

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7213726号
(P7213726)

(45)発行日 令和5年1月27日(2023.1.27)

(24)登録日 令和5年1月19日(2023.1.19)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 21/205 (2006.01)	H 0 1 L 21/205
H 0 1 L 21/20 (2006.01)	H 0 1 L 21/20
C 2 3 C 16/24 (2006.01)	C 2 3 C 16/24
C 2 3 C 16/28 (2006.01)	C 2 3 C 16/28
C 2 3 C 16/56 (2006.01)	C 2 3 C 16/56

請求項の数 12 (全15頁)

(21)出願番号	特願2019-46357(P2019-46357)	(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
(22)出願日	平成31年3月13日(2019.3.13)	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65)公開番号	特開2020-150134(P2020-150134 A)	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43)公開日	令和2年9月17日(2020.9.17)	(72)発明者	本山 豊 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ョンズ株式会社内
審査請求日	令和3年10月13日(2021.10.13)	(72)発明者	林 寛之 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ョンズ株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 成膜方法及び熱処理装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

凹部に非晶質半導体膜を成膜する工程と、
前記非晶質半導体膜を熱処理して多結晶半導体膜を形成する工程と、
前記熱処理により形成された前記多結晶半導体膜の上に、多結晶半導体膜を成膜する工程と、
前記非晶質半導体膜を成膜する工程と前記熱処理する工程との間に行われ、前記凹部の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように前記非晶質半導体膜をエッチングする工程と、
を有する、
成膜方法。

【請求項2】

前記非晶質半導体膜を成膜する工程は、前記非晶質半導体膜をコンフォーマルに形成する工程である、
請求項1に記載の成膜方法。

【請求項3】

前記非晶質半導体膜を成膜する工程、前記エッチングする工程及び前記熱処理する工程を複数回繰り返す、
請求項1又は2に記載の成膜方法。

【請求項4】

前記熱処理により形成された前記多結晶半導体膜の表面に結晶成長を阻害する阻害層を

形成する工程を有する、

請求項 3 に記載の成膜方法。

【請求項 5】

前記阻害層を形成する工程は、前記熱処理により形成された前記多結晶半導体膜の表面を改質する工程である、

請求項 4 に記載の成膜方法。

【請求項 6】

前記阻害層を形成する工程は、前記熱処理により形成された前記多結晶半導体膜の表面を酸化する工程である、

請求項 4 に記載の成膜方法。

10

【請求項 7】

前記阻害層を形成する工程は、前記非晶質半導体膜を成膜する工程よりも膜中水素濃度が高くなる条件で前記熱処理により形成された多結晶半導体膜の表面に膜を形成する工程である、

請求項 4 に記載の成膜方法。

【請求項 8】

前記非晶質半導体膜を成膜する工程の前に行われ、前記凹部にシード層を形成する工程を有する、

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の成膜方法。

【請求項 9】

20

前記熱処理する工程は、前記非晶質半導体膜を成膜する工程の温度以上で行われる、

請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の成膜方法。

【請求項 10】

前記熱処理する工程は、前記多結晶半導体膜を成膜する工程と略同じ温度で行われる、

請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の成膜方法。

【請求項 11】

前記非晶質半導体膜は、シリコン (Si) 及びゲルマニウム (Ge) の少なくとも 1 つを含む膜である、

請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の成膜方法。

【請求項 12】

30

表面に凹部を有する基板を収容する処理容器と、
前記処理容器内に処理ガスを供給するガス供給部と、
前記基板を加熱する加熱部と、
制御部と、
を備え、

前記制御部は、

凹部に非晶質半導体膜を成膜する工程と、

前記非晶質半導体膜を熱処理して多結晶半導体膜を形成する工程と、

前記熱処理により形成された前記多結晶半導体膜の上に、多結晶半導体膜を成膜する工程と、

40

前記非晶質半導体膜を成膜する工程と前記熱処理する工程との間に行われ、前記凹部の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように前記非晶質半導体膜をエッチングする工程と、

を実行するように前記ガス供給部及び前記加熱部を制御する、

熱処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、成膜方法及び熱処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

50

ホールやトレンチ等の溝に成膜とエッチングとを交互に繰り返し、溝にシリコン膜を埋め込むように成膜する技術が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2013-239717号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、基板の反りを低減しつつ、埋め込み特性が良好な半導体膜を形成できる技術を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一態様による成膜方法は、凹部に非晶質半導体膜を成膜する工程と、前記非晶質半導体膜を熱処理して多結晶半導体膜を形成する工程と、前記熱処理により形成された前記多結晶半導体膜の上に、多結晶半導体膜を成膜する工程と、前記非晶質半導体膜を成膜する工程と前記熱処理する工程との間に行われ、前記凹部の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように前記非晶質半導体膜をエッチングする工程と、を有する。

【発明の効果】

【0006】

本開示によれば、基板の反りを低減しつつ、埋め込み特性が良好な半導体膜を形成できる。

20

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1の実施形態の成膜方法を示す工程断面図

【図2】第1の実施形態の成膜方法の効果の説明するための図(1)

【図3】第1の実施形態の成膜方法の効果の説明するための図(2)

【図4】第2の実施形態の成膜方法を示す工程断面図

【図5】第3の実施形態の成膜方法を示す工程断面図

【図6】第4の実施形態の成膜方法を示す工程断面図

30

【図7】一実施形態の成膜方法を実施するための熱処理装置の一例を示す図

【図8】図7の熱処理装置の処理容器を説明するための図

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、添付の図面を参照しながら、本開示の限定的でない例示の実施形態について説明する。添付の全図面中、同一又は対応する部材又は部品については、同一又は対応する参照符号を付し、重複する説明を省略する。

【0009】

〔成膜方法〕

（第1の実施形態）

図1を参照し、第1の実施形態の成膜方法について説明する。図1は、第1の実施形態の成膜方法を示す工程断面図である。

40

【0010】

最初に、表面に凹部102が形成された基板101を準備する（図1(a)参照）。基板101は、例えばシリコン基板等の半導体基板であってよい。凹部102は、例えばトレンチ、ホールであってよい。また、凹部102の表面には、例えばシリコン酸化膜（SiO₂膜）、シリコン窒化膜（SiN膜）等の絶縁膜が形成されていてもよい。

