

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7110034号
(P7110034)

(45)発行日 令和4年8月1日(2022.8.1)

(24)登録日 令和4年7月22日(2022.7.22)

(51)国際特許分類

H 0 1 L	21/3065(2006.01)	F I	H 0 1 L	21/302	1 0 5 A
H 0 5 H	1/46 (2006.01)		H 0 1 L	21/302	1 0 1 B
			H 0 5 H	1/46	M

請求項の数 13 (全25頁)

(21)出願番号 特願2018-157570(P2018-157570)
 (22)出願日 平成30年8月24日(2018.8.24)
 (65)公開番号 特開2020-31190(P2020-31190A)
 (43)公開日 令和2年2月27日(2020.2.27)
 審査請求日 令和3年5月12日(2021.5.12)

(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 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 100122507
 弁理士 柏岡 潤二
 (72)発明者 岩野 光紘
 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
 細谷 正徳
 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
 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 エッティングする方法及びプラズマ処理装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板の第1領域を該第1領域の材料とは異なる材料から形成された該基板の第2領域に対して選択的にエッティングする方法であって、

前記第1領域が前記第2領域よりも前記基板内のより深い位置でその上面を提供するよう、プラズマエッティングによって前記第1領域をエッティングする工程と、

前記第1領域をエッティングする前記工程の実行後に、前記基板がその中に配置されたプラズマ処理装置のチャンバ内で炭化水素ガスのプラズマを生成することにより、前記基板上に炭素を含む堆積物を形成する工程と、

炭化水素ガスのプラズマを生成する前記工程の実行後に、プラズマエッティングによって、前記第1領域を更にエッティングする工程と、

を含み、

堆積物を形成する前記工程では、電磁石により、前記基板の中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を前記基板のエッジ側の上で有する磁場の分布が形成される、方法。

【請求項2】

前記第1領域は、シリコン含有材料から形成されている、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第2領域は、金属含有材料から形成されている、請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記第1領域は、酸化シリコンから形成されており、前記第2領域は、窒化シリコンから形成されている、請求項2に記載の方法。

【請求項5】

前記第1領域をエッティングする前記工程では、前記基板がその中に配置された前記チャンバ内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成される、請求項2～4の何れか一項に記載の方法。

【請求項6】

前記第1領域を更にエッティングする前記工程では、前記基板がその中に配置された前記チャンバ内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成される、請求項5に記載の方法。

10

【請求項7】

前記第1領域をエッティングする前記工程及び前記第1領域を更にエッティングする前記工程の少なくとも一方は、

前記基板上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成するために、前記基板がその中に配置された前記チャンバ内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成する工程と、

前記基板に希ガスイオンを供給することにより前記基板上に形成された前記堆積物中のフルオロカーボンと前記シリコン含有材料を反応させて前記第1領域をエッティングするために、前記チャンバ内で希ガスのプラズマを生成する工程と、

を含む、請求項2～4の何れか一項に記載の方法。

20

【請求項8】

堆積物を形成する前記工程と前記第1領域を更にエッティングする前記工程とが交互に繰り返される、請求項1～7の何れか一項に記載の方法。

【請求項9】

基板の第1領域を該第1領域の材料とは異なる材料から形成された該基板の第2領域に對して選択的にエッティングするためのプラズマ処理装置であって、

チャンバと、

下部電極を有し、前記チャンバ内に設けられた基板支持台と、

前記チャンバ内にガスを供給するように構成されたガス供給部と、

前記チャンバ内のガスを励起させるために高周波電力を発生するように構成された高周波電源と、

30

前記チャンバの内部空間の中で磁場を形成するよう構成された電磁石と、

前記電磁石に電流を供給するように構成された駆動電源と、

前記ガス供給部、前記高周波電源、及び前記駆動電源を制御するように構成された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

前記第1領域が前記第2領域よりも前記基板内のより深い位置でその上面を提供するよう、プラズマエッティングによって前記第1領域をエッティングするために、前記ガス供給部及び前記高周波電源を制御することを含む第1の制御を実行し、

