不純物含有ガス導入供給機構22と、処理容器10内へエッチングガスを導入するハロゲン含有エッチングガス供給機構23と、処理容器10内へパージガス等として用いられる不活性ガスを導入する不活性ガス供給機構24とを有している。これらSi原料ガス供給機構21と、不純物含有ガス導入供給機構22と、ハロゲン含有エッチングガス供給機構23と、不活性ガス導入機構24とはガス供給部を構成する。

30

【0057】

Si原料ガス供給機構21は、Si原料ガス供給源25と、Siガス供給源25から成膜ガスを導くSi原料ガス配管26と、Si原料ガス配管26に接続され、マニホール13の側壁下部を貫通して設けられた石英製のSi原料ガスノズル26aとを有している。Si原料ガス配管26には、開閉バルブ27およびマスフローコントローラのような流量制御器28が設けられており、Si原料ガスを流量制御しつつ供給することができるようになっている。

40

【0058】

不純物含有ガス導入供給機構22は、不純物含有ガス供給源29と、不純物含有ガス供給源29から不純物含有ガスを導く不純物含有ガス配管30と、不純物含有ガス配管30に接続され、マニホール13の側壁下部を貫通して設けられた石英製の不純物含有ガスノズル30aとを有している。不純物含有ガス配管30には、開閉バルブ31およびマスフローコントローラのような流量制御器32が設けられており、不純物含有ガスを流量制御しつつ供給することができるようになっている。

【0059】

ハロゲン含有エッチングガス供給機構23は、ハロゲン含有エッチングガスを供給する

50

エッチングガス供給源 33 と、エッチングガス供給源 33 からエッチングガスを導くエッチングガス配管 34 と、エッチングガス配管 34 に接続され、マニホールド 13 の側壁下部を貫通して設けられた石英製のエッチングガスノズル 34a とを有している。エッチングガス配管 34 には、開閉バルブ 35 およびマスフローコントローラのような流量制御器 36 が設けられており、Ge 原料ガスを流量制御しつつ供給することができるようになっている。

【0060】

不活性ガス供給機構 24 は、不活性ガス供給源 37 と、不活性ガス供給源 37 から不活性ガスを導く不活性ガス配管 38 と、不活性ガス配管 38 に接続され、マニホールド 13 の側壁下部を貫通して設けられた不活性ガスノズル 38a とを有している。不活性ガス配管 38 には、開閉バルブ 39 およびマスフローコントローラのような流量制御器 40 が設けられている。

10

【0061】

Si 原料ガス供給機構 21 から供給される Si 原料ガスは、上述したように、CVD 法に適用可能な Si 含有化合物であれば限定されないが、シラン系化合物、アミノシラン系化合物を好適に用いることができる。

【0062】

不純物含有ガス供給機構 22 から供給される不純物含有ガスも、上述したように、As、B、P が例示され、不純物含有ガスとしては、 AsH_3 、 B_2H_6 、 BCl_3 、 PH_3 を用いることができる。

20

【0063】

エッチングガス供給機構 23 から供給されるエッチングガスも、上述したように、シリコンを除去することができるものであり、好適なものとして Cl_2 、 HCl 、 F_2 、 Br_2 、 HBr 等が例示される。

【0064】

不活性ガス供給機構 23 から供給される不活性ガスとしては、 N_2 ガスや、Ar ガスのような希ガスをを用いることができる。

【0065】

なお、第 1 シリコン膜と第 2 シリコン膜とを別個の Si 原料ガスにより成膜する場合には、Si 原料ガス供給機構 21 としてこれら 2 種類の Si 原料ガスを供給する 2 つの Si 原料ガス供給源 25 を有するものを用いればよい。また、上記シリコン膜の形成方法の第 2 の例のようにシード層を形成する場合には、Si 原料ガス供給機構 21 と全く同様の構成を有するシード層用 Si 原料ガス供給機構を別途設けて、処理容器 10 内にシード層用 Si 原料ガスを供給すればよい。