【0011】

続いて、基板101にシード層用のシリコン原料ガスを供給して基板101の上にシード層103を成膜する（図1(b)参照）。一実施形態では、シード層103は、シード

50

層用のシリコン原料ガスとしてアミノシラン系ガスを用いて成膜される。アミノシラン系ガスとしては、例えばDIPAS（ジイソプロピルアミノシラン）、3DMAS（トリスジメチルアミノシラン）、BTBAS（ビスターシャルブチルアミノシラン）が挙げられる。また、シード層103は、シード層用のシリコン原料ガスとして一分子中に2つ以上のシリコン（Si）を含む高次シラン系ガスを用いて成膜されてもよい。高次シラン系ガスとしては、例えば Si_2H_6 、 Si_3H_8 、 Si_4H_{10} が挙げられる。また、シード層103は、シード層用のシリコン原料ガスとして水素化シリコンガス及びハロゲン含有シリコンガスを用いて成膜されてもよい。水素化シリコンガスとしては、例えば SiH_4 、 Si_2H_6 、 Si_3H_8 が挙げられる。ハロゲン含有シリコンガスとしては、例えば SiF_4 、 $SiHF_3$ 、 SiH_2F_2 、 SiH_3F 等のフッ素含有シリコンガス、 $SiCl_4$ 、 $SiHCl_3$ 、 SiH_2Cl_2 （DCS）、 SiH_3Cl 等の塩素含有シリコンガス、 $SiBr_4$ 、 $SiHBr_3$ 、 SiH_2Br_2 、 SiH_3Br 等の臭素含有シリコンガスが挙げられる。さらに、シード層103は、上記のいずれかの単層膜に限定されず、上記の組合せにより成膜される積層膜であってもよい。シード層103の成膜方法は、例えば化学気相堆積（CVD：Chemical Vapor Deposition）法を利用できる。また、シード層用のシリコン原料ガスとしてアミノシラン系ガスを用いる場合には、熱分解が起こらない温度とすることが好ましい。このように基板101の上にシード層103を成膜することにより、シード層103の上に成膜される非晶質シリコン膜104のラフネスを低減できる。なお、基板101の上にシード層103を成膜することなく後述の非晶質シリコン膜104を成膜してもよい。

10

20

【0012】

続いて、基板101にシリコン原料ガスを供給してシード層103の上に非晶質シリコン膜104を成膜する（図1（c）参照）。一実施形態では、例えばCVD法により、基板101を所定温度（例えば、550以下）に加熱した状態でシリコン原料ガスを供給してシード層103の上に非晶質シリコン膜104をコンフォーマルに成膜する。非晶質シリコン膜104は、ノンドープシリコン膜であってもよく、不純物をドープしたシリコン膜であってもよい。不純物としては、例えばボロン（B）、リン（P）、ヒ素（As）、酸素（O）、炭素（C）が挙げられる。シリコン原料ガスとしては、CVD法に適用可能であればよく、例えば水素化シリコンガス、ハロゲン含有シリコンガス、アミノシラン系ガスのうちの1つ又は複数を組み合わせて利用できる。水素化シリコンガスとしては、例えば SiH_4 、 Si_2H_6 、 Si_3H_8 が挙げられる。ハロゲン含有シリコンガスとしては、例えば SiF_4 、 $SiHF_3$ 、 SiH_2F_2 、 SiH_3F 等のフッ素含有シリコンガス、 $SiCl_4$ 、 $SiHCl_3$ 、 SiH_2Cl_2 （DCS）、 SiH_3Cl 等の塩素含有シリコンガス、 $SiBr_4$ 、 $SiHBr_3$ 、 SiH_2Br_2 、 SiH_3Br 等の臭素含有ガスが挙げられる。アミノシラン系ガスとしては、例えばDIPAS（ジイソプロピルアミノシラン）、3DMAS（トリスジメチルアミノシラン）、BTBAS（ビスターシャルブチルアミノシラン）が挙げられる。また、不純物をドープする場合の不純物含有ガスとしては、例えば B_2H_6 、 BCl_3 、 PH_3 、 AsH_3 が挙げられる。

30

【0013】

続いて、基板101を所定温度（例えば、600以上）に加熱して非晶質シリコン膜104を熱処理することにより、非晶質シリコン膜104を多結晶化させて多結晶シリコン膜105を形成する（図1（d）参照）。熱処理は、例えば真空雰囲気で行ってもよく、不活性ガス雰囲気で行ってもよいが、シリコン膜のラフネスを悪化させないように水素雰囲気で行うことが好ましい。所定温度は、非晶質シリコン膜104が多結晶化する温度であればよく、例えば非晶質シリコン膜104を成膜する工程の温度以上であってよい。また、所定温度は、後述する多結晶シリコン膜105を成膜する工程と略同じ温度であることが好ましい。これにより、後述する多結晶シリコン膜105を形成する工程に移行する際に温度を変更する必要がないため、温度の変更に要する時間を削減でき、生産性が向上する。

40

【0014】

50

続いて、基板 101 にシリコン原料ガスを供給して熱処理により多結晶化した多結晶シリコン膜 105 の上に、凹部 102 を埋め込むように多結晶シリコン膜 105 を成膜する（図 1（e）参照）。一実施形態では、例えば CVD 法により、非晶質シリコン膜 104 を成膜する工程における温度よりも高い温度（例えば、600 以上）に基板 101 を加熱した状態で、シリコン原料ガスを供給して凹部 102 を埋め込むように多結晶シリコン膜 105 を成膜する。

【0015】

以上に説明した第 1 の実施形態の成膜方法によれば、凹部 102 に非晶質シリコン膜 104 を成膜し、熱処理して多結晶シリコン膜 105 を形成した後に、凹部 102 に多結晶シリコン膜 105 を成膜して凹部 102 を埋め込む。これにより、非晶質シリコン膜 104 を熱処理する際に凹部 102 が埋め込まれていないため、非晶質シリコン膜 104 が熱処理されることで膜中から水素が脱離して膜収縮が生じて、凹部 102 の幅が縮まる方向にはほとんど力が働かない。そのため、基板 101 の反りを抑制できる。また、凹部 102 に埋め込まれたシリコン膜が多結晶化しているため、例えば後の工程において、基板 101 が高温（例えば 700 以上）に曝されても、膜中からの水素の脱離は生じにくい。そのため、後の工程における基板 101 の反りを抑制できる。