前記第1領域をエッティングした後に、前記第2領域上に炭素を含む堆積物を形成するために、炭化水素ガスのプラズマを生成するよう、前記ガス供給部及び前記高周波電源を制御することを含む第2の制御を実行し、

前記第2領域上に前記堆積物を形成した後に、プラズマエッティングによって、前記第1領域を更にエッティングするために、前記ガス供給部及び前記高周波電源を制御することを含む第3の制御を実行する、

よう構成されており、

前記第2の制御は、前記炭化水素ガスの前記プラズマの生成中に、前記電磁石により、前記基板の中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を前記基板のエッジ側の上で有する磁場の分布を形成するよう前記駆動電源を制御することを含む、

40

50

プラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記第1領域はシリコン含有材料から形成されており、
前記第1の制御は、前記チャンバ内でフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマ
を生成するよう、前記ガス供給部及び前記高周波電源を制御することを含む、
請求項9に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】

前記第3の制御は、前記チャンバ内でフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマ
を生成するよう、前記ガス供給部及び前記高周波電源を制御することを含む、
請求項10に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 12】

前記第1領域はシリコン含有材料から形成されており、
前記第1の制御及び前記第3の制御のうち少なくとも一方は、
前記基板上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成するために、前記チャンバ内で、
フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成するよう、前記ガス供給部及び前
記高周波電源を制御すること、及び、

前記基板に希ガスイオンを供給することにより前記基板上に形成された前記堆積物中の
フルオロカーボンと前記シリコン含有材料を反応させて前記第1領域をエッティングする
ために、前記チャンバ内で希ガスのプラズマを生成するよう、前記ガス供給部及び前記高
周波電源を制御すること、
を含む、

20

請求項9に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 13】

前記制御部は、前記第2の制御と前記第3の制御とを交互に繰り返す、請求項9～12
の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の例示的実施形態は、エッティング方法及びプラズマ処理装置に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造においては、プラズマ処理装置を用いたプラズマエッティングが行わ
れる。プラズマエッティングでは、基板の第1領域が当該基板の第2領域に対して選択的に
エッティングされる。第2領域は、第1領域の材料とは異なる材料から形成されている。特
許文献1には、酸化シリコンから形成された第1領域を、窒化シリコンから形成された第
2領域に対して選択的にエッティングする方法が記載されている。

【0003】

特許文献1に記載された方法では、基板上にフルオロカーボンの堆積物が形成される。
堆積物を形成するために、プラズマ処理装置のチャンバ内ではフルオロカーボンガスの
プラズマが生成される。次いで、希ガスのイオンが基板に供給される。希ガスのイオンを
生成するために、チャンバ内で希ガスのプラズマが生成される。希ガスイオンが基板に供給
されることにより、堆積物中のフルオロカーボンと第1領域の酸化シリコンとが反応する
。その結果、第1領域がエッティングされる。一方、第2領域は、堆積物によって保護され
る。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2016-136606号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0005】

基板に対して適用されるエッティングの選択性及び当該エッティングの面内均一性を向上させることが求められている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一つの例示的実施形態において、基板の第1領域を第1領域の材料とは異なる材料から形成された基板の第2領域に対して選択的にエッティングする方法が提供される。方法は、第1領域が第2領域よりも基板内のより深い位置でその上面を提供するよう、プラズマエッティングによって第1領域をエッティングする工程を含む。方法は、第1領域をエッティングする工程の実行後に、基板がその中に配置されたプラズマ処理装置のチャンバ内で炭化水素ガスのプラズマを生成することにより、基板上に炭素を含む堆積物を形成する工程を更に含む。方法は、炭化水素ガスのプラズマを生成する工程の実行後に、プラズマエッティングによって、第1領域を更にエッティングする工程を更に含む。堆積物を形成する工程では、電磁石により、基板の中心の上の水平成分よりも大きい水平成分を基板のエッジ側の上で有する磁場の分布が形成される。