30

【0066】

マニホールド 13 の側壁上部には、外管 11 と内管 12 との間隙から処理ガスを排出するための排気管 45 が接続されている。この排気管 45 には処理容器 10 内を排気するための真空ポンプ 46 が接続されており、また排気管 45 には圧力調整バルブ等を含む圧力調整機構 47 が設けられている。そして、真空ポンプ 46 で処理容器 10 内を排気しつつ圧力調整機構 47 で処理容器 10 内を所定の圧力に調整するようになっている。

40

【0067】

また、成膜装置 1 は制御部 50 を有している。制御部 50 は、成膜装置 1 の各構成部、例えばバルブ類、流量制御器であるマスフローコントローラ、昇降機構等の駆動機構、ヒータ電源等を制御する、CPU (コンピュータ) を有する主制御部と、キーボードやマウス等の入力装置、出力装置、表示装置、記憶装置を有している。制御部 50 の主制御部は、記憶装置に処理レシピが記憶された記憶媒体をセットすることにより、記憶媒体から呼び出された処理レシピに基づいて成膜装置 1 に所定の動作を実行させる。これにより、コンピュータの制御下で、成膜装置 1 により上述したようなシリコン膜の形成方法が実施される。

【0068】

50

次に、以上のように構成される成膜装置により上述したようなシリコン膜の形成方法を実施する際の処理動作について説明する。以下の処理動作は制御部50における記憶部の記憶媒体に記憶された処理レシピに基づいて実行される。

【0069】

最初に、上述したような所定パターンのトレンチやホール等の凹部が形成された絶縁膜を有する半導体ウエハWをウエハポート20に例えば50～150枚搭載し、ターンテーブル18に保温筒19を介してウエハWを搭載したウエハポート20を載置し、昇降台16を上昇させることにより、下方開口部から処理容器10内へウエハポート20を搬入する。

【0070】

このとき、ヒータ4によりウエハポート20のセンター部(上下方向の中央部)の温度を第1シリコン膜の成膜に適した温度、例えば、300～700の範囲の所定温度になるように処理容器10内を予め加熱しておく。そして、処理容器10内を0.1～10 Torr(13.3～1333 Pa)の圧力に調整した後、開閉バルブ27を開にし、Si原料ガス供給源25からSi原料ガス配管26を介して処理容器10(内管12)内にSi原料ガスとして例えばSiH₄ガスを供給し、ウエハポート20を回転させつつ、第1シリコン膜の成膜を実施する。このときのガス流量は、流量制御器28により50～5000 sccmの範囲内の所定流量に制御される。このとき、開閉バルブ31を開けてSi原料ガスの供給と同時に、不純物含有ガス供給源29から所定の不純物含有ガスを所定量で導入してもよい。これにより、絶縁膜の凹部内に第1シリコン膜が埋め込まれる。処理容器10内への第1シリコン膜の成膜は、所定の膜厚になる時間が経過した時点で、開閉バルブ27を閉じて終了する。

【0071】

次に、真空ポンプ46により排気管45を介して処理容器10内を排気するとともに、開閉バルブ39を開放して、不活性ガス供給源37からN₂ガス等の不活性ガスを処理容器10内に供給して処理容器10内をパージし、ヒータ4により処理容器10内の温度を200～500の範囲の所定温度にする。次いで開閉バルブ39を閉じ、開閉バルブ35を開放して、ハロゲン含有エッチングガス供給源33からエッチングガス配管34を介して所定のエッチングガス、例えばCl₂ガスを処理容器10内に供給し、第1シリコン膜をエッチングする。このとき、エッチングはウエハの上部から進行していき、ウエハの表面および凹部内の側壁上部の絶縁膜が露出するまでエッチングされ、底部にのみ第1シリコン膜が残存する状態にされる。このような状態となる所定時間経過後、開閉バルブ35を閉じてエッチングを終了する。

【0072】

次に、真空ポンプ46により排気管45を介して処理容器10内を排気するとともに、開閉バルブ39を開放して、不活性ガス供給源37からN₂ガス等の不活性ガスを処理容器10内に供給して処理容器10内をパージし、ヒータ4により処理容器10内の温度を300～700の範囲の所定温度にする。