【0016】

これに対し、例えば図 2（a）に示されるように、基板 101 の凹部 102 に非晶質シリコン膜 104 を埋め込んだ場合、埋め込み特性は良好だが、図 2（b）に示されるように、基板 101 には非晶質シリコン膜 104 が成膜された側の面が凸となる反りが生じる。そして、例えば後の工程において、基板 101 が高温（例えば 700 以上）に曝されると、非晶質シリコン膜 104 が多結晶化して多結晶シリコン膜 105 が形成される。このとき、図 3（a）の矢印で示されるように、膜中から水素（ H_2 ）が脱離して凹部 102 の幅が縮まる方向に力が働く。そのため、図 3（b）に示されるように、基板 101 には凹部 102 に多結晶シリコン膜 105 が形成された側の面が凹となる大きな反りが生じる。このように基板 101 に大きな反りが生じると、基板 101 の移載が困難となる。なお、凹部 102 の表面積に占める割合が多いほど、またアスペクト比が大きくなるほど、基板 101 の反りは大きくなる。

【0017】

一方、基板 101 の反り低減という点だけで言えば、凹部 102 に直接多結晶シリコン膜を形成することが考えられる。しかし、例えば、多結晶シリコン膜を形成する基板表面が絶縁膜である場合、直接多結晶シリコン膜を形成すると非常に表面ラフネスが大きい膜となり、その結果、埋め込み特性が悪化する。そのため、反りと埋め込みの両立は難しい。これに対し、第 1 の実施形態の成膜方法のように、表面ラフネスの小さい非晶質シリコン膜を形成した後、熱処理により多結晶化した多結晶シリコン膜はラフネスが小さい状態を維持できる。そして、ラフネスが小さい多結晶シリコン膜上に形成する多結晶シリコンも小さいラフネスを維持して成膜できる。このため、埋め込み特性が良好なシリコン膜の形成が可能となる。

【0018】

また、上記の例では、凹部 102 にシリコン膜を埋め込む場合を説明したが、これに限定されない。例えば、凹部 102 にゲルマニウム膜、シリコンゲルマニウム膜を埋め込む場合にも上記の成膜方法が適用できる。ゲルマニウム膜及びシリコンゲルマニウム膜は、例えばノドープ膜であってもよく、ドープ膜であってもよい。

【0019】

ゲルマニウム膜を埋め込む場合、シリコン原料ガスに代えて、例えばゲルマニウム原料ガスを利用できる。また、ハロゲン含有シリコンガスに代えて、例えばハロゲン含有ゲルマニウムガスを利用できる。また、水素化シリコンガスに代えて、例えば水素化ゲルマニウムガスを利用できる。また、アミノシラン系ガスに代えて、例えばアミノゲルマニウム系ガスを利用できる。

【0020】

10

20

30

40

50

ハロゲン含有ゲルマニウムガスは、例えば GeF_4 、 GeHF_3 、 GeH_2F_2 、 GeH_3F 等のフッ素含有ゲルマニウムガス、 GeCl_4 、 GeHCl_3 、 GeH_2Cl_2 、 GeH_3Cl 等の塩素含有ゲルマニウムガス、 GeBr_4 、 GeHBr_3 、 GeH_2Br_2 、 GeH_3Br 等の臭素含有ガスであってよい。水素化ゲルマニウムガスは、例えば GeH_4 、 Ge_2H_6 、 Ge_3H_8 であってよい。アミノゲルマン系ガスは、例えばDMAG（ジメチルアミノゲルマン）、DEAG（ジエチルアミノゲルマン）、BDMAG（ビスジメチルアミノゲルマン）、BDEAG（ビスジエチルアミノゲルマン）、3DMAG（トリスジメチルアミノゲルマン）であってよい。

【0021】

シリコンゲルマニウム膜を埋め込む場合、シリコン原料ガスに代えて、例えばシリコン原料ガス及びゲルマニウム原料ガスを利用できる。また、ハロゲン含有シリコンに代えて、例えばハロゲン含有シリコンガス及びハロゲン含有ゲルマニウムガスを利用できる。また、水素化シリコンガスに代えて、例えば水素化シリコンガス及び水素化ゲルマニウムガスを利用できる。また、アミノシラン系ガスに代えて、例えばアミノシラン系ガス及びアミノゲルマン系ガスを利用できる。

10

【0022】

（第2の実施形態）

図4を参照し、第2の実施形態の成膜方法について説明する。図4は、第2の実施形態の成膜方法を示す工程断面図である。

【0023】

最初に、表面に凹部202が形成された基板201を準備する（図4（a）参照）。基板201及び凹部202は、第1の実施形態における基板101及び凹部102と同様であってよい。また、凹部202の表面には、例えばシリコン酸化膜（ SiO_2 膜）、シリコン窒化膜（ SiN 膜）等の絶縁膜が形成されていてもよい。

20

【0024】

続いて、基板201にシード層用のシリコン原料ガスを供給して基板201の上にシード層203を成膜する（図4（b）参照）。シード層203を成膜する方法は、第1の実施形態におけるシード層103を成膜する方法と同様であってよい。なお、基板201の上にシード層203を成膜することなく後述の非晶質シリコン膜204を成膜してもよい。

【0025】

続いて、基板201にシリコン原料ガスを供給してシード層203の上に非晶質シリコン膜204を成膜する。非晶質シリコン膜204を成膜する方法は、第1の実施形態における非晶質シリコン膜104を成膜する方法と同様であってよい。

30

【0026】

続いて、基板201にハロゲン含有エッチングガスを供給して凹部202の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜204をエッチングする（図4（c）参照）。これにより、凹部202の上部の開口が広がる。なお、図4（c）では、凹部202の上面に非晶質シリコン膜204が残存する場合を示しているが、凹部202の上面を露出させてもよい。ハロゲン含有エッチングガスは、例えば Cl_2 、 HCl 、 F_2 、 Br_2 、 HBr 、 HI であってよく、これらの混合ガスであってよい。

40

【0027】

続いて、基板201を所定温度に加熱して非晶質シリコン膜204を熱処理することにより、非晶質シリコン膜204を多結晶化させて多結晶シリコン膜205を形成する（図4（d）参照）。熱処理の条件は、第1の実施形態の熱処理の条件と同様であってよい。

【0028】

続いて、基板201にシリコン原料ガスを供給して熱処理により多結晶化した多結晶シリコン膜205の上に、凹部202を埋め込むように多結晶シリコン膜205を成膜する（図4（e）参照）。多結晶シリコン膜205を成膜する方法は、第1の実施形態における多結晶シリコン膜105を成膜する方法と同様であってよい。