10

【発明の効果】

【0007】

一つの例示的実施形態によれば、基板に対して適用されるエッティングの選択性及び当該エッティングの面内均一性を向上させることが可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】一つの例示的実施形態に係るエッティングする方法を示す流れ図である。

【図2】一例の基板の部分断面図である。

【図3】一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【図4】図3に示すプラズマ処理装置の接地導体の内部の構成の一例を示す平面図である。

【図5】図1に示す工程ST1及び工程ST3の各々において実行され得る処理の例を示す流れ図である。

【図6】図6の(a)は、方法MTの工程ST1において図5に示す工程STaが適用された一例の基板の部分断面図であり、図6の(b)は、方法MTの工程ST1において図5に示す工程STbが適用された一例の基板の部分断面図である。

30

【図7】方法MTの工程ST1が適用された一例の基板の部分断面図である。

【図8】方法MTの工程ST2が適用された一例の基板の部分断面図である。

【図9】図9の(a)は、方法MTの工程ST3において工程STaが適用された一例の基板の部分断面図であり、図9の(b)は方法MTの工程ST3において工程STbが適用された一例の基板の部分断面図である。

【図10】方法MTの工程ST3が適用された一例の基板の部分断面図である。

【図11】別の例の基板の部分断面図である。

【図12】図12の(a)は、方法MTの工程ST1において工程STaが適用された別の例の基板の部分断面図であり、図12の(b)は、方法MTの工程ST1において工程STbが適用された別の例の基板の部分断面図である。

40

【図13】方法MTの工程ST1が適用された別の例の基板の部分断面図である。

【図14】方法MTの工程ST2が適用された別の例の基板の部分断面図である。

【図15】図15の(a)は、方法MTの工程ST3において工程STaが適用された別の例の基板の部分断面図であり、図15の(b)は、方法MTの工程ST3において工程STbが適用された別の例の基板の部分断面図である。

【図16】方法MTの工程ST3が適用された別の例の基板の部分断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、種々の例示的実施形態について説明する。

【0010】

50

一つの例示的実施形態において、基板の第1領域を第1領域の材料とは異なる材料から形成された基板の第2領域に対して選択的にエッティングする方法が提供される。方法は、第1領域が第2領域よりも基板内のより深い位置でその上面を提供するよう、プラズマエッティングによって第1領域をエッティングする工程を含む。方法は、第1領域をエッティングする工程の実行後に、基板がその中に配置されたプラズマ処理装置のチャンバ内で炭化水素ガスのプラズマを生成することにより、基板上に炭素を含む堆積物を形成する工程を更に含む。方法は、炭化水素ガスのプラズマを生成する工程の実行後に、プラズマエッティングによって、第1領域を更にエッティングする工程を更に含む。堆積物を形成する工程では、電磁石により、基板の中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を基板のエッジ側の上で有する磁場の分布が形成される。

10

【0011】

上記例示的実施形態に係る方法では、堆積物は、炭化水素ガスのプラズマからの炭素化学種から形成される。また、第1領域は第2領域よりも基板内のより深い位置で延在しているので、堆積物の厚みは、第2領域上では大きく、第1領域上では小さくなる。この堆積物によって第2領域が保護されつつ第1領域が更にエッティングされる。したがって、基板の第2領域に対する基板の第1領域のエッティングの選択性が高くなる。また、炭化水素ガスのプラズマの生成中には、電磁石により、基板の中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を基板のエッジ側の上で有する磁場の分布が形成される。したがって、基板のエッジ側の上でプラズマの密度が高められる。その結果、径方向におけるプラズマの密度の分布が均一化される。このような分布を有するプラズマからの炭素化学種が基板上に堆積するので、堆積物の厚みの面内均一性が高められる。故に、基板の第2領域に対する基板の第1領域の選択的なエッティングの面内均一性が高くなる。