【0073】

次いで、処理容器10内を0.1～10 Torr(13.3～1333 Pa)の圧力に調整した後、開閉バルブ27を開にし、Si原料ガス供給源25からSi原料ガス配管26を介して処理容器10内にSi原料ガスとして例えばSiH₄ガスを供給し、ウエハに第2シリコン膜を成膜する。このときのガス流量は、流量制御器28により50～5000 sccmの範囲内の所定流量に制御される。このとき、開閉バルブ31を開けてSi原料ガスの供給と同時に、不純物含有ガス供給源29から所定の不純物含有ガスを所定量で導入してもよい。この第2シリコン膜の成膜にあたっては、ウエハの表面および凹部内の側壁上部において露出した絶縁膜の表面には、エッチングガス中のハロゲン元素、例えばClが吸着して表面が不活性化されているため第2シリコン膜は成膜されず、凹部の底に残存する第1シリコン膜上にのみ第2シリコン膜が成膜される。このため、凹部内で第2シリコン膜をボトムアップ成長させることができ、微細な凹部内にボイドのないシリコン

10

20

30

40

50

膜を形成することができる。第2シリコン膜の成膜は、所定の膜厚に対応する時間経過後、開閉バルブ27、または開閉バルブ27, 31を閉じて終了する。

【0074】

以上のようなハロゲン含有ガスを供給することによる第1シリコン膜のエッチングと、第2シリコン膜の成膜は、複数回繰り返し行ってもよい。

【0075】

第1シリコン膜の成膜が終了後、真空ポンプ46により排気管45を介して処理容器10内を排気しつつ、不活性ガスにより処理容器10内のパージを行う。そして、処理容器10内を常圧に戻した後、昇降台16を下降させてウエハポート20を搬出する。

【0076】

上記第2の実施形態のように、第1シリコン膜の成膜に先立って、シード層を形成する場合には、処理容器10内へウエハポート20を搬入した後、ヒータ4によりウエハポート20のセンター部(上下方向の中央部)の温度をシード層の形成に適した温度、例えば、250~450の範囲の所定温度になるように処理容器10を予め加熱しておき、処理容器10内を0.1~10 Torr (13.3~1333 Pa)の圧力に調整した後、Si原料ガス供給機構21と全く同様の構成を有するシード層用Si原料ガス供給機構(図示せず)の開閉バルブを開けて、シード層用Si原料ガスとして、例えば高次シラン系化合物ガス、アミノシラン系化合物ガスを処理容器10内に供給する。このときのガス流量は、10~1000 sccmの範囲内の所定流量に制御される。これにより、1~2 nm程度の厚さのシード層がウエハの全面に形成される。この状態で、上述したように第1シリコン膜の成膜、エッチング、第2シリコン膜の成膜を順次行う。これにより、シリコン膜のラフネスが低減される。

【0077】

具体的な成膜条件等としては、以下のものが例示される。

(具体例1)

- ・絶縁膜：SiO₂膜
- ・第1シリコン膜203(アモルファスシリコン)
ノンドープシリコン
シリコン原料ガス：SiH₄
成膜温度：530
圧力：0.45 Torr (60 Pa)
- ・エッチング
エッチングガス：Cl₂ガス
温度：350
圧力：0.15 Torr (20 Pa)
- ・第2シリコン膜204(アモルファスシリコン)
ポロンドープトシリコン
シリコン原料ガス：SiH₄
ドープガス：BCl₃
成膜温度：350
圧力：4.5 Torr (600 Pa)

(具体例2)

- ・絶縁膜：SiO₂膜
- ・第1シリコン膜203(アモルファスシリコン)
ポロンドープトシリコン
シリコン原料ガス：SiH₄
ドープガス：BCl₃
成膜温度：350
圧力：4.5 Torr (600 Pa)
- ・エッチング

10

20

30

40

50

エッチングガス：Cl₂ガス

温度：350

圧力：0.15 Torr (20 Pa)

・第2シリコン膜204 (アモルファスシリコン)