【0029】

50

以上に説明した第2の実施形態の成膜方法によれば、凹部202に非晶質シリコン膜204を成膜し、熱処理して多結晶シリコン膜205を形成した後に、凹部202に多結晶シリコン膜205を成膜して凹部202を埋め込む。これにより、非晶質シリコン膜204が熱処理される際に凹部202が埋め込まれていないため、非晶質シリコン膜204が熱処理されることで膜中から水素が脱離して膜収縮が生じて、凹部202の幅が縮まる方向にはほとんど力が働かない。そのため、基板201の反りを抑制できる。また、凹部202に埋め込まれたシリコン膜が多結晶化しているため、例えば後の工程において、基板201が高温（例えば700以上）に曝されても、膜中からの水素の脱離は生じにくい。そのため、後の工程における基板201の反りを抑制できる。

【0030】

また、第2の実施形態では、凹部202に非晶質シリコン膜204を成膜する工程と、非晶質シリコン膜204を熱処理する工程との間に、凹部202の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜204をエッチングする工程が行われる。これにより、非晶質シリコン膜204をエッチングする工程を行わない場合と比較して、凹部202の上部の開口が広がる。そのため、凹部202に多結晶シリコン膜205を埋め込む際に、凹部202内にボイド（空隙）やシーム（継ぎ目）が生じることを抑制できる。

【0031】

（第3の実施形態）

図5を参照し、第3の実施形態の成膜方法について説明する。図5は、第3の実施形態の成膜方法を示す工程断面図である。

【0032】

最初に、表面に凹部302が形成された基板301を準備する（図5（a）参照）。基板301及び凹部302は、第1の実施形態における基板101及び凹部102と同様であってよい。また、凹部302の表面には、例えばシリコン酸化膜（ SiO_2 膜）、シリコン窒化膜（ SiN 膜）等の絶縁膜が形成されていてもよい。

【0033】

続いて、基板301にシード層用のシリコン原料ガスを供給して基板301の上にシード層303を成膜する（図5（b）参照）。シード層303を成膜する方法は、第1の実施形態におけるシード層103を成膜する方法と同様であってよい。なお、基板301の上にシード層303を成膜することなく後述の非晶質シリコン膜304を成膜してもよい。

【0034】

続いて、基板301にシリコン原料ガスを供給してシード層303の上に非晶質シリコン膜304を成膜する。非晶質シリコン膜304を成膜する方法は、第1の実施形態における非晶質シリコン膜104を成膜する方法と同様であってよい。

【0035】

続いて、基板301にハロゲン含有エッチングガスを供給して凹部302の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜304をエッチングする（図5（c）参照）。これにより、凹部302の上部の開口が広がる。非晶質シリコン膜304をエッチングする方法は、第2の実施形態における非晶質シリコン膜204をエッチングする方法と同様であってよい。

【0036】

続いて、基板301を所定温度に加熱して非晶質シリコン膜304を熱処理することにより、非晶質シリコン膜304を多結晶化させて多結晶シリコン膜305を形成する（図5（d）参照）。熱処理の条件は、第1の実施形態の熱処理の条件と同様であってよい。

【0037】

続いて、基板301にシリコン原料ガスを供給して多結晶シリコン膜305の上に非晶質シリコン膜304を成膜する。非晶質シリコン膜304を成膜する方法は、第1の実施形態における非晶質シリコン膜104を成膜する方法と同様であってよい。

【0038】

続いて、基板301にハロゲン含有エッチングガスを供給して凹部302の上部よりも

10

20

30

40

50

下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜 304 をエッチングする（図 5（e）参照）。これにより、凹部 302 の上部の開口が広く、凹部 302 の下部が埋め込まれた V 形状が形成される。非晶質シリコン膜 304 をエッチングする方法は、第 2 の実施形態における非晶質シリコン膜 204 をエッチングする方法と同様であってよい。

【0039】

続いて、基板 301 を所定温度に加熱して非晶質シリコン膜 304 を熱処理することにより、非晶質シリコン膜 304 を多結晶化させて多結晶シリコン膜 305 を形成する（図 5（f）参照）。熱処理の条件は、第 1 の実施形態の熱処理の条件と同様であってよい。

【0040】

続いて、基板 301 にシリコン原料ガスを供給して熱処理により多結晶化した多結晶シリコン膜 305 の上に、凹部 302 を埋め込むように多結晶シリコン膜 305 を成膜する（図 5（g）参照）。多結晶シリコン膜 305 を成膜する方法は、第 1 の実施形態における多結晶シリコン膜 105 を成膜する方法と同様であってよい。

10

【0041】

以上に説明した第 3 の実施形態の成膜方法によれば、凹部 302 に非晶質シリコン膜 304 を成膜し、熱処理して多結晶シリコン膜 305 を形成した後に、凹部 302 に多結晶シリコン膜 305 を成膜して凹部 302 を埋め込む。これにより、非晶質シリコン膜 304 を熱処理する際に凹部 302 が埋め込まれていないため、非晶質シリコン膜 304 が熱処理されることで膜中から水素が脱離して膜収縮が生じても、凹部 302 の幅が縮まる方向にはほとんど力が働かない。そのため、基板 301 の反りを抑制できる。また、凹部 302 に埋め込まれたシリコン膜が多結晶化しているため、例えば後の工程において、基板 301 が高温（例えば 700 以上）に曝されても、膜中からの水素の脱離は生じにくい。そのため、後の工程における基板 301 の反りを抑制できる。

20

【0042】

また、第 3 の実施形態では、凹部 302 に非晶質シリコン膜 304 を成膜する工程、凹部 302 の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜 304 をエッチングする工程及び非晶質シリコン膜 304 を熱処理する工程をこの順序で 2 回行う。これにより、凹部 302 に多結晶シリコン膜 305 を埋め込む際に、凹部 302 内にポイドやシームが生じることを特に抑制できる。また、後の工程における基板 301 の反りを特に抑制できる。

30

【0043】

なお、上記の例では、非晶質シリコン膜 304 を成膜する工程、非晶質シリコン膜 304 をエッチングする工程及び非晶質シリコン膜 304 を熱処理する工程をこの順序で行うサイクルを 2 回繰り返す場合を説明したが、これに限定されない。例えば、上記サイクルを 3 回以上行ってもよい。上記サイクルの回数は、例えば凹部 302 の形状に応じて定めることができる。例えば、凹部 302 の開口が狭い場合や、凹部 302 が樽型の断面形状を有する場合等、凹部 302 の形状が複雑な場合には、上記サイクルを複数回繰り返すことが好ましい。これにより、凹部 302 にポイドやシームが形成されることを抑制できる。