20

【0012】

一つの例示的実施形態において、第1領域は、シリコン含有材料から形成されていてもよい。

【0013】

一つの例示的実施形態において、第2領域は、金属含有材料から形成されていてもよい。

【0014】

一つの例示的実施形態において、第1領域は、酸化シリコンから形成されていてもよく、第2領域は、窒化シリコンから形成されていてもよい。

30

【0015】

第1領域をエッティングする工程では、基板がその中に配置されたチャンバ内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成されてもよい。

【0016】

第1領域を更にエッティングする工程では、基板がその中に配置されたチャンバ内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成されてもよい。

【0017】

一つの例示的実施形態において、第1領域をエッティングする工程及び第1領域を更にエッティングする工程の少なくとも一方は、基板上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成するために、基板がその中に配置されたチャンバ内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成する工程と、基板に希ガスイオンを供給することにより基板上に形成された堆積物中のフルオロカーボンとシリコン含有材料を反応させて第1領域をエッティングするために、チャンバ内で希ガスのプラズマを生成する工程と、を含んでいてもよい。

40

【0018】

一つの例示的実施形態において、堆積物を形成する工程の実行と第1領域を更にエッティングする工程とが交互に繰り返されてもよい。

【0019】

別の例示的実施形態においては、基板の第1領域を第1領域の材料とは異なる材料から形成された該基板の第2領域に対して選択的にエッティングするためのプラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持台、ガス供給部、高周波電源、電

50

磁石、駆動電源、及び制御部を備える。基板支持台は、下部電極を有し、チャンバ内に設けられている。ガス供給部は、チャンバ内にガスを供給するように構成されている。高周波電源は、チャンバ内のガスを励起させるために高周波電力を発生するように構成されている。電磁石は、チャンバの内部空間の中で磁場を形成するよう構成されている。駆動電源は、電磁石に電流を供給するように構成されている。制御部は、ガス供給部、高周波電源、及び駆動電源を制御するように構成されている。制御部は、第1の制御、第2の制御、及び第3の制御を実行するように構成されている。第1の制御は、第1領域が第2領域よりも基板内のより深い位置でその上面を提供するよう、プラズマエッチングによって第1領域をエッチングするために、ガス供給部及び高周波電源を制御することを含む。第2の制御は、第1領域をエッチングした後に、第2領域上に炭素を含む堆積物を形成するために、炭化水素ガスのプラズマを生成するよう、ガス供給部及び高周波電源を制御することを含む。第3の制御は、第2領域上に堆積物を形成した後に、プラズマエッチングによって、第1領域を更にエッチングするために、ガス供給部及び高周波電源を制御することを含む。第2の制御は、炭化水素ガスのプラズマの生成中に、電磁石により、基板の中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を基板のエッジ側の上で有する磁場の分布を形成するよう駆動電源を制御することを含む。

【0020】

一つの例示的実施形態において、第1領域はシリコン含有材料から形成されていてよい。第1の制御は、チャンバ内でフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成するよう、ガス供給部及び高周波電源を制御することを含んでいてよい。第3の制御は、チャンバ内でフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成するよう、ガス供給部及び高周波電源を制御することを含んでいてよい。

【0021】

一つの例示的実施形態において、第1領域はシリコン含有材料から形成されていてよい。第1の制御及び第3の制御のうち少なくとも一方は、基板上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成するために、チャンバ内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成するよう、ガス供給部及び高周波電源を制御すること、及び、基板に希ガスイオンを供給することにより基板上に形成された堆積物中のフルオロカーボンとシリコン含有材料を反応させて第1領域をエッチングするために、チャンバ内で希ガスのプラズマを生成するよう、ガス供給部及び高周波電源を制御すること、を含んでいてよい。