ポロンドープトシリコン

シリコン原料ガス：SiH₄

ドープガス：BCl₃

成膜温度：350

圧力：4.5 Torr (600 Pa)

【0078】

なお、上記具体例1, 2において、シード層を形成する場合の条件は以下のものが例示される。

・シード層

シリコン原料ガス：Si₂H₆

形成温度：350

圧力：1 Torr (133 Pa)

【0079】

<実験例>

次に実験例について説明する。

図10は実験例におけるサンプルウエハの各工程の断面を示すSEM写真である。

図10(a)は、Si基体上に形成されたSiO₂膜に間口の幅が60nm、深さが230nmのトレンチが所定パターンで形成されたサンプルウエハに、シリコン原料としてSiH₄ガスを用いて530でノンドープのアモルファスシリコン膜(a-Si膜)を60nmの厚さで埋め込んだ状態である。その後、Cl₂ガスを用いて、350で150nmの深さでa-Si膜をエッチングした。そのときの状態が図10(b)である。ウエハの表面およびトレンチ上部の内壁面ではSiO₂膜が露出している。その後、シリコン原料としてSiH₄ガスを用い、不純物原料としてBCl₃を用いて、350で30~35nmの厚さのポロンドープトシリコン膜(B-Si膜)を成膜した。そのときの状態が図10(c)である。B-Si膜がa-Si膜の上にボトムアップ成長しており、ボイドのない健全な膜となっていることがわかる。このことから、本発明の手法は、微細凹部にボイドフリーでシリコン膜を埋め込む上で有効な手法であることが確認された。

【0080】

<他の適用>

以上、本発明の実施形態について説明したが、この発明は、上記の実施形態に限定されることはなく、その趣旨を逸脱しない範囲で種々変形可能である。

【0081】

例えば、上記実施形態では、本発明の方法を縦型のバッチ式装置により実施した例を示したが、これに限らず、横型のバッチ式装置や枚葉式装置等の他の種々の成膜装置により実施することもできる。また、全ての工程を一つの装置で実施する例を示したが、一部の工程(例えばエッチング)を他の装置で行ってもよい。

【0082】

さらに、被処理基板として半導体ウエハを用いた場合について示したが、これに限らず、フラットパネルディスプレイ用のガラス基板やセラミックス基板等、他の基板にも適用できることはいうまでもない。