【0044】

（第 4 の実施形態）

40

図 6 を参照し、第 4 の実施形態の成膜方法について説明する。図 6 は、第 4 の実施形態の成膜方法を示す工程断面図である。

【0045】

最初に、表面に凹部 402 が形成された基板 401 を準備する（図 6（a）参照）。基板 401 及び凹部 402 は、第 1 の実施形態における基板 101 及び凹部 102 と同様であってよい。また、凹部 402 の表面には、例えばシリコン酸化膜（SiO₂膜）、シリコン窒化膜（SiN膜）等の絶縁膜が形成されていてもよい。

【0046】

続いて、基板 401 にシード層用のシリコン原料ガスを供給して基板 401 の上にシード層 403 を成膜する（図 6（b）参照）。シード層 403 を成膜する方法は、第 1 の実

50

施形態におけるシード層 103 を成膜する方法と同様であってよい。なお、基板 401 の上にシード層 403 を成膜することなく後述の非晶質シリコン膜 404 を成膜してもよい。

【0047】

続いて、基板 401 にシリコン原料ガスを供給してシード層 403 の上に非晶質シリコン膜 404 を成膜する。非晶質シリコン膜 404 を成膜する方法は、第 1 の実施形態における非晶質シリコン膜 104 を成膜する方法と同様であってよい。

【0048】

続いて、基板 401 にハロゲン含有エッチングガスを供給して凹部 402 の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜 404 をエッチングする（図 6（c）参照）。これにより、凹部 402 の上部の開口が広がる。非晶質シリコン膜 404 をエッチングする方法は、第 2 の実施形態における非晶質シリコン膜 204 をエッチングする方法と同様であってよい。

10

【0049】

続いて、基板 401 を所定温度に加熱して非晶質シリコン膜 404 を熱処理することにより、非晶質シリコン膜 404 を多結晶化させて多結晶シリコン膜 405 を形成する（図 6（d）参照）。熱処理の条件は、第 1 の実施形態の熱処理の条件と同様であってよい。

【0050】

続いて、多結晶シリコン膜 405 の表面に結晶成長を阻害する阻害層 406 を形成する（図 6（e）参照）。阻害層 406 は、例えば多結晶シリコン膜 405 の表面を改質する処理を行うことにより形成される。改質する処理は、例えば基板 401 に酸化剤を供給して多結晶シリコン膜 405 の表面を酸化する処理であってもよく、基板 401 にドーパントを供給して多結晶シリコン膜 405 の表面にドーパ層を形成する処理であってもよい。酸化剤としては、例えば酸素（ O_2 ）、亜酸化窒素（ N_2O ）等の酸化ガスを利用できる。ドーパントとしては、例えばジボラン（ B_2H_6 ）、ホスフィン（ PH_3 ）等のドーパントガスを利用できる。また、阻害層 406 は、例えば多結晶シリコン膜 405 の表面に結晶成長を阻害する膜を成膜することにより形成されてもよい。結晶成長を阻害する膜を成膜する方法は、例えば前述の非晶質シリコン膜 404 を成膜する工程よりも膜中水素濃度が高くなる条件で多結晶シリコン膜 405 の表面に非晶質シリコン膜を成膜する工程であってよい。例えば、シリコン原料ガスとして非晶質シリコン膜 404 を成膜する工程より多くの水素を含有する高次水素化シリコンガスを用いる。また、非晶質シリコン膜 404 を成膜する工程より低い温度で成膜する方法もある。シリコン原料ガスと同時に水素含有ガスを供給することでも良い。

20

30

【0051】

続いて、基板 401 にシリコン原料ガスを供給して阻害層 406 の上に非晶質シリコン膜 404 を成膜する。非晶質シリコン膜 404 を成膜する方法は、第 1 の実施形態における非晶質シリコン膜 104 を成膜する方法と同様であってよい。

【0052】

続いて、基板 401 にハロゲン含有エッチングガスを供給して凹部 402 の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜 404 をエッチングする（図 6（f）参照）。これにより、凹部 402 の上部の開口が広く、凹部 402 の下部が埋め込まれた V 形状が形成される。非晶質シリコン膜 404 をエッチングする方法は、第 2 の実施形態における非晶質シリコン膜 204 をエッチングする方法と同様であってよい。

40

【0053】

続いて、基板 401 を所定温度に加熱して非晶質シリコン膜 404 を熱処理することにより、非晶質シリコン膜 404 を多結晶化させて多結晶シリコン膜 405 を形成する（図 6（g）参照）。熱処理の条件は、第 1 の実施形態の熱処理の条件と同様であってよい。

【0054】

続いて、基板 401 にシリコン原料ガスを供給して熱処理により多結晶化した多結晶シリコン膜 405 の上に、凹部 402 を埋め込むように多結晶シリコン膜 405 を成膜する（図 6（h）参照）。多結晶シリコン膜 405 を成膜する方法は、第 1 の実施形態におけ

50

る多結晶シリコン膜 105 を成膜する方法と同様であってよい。

【0055】

以上に説明した第4の実施形態の成膜方法によれば、凹部402に非晶質シリコン膜404を成膜し、熱処理して多結晶シリコン膜405を形成した後に、凹部402に多結晶シリコン膜405を成膜して凹部402を埋め込む。これにより、非晶質シリコン膜404を熱処理する際に凹部402が埋め込まれていないため、非晶質シリコン膜404が熱処理されることで膜中から水素が脱離して膜収縮が生じても、凹部402の幅が縮まる方向にはほとんど力が働かない。そのため、基板401の反りを抑制できる。また、凹部402に埋め込まれたシリコン膜が多結晶化しているため、例えば後の工程において、基板401が高温（例えば700以上）に曝されても、膜中からの水素の脱離は生じにくい。そのため、後の工程における基板401の反りを抑制できる。

10

【0056】

また、第4の実施形態では、凹部402に非晶質シリコン膜404を成膜する工程、凹部402の上部よりも下部の膜厚が厚くなるように非晶質シリコン膜404をエッチングする工程及び非晶質シリコン膜404を熱処理する工程をこの順序で2回行う。これにより、凹部402に多結晶シリコン膜405を埋め込む際に、凹部402内にポイドやシームが生じることを特に抑制できる。

【0057】

また、第4の実施形態では、1回目の非晶質シリコン膜404を熱処理する工程と2回目の非晶質シリコン膜404を成膜する工程との間に、熱処理により形成された多結晶シリコン膜405の表面に結晶成長を阻害する阻害層406を形成する工程を行う。これにより、熱処理により形成された多結晶シリコン膜405の上であっても容易に非晶質シリコン膜404を成膜できる。これにより、エッチングする工程でエッチングするシリコン膜が非晶質であるためラフネス良くエッチングすることができ、その結果、より良好な埋め込みを行うことができる。