【0022】

一つの例示的実施形態において、制御部は、第2の制御と第3の制御とを交互に繰り返してもよい。

【0023】

以下、図面を参照して種々の例示的実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

【0024】

図1は、一つの例示的実施形態に係るエッチングする方法を示す流れ図である。一実施形態に係るエッチングする方法（以下、「方法MT」という）は、基板の第1領域を第2領域に対して選択的にエッチングするために実行される。

【0025】

図2は、一例の基板の部分断面図である。図2に示す一例の基板Wは、方法MTによって処理され得る。基板Wは、ウエハのように円盤形状を有し得る。基板Wは、第1領域R1及び第2領域R2を有する。基板Wは、下地領域URを更に有していてよい。第1領域R1及び第2領域R2は、下地領域URの上に設けられている。一実施形態において、第1領域R1は、下地領域UR上に設けられており、第2領域R2は、第1領域R1上に設けられている。第2領域R2は、マスクのようにパターニングされている。即ち、第2領域R2は、開口を提供している。別の実施形態では、第1領域R1は、第2領域R2によって提供される凹部を埋めるように形成されていてよい。さらに、第1領域R1は、第2領域を覆うように形成されていてよい。

【0026】

第1領域R1は、選択的にエッティングされるべき領域である。第2領域R2は、第1領域R1の材料とは異なる材料から形成されている。第1領域R1の材料及び第2領域R2の材料は限定されるものではない。第1領域R1は、例えばシリコン含有材料から形成されている。第1領域R1のシリコン含有材料は、例えばSiO₂である。第1領域R1のシリコン含有材料は、低誘電率材料であってもよい。低誘電率材料は、例えばSiOC又はSiOCHである。

【0027】

第2領域R2は、例えば金属含有材料から形成されている。金属含有材料は、例えばチタン、タンゲステン、ジルコニウム、アルミニウム、タンタル、コバルト、若しくはルテニウムのうち何れかの金属材料、又は当該金属材料の酸化物、窒化物、若しくは炭化物である。第2領域R2は、窒化シリコンから形成されていてもよい。

10

【0028】

方法MTは、プラズマ処理装置のチャンバ内に基板が配置された状態で実行される。図3は、一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図3に示すプラズマ処理装置1は、チャンバ10を備えている。チャンバ10は、内部空間10sを提供する容器である。チャンバ10は、略円筒形状を有している。図3に示す中心軸線AXは、チャンバ10及び内部空間10sの中心軸線である。

20

【0029】

チャンバ10は、チャンバ本体12を有する。チャンバ本体12は、略円筒形状を有している。チャンバ10の内部空間10sは、チャンバ本体12の内側に提供されている。チャンバ本体12は、側壁12a及び底部12bを含んでいる。側壁12aは、チャンバ10の側壁を構成している。底部12bは、チャンバ10の底部を構成している。チャンバ本体12は、例えばアルミニウムといった金属から形成されている。チャンバ本体12の内壁面には、耐プラズマ性を有する膜が形成されている。この膜は、アルマイド膜、酸化イットリウム製の膜といったセラミック製の膜であり得る。チャンバ本体12は、接地されている。

【0030】

側壁12aには、通路12pが形成されている。基板Wは、内部空間10sとチャンバ10の外部との間で搬送されるときに、通路12pを通過する。通路12pは、ゲートバルブ12gによって開閉可能である。ゲートバルブ12gは、側壁12aに沿って設けられている。

30

【0031】

内部空間10sの中には、基板支持台、即ち支持台14が設けられている。支持台14は、支持体15によって支持されている。支持体15は、円筒形状を有している。支持体15は、チャンバ本体12の底部12bから上方に延びている。支持体15は、絶縁性を有している。支持体15は、例えばセラミックから形成されている。

【0032】

支持台14は、基板Wを支持するように構成されている。支持台14は、チャンバ10と中心軸線AXを共有している。支持台14は、載置領域14rを提供している。この載置領域14rの中心は、中心軸線AX上に位置する。基板Wは、その中心が中心軸線AX上に位置するように、載置領域14r上に載置される。