【符号の説明】

【0083】

1 ; 成膜装置

2 ; 加熱炉

4 ; ヒータ

10 ; 処理容器

10

20

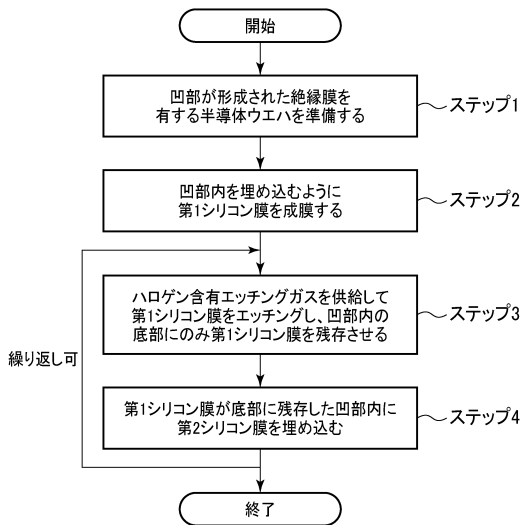
30

40

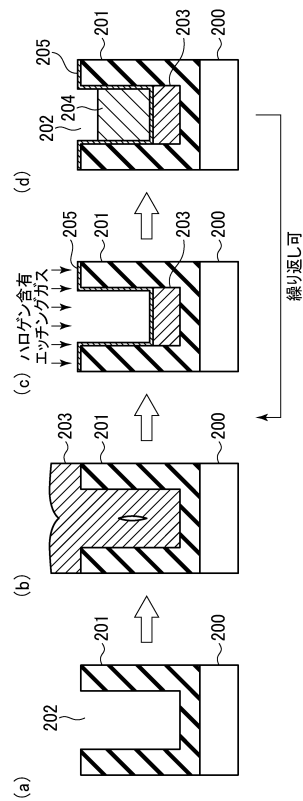
50

- 20 ; ウエハポート
- 21 ; Si 原料ガス供給機構
- 22 ; 不純物含有ガス供給機構
- 23 ; ハロゲン含有エッチングガス供給機構
- 45 ; 排気管
- 46 ; 真空ポンプ
- 50 ; 制御部
- 200 ; Si 基体
- 201 ; 絶縁膜
- 202 ; 凹部 (トレンチまたはホール)
- 203 ; 第1シリコン膜
- 204 ; 第2シリコン膜
- 205 ; 吸着層
- 206 ; シード層
- W ; 半導体ウエハ (被処理基板)