20

【0058】

なお、上記の例では、非晶質シリコン膜404を成膜する工程、非晶質シリコン膜404をエッチングする工程及び非晶質シリコン膜404を熱処理する工程をこの順序で行うサイクルを2回繰り返す場合を説明したが、これに限定されない。例えば、上記サイクルを3回以上行ってもよい。上記サイクルの回数は、例えば凹部402の形状に応じて定めることができる。例えば、凹部402の開口が狭い場合や、凹部402が樽型の断面形状を有する場合等、凹部402の形状が複雑な場合には、上記サイクルを複数回繰り返すことが好ましい。これにより、凹部402にポイドやシームが形成されることを抑制できる。

30

【0059】

〔熱処理装置〕

上記の成膜方法を実施できる熱処理装置について、多数枚の基板に対して一括で熱処理を行うバッチ式の装置を例に挙げて説明する。但し、熱処理装置は、バッチ式の装置に限定されるものではない。例えば、基板を1枚ずつ処理する枚葉式の装置であってもよい。また、例えば処理容器内の回転テーブルの上に配置した複数のウエハを回転テーブルにより公転させ、原料ガスが供給される領域と、原料ガスと反応する反応ガスが供給される領域とを順番に通過させて基板の上に成膜するセミバッチ式の装置であってもよい。

40

【0060】

図7は、一実施形態の成膜方法を実施するための熱処理装置の一例を示す図である。図8は、図7の熱処理装置の処理容器を説明するための図である。

【0061】

図7に示されるように、熱処理装置1は、処理容器34と、蓋体36と、ウエハポート38と、ガス供給部40と、排気部41と、加熱部42とを有する。

【0062】

処理容器34は、ウエハポート38を収容する処理容器である。ウエハポート38は、多数枚の半導体ウエハ（以下「ウエハW」という。）を所定の間隔で保持する基板保持具

50

である。処理容器 3 4 は、下端が開放された有天井の円筒形状の内管 4 4 と、下端が開放されて内管 4 4 の外側を覆う有天井の円筒形状の外管 4 6 とを有する。内管 4 4 及び外管 4 6 は、石英等の耐熱性材料により形成されており、同軸状に配置されて二重管構造となっている。

【 0 0 6 3 】

内管 4 4 の天井部 4 4 A は、例えば平坦になっている。内管 4 4 の一側には、その長手方向（上下方向）に沿ってガス供給管を収容するノズル収容部 4 8 が形成されている。例えば図 8 に示されるように、内管 4 4 の側壁の一部を外側へ向けて突出させて凸部 5 0 を形成し、凸部 5 0 内をノズル収容部 4 8 として形成している。ノズル収容部 4 8 に対向させて内管 4 4 の反対側の側壁には、その長手方向（上下方向）に沿って幅 L 1 の矩形の開口 5 2 が形成されている。

10

【 0 0 6 4 】

開口 5 2 は、内管 4 4 内のガスを排気できるように形成されたガス排気口である。開口 5 2 の長さは、ウエハポート 3 8 の長さと同じであるか、又は、ウエハポート 3 8 の長さよりも長く上下方向へそれぞれ延びるようにして形成されている。即ち、開口 5 2 の上端は、ウエハポート 3 8 の上端に対応する位置以上の高さに延びて位置され、開口 5 2 の下端は、ウエハポート 3 8 の下端に対応する位置以下の高さに延びて位置されている。具体的には、図 7 に示されるように、ウエハポート 3 8 の上端と開口 5 2 の上端との間の高さ方向の距離 L 2 は 0 mm ~ 5 mm 程度の範囲内である。また、ウエハポート 3 8 の下端と開口 5 2 の下端との間の高さ方向の距離 L 3 は 0 mm ~ 3 5 0 mm 程度の範囲内である。

20

【 0 0 6 5 】

処理容器 3 4 の下端は、例えばステンレス鋼により形成される円筒形状のマニホールド 5 4 によって支持されている。マニホールド 5 4 の上端にはフランジ部 5 6 が形成されており、フランジ部 5 6 上に外管 4 6 の下端を設置して支持するようになっている。フランジ部 5 6 と外管 4 6 との下端との間には O リング等のシール部材 5 8 を介在させて外管 4 6 内を気密状態にしている。

【 0 0 6 6 】

マニホールド 5 4 の上部の内壁には、円環状の支持部 6 0 が設けられており、支持部 6 0 上に内管 4 4 の下端を設置してこれを支持するようになっている。マニホールド 5 4 の下端の開口には、蓋体 3 6 が O リング等のシール部材 6 2 を介して気密に取り付けられており、処理容器 3 4 の下端の開口、即ち、マニホールド 5 4 の開口を気密に塞ぐようになっている。蓋体 3 6 は、例えばステンレス鋼により形成される。

30

【 0 0 6 7 】

蓋体 3 6 の中央部には、磁性流体シール部 6 4 を介して回転軸 6 6 が貫通させて設けられている。回転軸 6 6 の下部は、ポートエレベータよりなる昇降部 6 8 のアーム 6 8 A に回転自在に支持されている。

【 0 0 6 8 】

回転軸 6 6 の上端には回転プレート 7 0 が設けられており、回転プレート 7 0 上に石英製の保温台 7 2 を介してウエハ W を保持するウエハポート 3 8 が載置されるようになっている。従って、昇降部 6 8 を昇降させることによって蓋体 3 6 とウエハポート 3 8 とは一体として上下動し、ウエハポート 3 8 を処理容器 3 4 内に対して挿脱できるようになっている。

40

【 0 0 6 9 】

ガス供給部 4 0 は、マニホールド 5 4 に設けられており、内管 4 4 内へ成膜ガス、エッチングガス等の処理ガスや、パージガスを導入する。ガス供給部 4 0 は、複数（例えば 3 本）の石英製のガス供給管 7 6 , 7 8 , 8 0 を有している。各ガス供給管 7 6 , 7 8 , 8 0 は、内管 4 4 内にその長手方向に沿って設けられると共に、その基端が L 字状に屈曲されてマニホールド 5 4 を貫通するようにして支持されている。

【 0 0 7 0 】

ガス供給管 7 6 , 7 8 , 8 0 は、図 8 に示されるように、内管 4 4 のノズル収容部 4 8

50

内に周方向に沿って一列になるように設置されている。各ガス供給管 76, 78, 80 には、その長手方向に沿って所定の間隔で複数のガス孔 76A, 78A, 80A が形成されており、各ガス孔 76A, 78A, 80A より水平方向に向けて各ガスを放出できるようになっている。所定の間隔は、例えばウエハポート 38 に支持されるウエハ W の間隔と同じになるように設定される。また、高さ方向の位置は、各ガス孔 76A, 78A, 80A が上下方向に隣り合うウエハ W 間の中間に位置するように設定されており、各ガスをウエハ W 間の空間部に効率的に供給できるようになっている。ガスの種類としては、成膜ガス、エッチングガス、及びパージガスが用いられ、各ガスを流量制御しながら必要に応じて各ガス供給管 76, 78, 80 を介して供給できるようになっている。

【0071】

マニホールド 54 の上部の側壁であって、支持部 60 の上方には、ガス出口 82 が形成されており、内管 44 と外管 46 との間の空間部 84 を介して開口 52 より排出される内管 44 内のガスを排気できるようになっている。ガス出口 82 には、排気部 41 が設けられる。排気部 41 は、ガス出口 82 に接続された排気通路 86 を有しており、排気通路 86 には、圧力調整弁 88 及び真空ポンプ 90 が順次介設されて、処理容器 34 内を真空引きできるようになっている。

【0072】

外管 46 の外周側には、外管 46 を覆うように円筒形状の加熱部 42 が設けられている。加熱部 42 は、処理容器 34 内に收容されるウエハ W を加熱する。

【0073】

熱処理装置 1 の全体の動作は、制御部 95 により制御される。制御部 95 は、例えばコンピュータ等であってよい。また、熱処理装置 1 の全体の動作を行うコンピュータのプログラムは、記憶媒体 96 に記憶されている。記憶媒体 96 は、例えばフレキシブルディスク、コンパクトディスク、ハードディスク、フラッシュメモリ、DVD 等であってよい。

【0074】

係る熱処理装置 1 により、表面に凹部を有するウエハ W に半導体膜を埋め込む方法の一例を説明する。まず、昇降部 68 により多数枚のウエハ W を保持したウエハポート 38 を処理容器 34 の内部に搬入し、蓋体 36 により処理容器 34 の下端の開口を気密に塞ぎ密閉する。続いて、制御部 95 により、前述の第 1 の実施形態から第 4 の実施形態の成膜方法を実行するように、ガス供給部 40、排気部 41、加熱部 42 等の動作が制御される。これにより、ウエハ W の反りを低減しつつ、埋め込み特性が良好な半導体膜を形成できる。

【0075】

なお、上記の実施形態において、非晶質シリコン膜 104, 204, 304, 404 は非晶質半導体膜の一例であり、多結晶シリコン膜 105, 205, 305, 405 は多結晶半導体膜の一例である。

【0076】

今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその趣旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

【0077】

上記の実施形態では、基板が半導体基板である場合を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、基板はフラットパネルディスプレイ (FPD: Flat Panel Display) 用の大型基板、EL 素子又は太陽電池用の基板であってもよい。