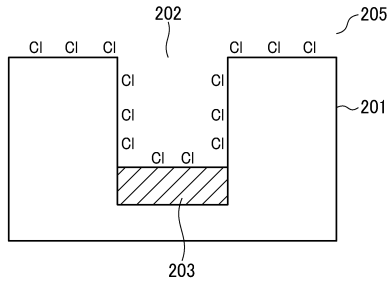
【図1】



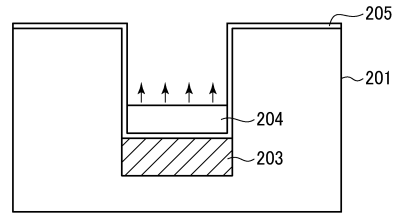
【図2】



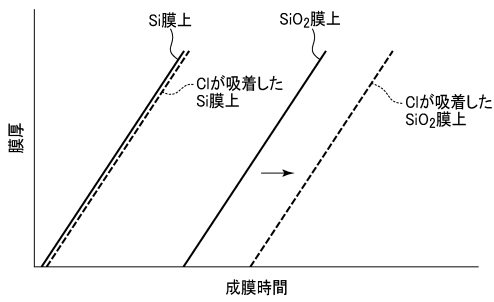
【図3】



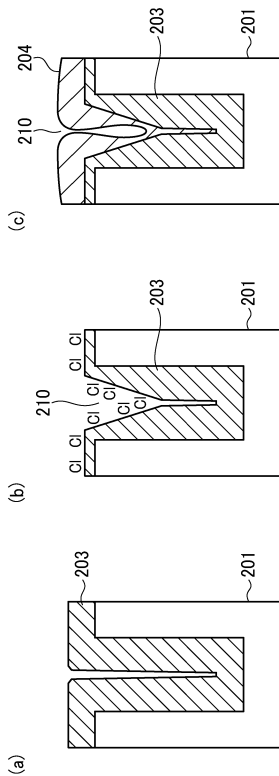
【図5】



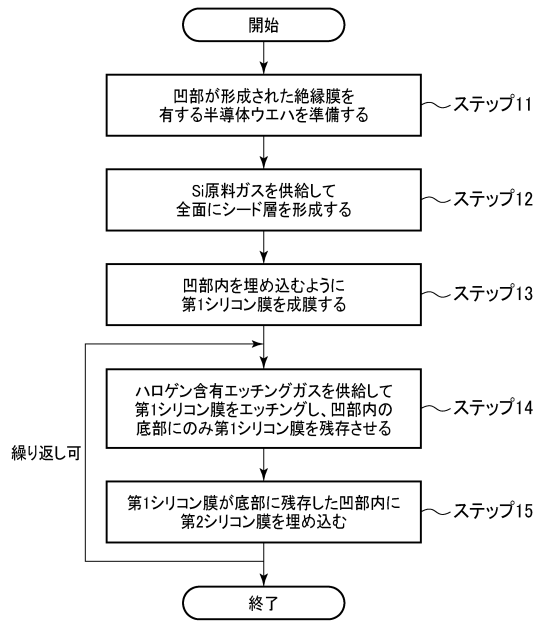
【図4】



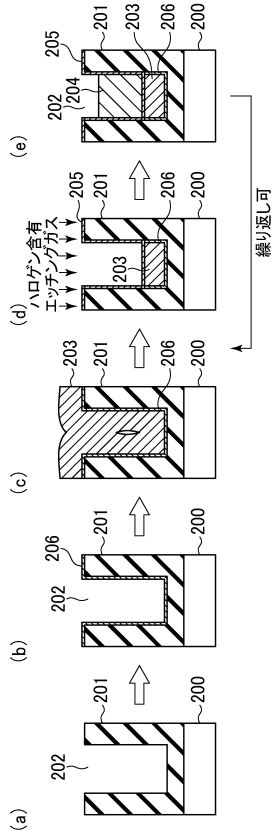
【図6】



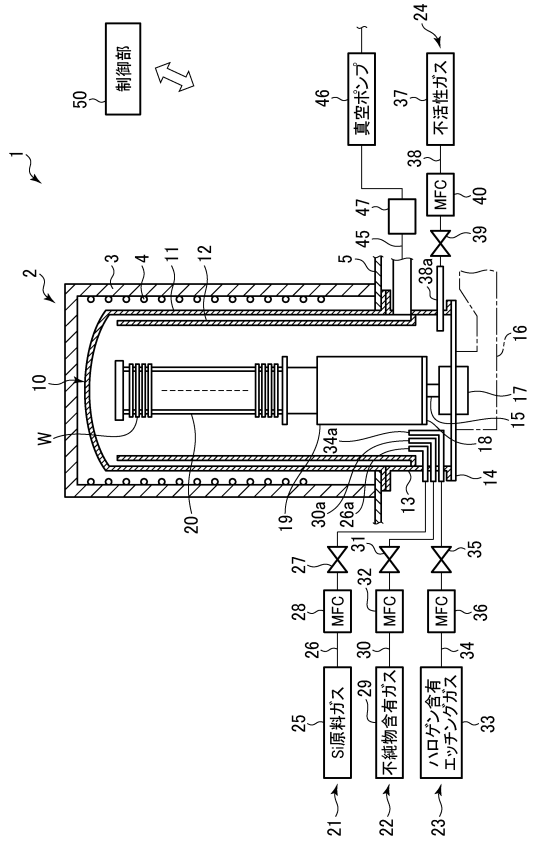
【図7】



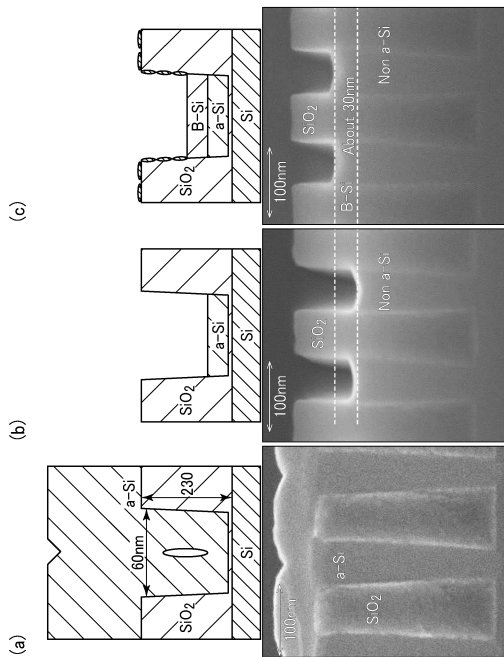
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 21/28 (2006.01) H 0 1 L 21/285 C
H 0 1 L 21/285 (2006.01)

(56)参考文献 特開2008-198996(JP,A)
国際公開第2007/013464(WO,A1)
特開2015-041707(JP,A)
特開平04-219395(JP,A)
特開平06-232277(JP,A)
特開2000-277432(JP,A)
特開2012-004542(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 2 1 / 2 0 5
C 2 3 C 1 6 / 2 4
H 0 1 L 2 1 / 2 8
H 0 1 L 2 1 / 2 8 5
H 0 1 L 2 1 / 3 2 0 5
H 0 1 L 2 1 / 7 6 8
H 0 1 L 2 3 / 5 3 2