【符号の説明】

【0078】

- 1 熱処理装置
- 34 処理容器
- 40 ガス供給部
- 42 加熱部
- 95 制御部

10

20

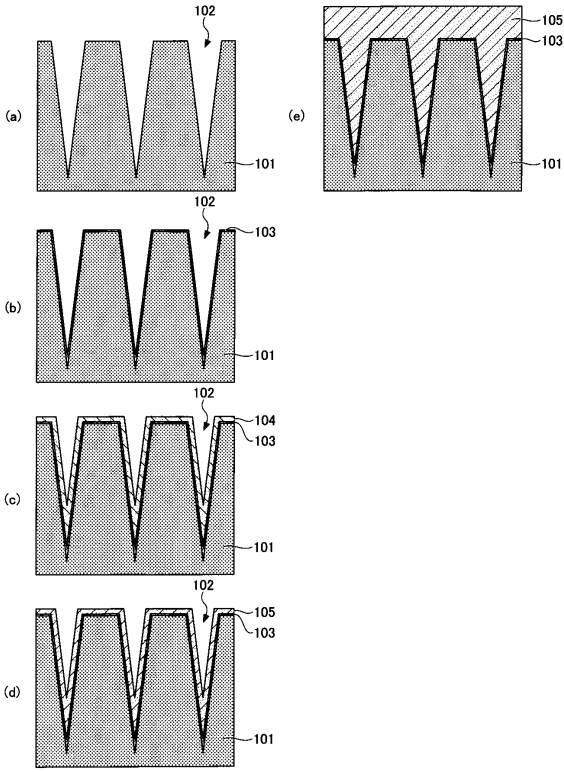
30

40

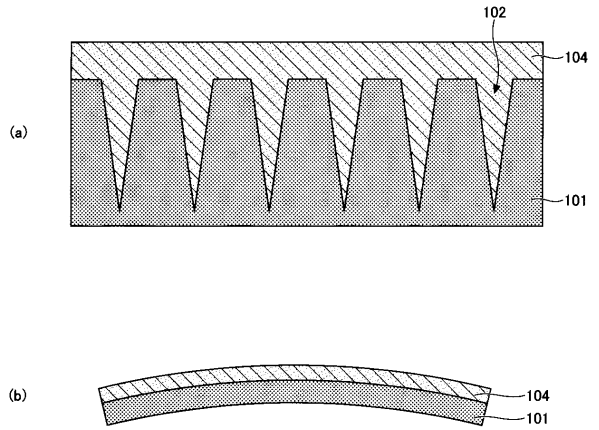
50

【図面】

【図 1】



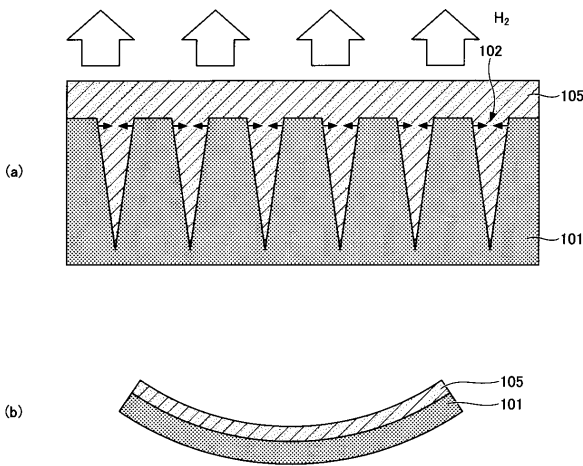
【図 2】



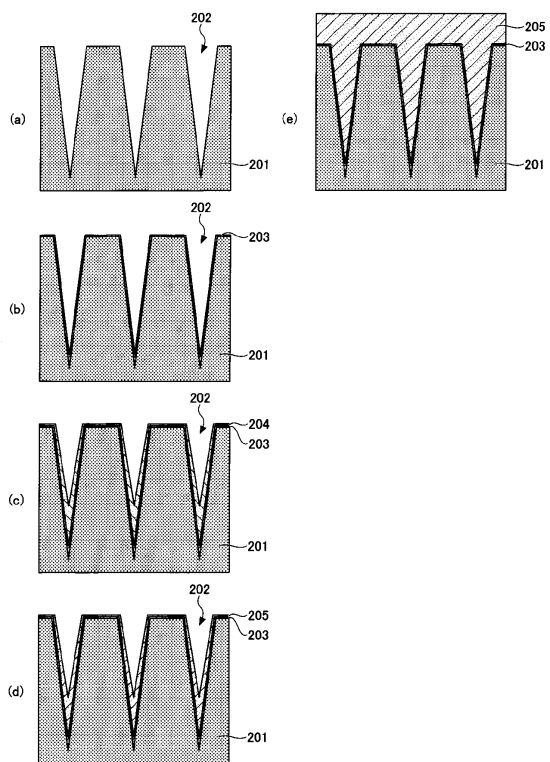
10

20

【図 3】



【図 4】

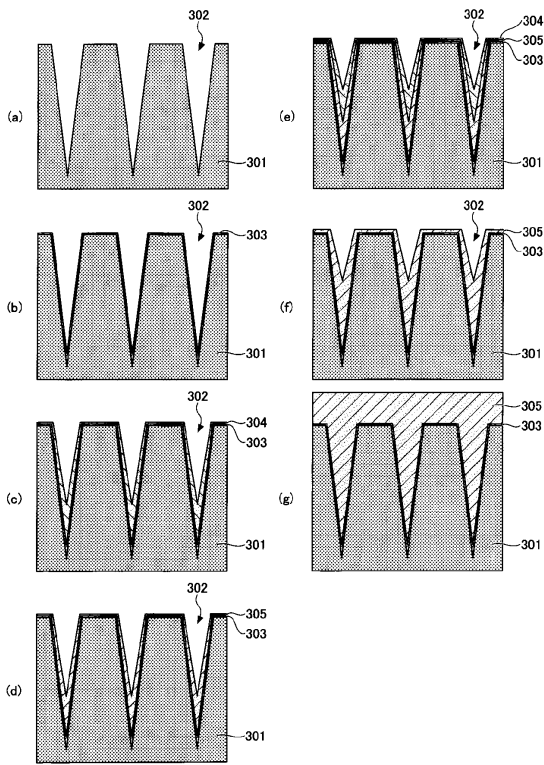


30

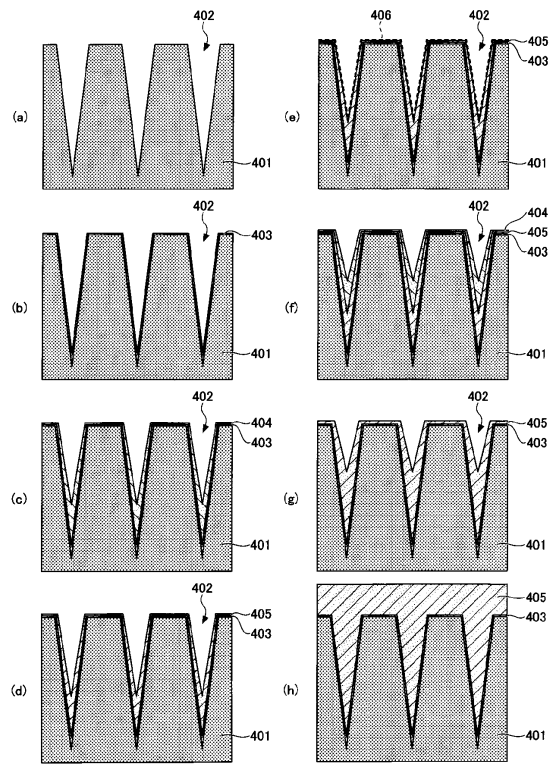
40

50

【図5】



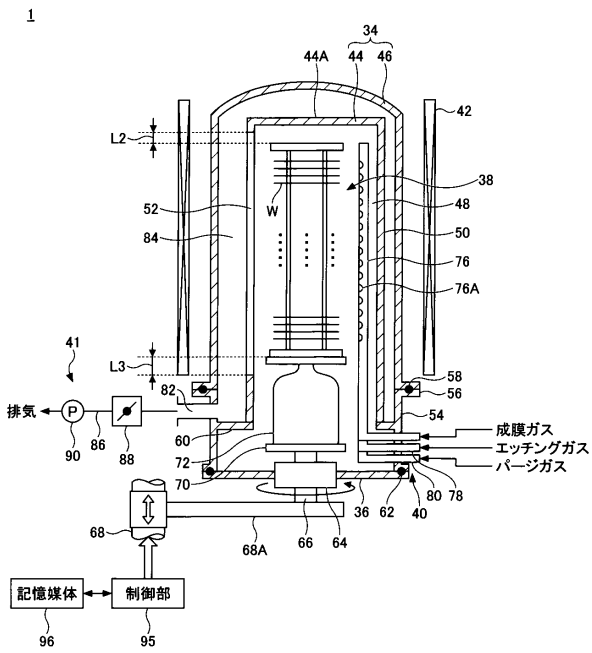
【図6】



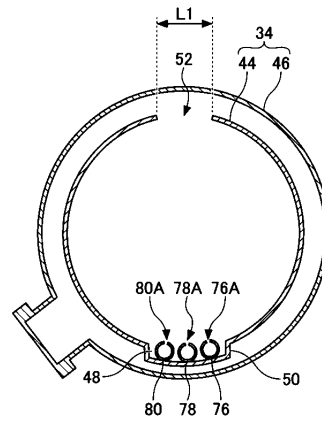
10

20

【図7】



【図8】



30

40

50

フロントページの続き

審査官 宇多川 勉

- (56)参考文献 特開昭63-313847(JP,A)
特開2016-039315(JP,A)
特開2014-229857(JP,A)
特開2000-269462(JP,A)
特開昭62-093954(JP,A)
特開2008-091917(JP,A)
特表2018-533219(JP,A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/205

H01L 21/20

C23C 16/24

C23C 16/28

C23C 16/56