40

【0033】

支持台14は、電極プレート16、下部電極18、及び静電チャック20を含んでいる。電極プレート16は、略円盤形状を有している。電極プレート16は、導電性を有している。電極プレート16は、アルミニウムといった金属から形成されている。下部電極18は、円盤形状を有している。下部電極18は、導電性を有している。下部電極18は、アルミニウムといった金属から形成されている。下部電極18は、電極プレート16上に搭載されている。下部電極18は、電極プレート16に電気的に接続されている。

【0034】

50

下部電極 18 の中には、流路 18 p が形成されている。流路 18 p は、下部電極 18 の中で、例えば渦巻状に伸びている。流路 18 p には、熱交換媒体の循環装置 22 (例えばチラーユニット) から熱交換媒体 (例えば冷媒) が供給される。循環装置 22 は、チャンバ 10 の外部に設けられている。流路 18 p に供給された熱交換媒体は、循環装置 22 に戻される。熱交換媒体と下部電極 18 との熱交換により、支持台 14 上に載置された基板 W の温度が制御される。

【 0035 】

静電チャック 20 は、下部電極 18 上に設けられている。静電チャック 20 は、略円盤形状を有している。静電チャック 20 は、本体及び電極を有している。静電チャック 20 の本体は、誘電体製 (例えばセラミック製) である。静電チャック 20 の電極は、導電性の膜であり、静電チャック 20 の本体の中に設けられている。静電チャック 20 の電極には、スイッチを介して直流電源 24 が接続されている。静電チャック 20 は、上述の載置領域 14 r を提供している。基板 W が静電チャック 20 上 (載置領域 14 r 上) に載置されている状態で、直流電源 24 からの直流電圧が静電チャック 20 の電極に印加されると、基板 W と静電チャック 20 との間で静電引力が発生する。発生した静電引力によって、基板 W は静電チャック 20 に引き付けられ、静電チャック 20 によって保持される。プラズマ処理装置 1 には、静電チャック 20 と基板 W の下面との間に伝熱ガス (例えば H e ガス) を供給する伝熱ガス供給ラインが設けられていてもよい。

【 0036 】

静電チャック 20 の内部には、一つ以上のヒータ (例えば一つ以上の抵抗加熱素子) が設けられていてもよい。一つ以上のヒータにヒータコントローラからの電力が供給されることにより、当該一つ以上のヒータが発熱し、静電チャック 20 の温度、ひいては基板 W の温度が調整される。

【 0037 】

支持台 14 上には、フォーカスリング F R が搭載される。フォーカスリング F R は、静電チャック 20 及び基板 W のエッジを囲むように配置される。フォーカスリング F R は、環状の板であり、シリコン、石英といったシリコン含有材料から形成されている。フォーカスリング F R は、プラズマ処理の均一性を得るために利用される。

【 0038 】

支持体 15 の周りには、筒状の導体 26 が設けられている。導体 26 は接地されている。導体 26 の上方には、支持台 14 を囲むように筒状の絶縁体 28 が設けられている。絶縁体 28 は、石英といったセラミックから形成されている。支持台 14 とチャンバ本体 12 の側壁 12 a との間には、排気路が形成されている。排気路には、バッフルプレート 30 が設けられている。バッフルプレート 30 は、環状の板である。バッフルプレート 30 には、その板厚方向にバッフルプレート 30 を貫通する複数の孔が形成されている。バッフルプレート 30 は、アルミニウムといった金属から形成された部材の表面に、酸化イットリウムといった耐プラズマ性の被膜を形成することにより構成されている。

【 0039 】

バッフルプレート 30 の下方では、排気管 32 がチャンバ本体 12 の底部 12 b に接続されている。排気管 32 は、排気路に連通可能である。排気管 32 には、排気装置 34 が接続されている。排気装置 34 は、自動圧力制御弁、及びターボ分子ポンプといった減圧ポンプを含んでいる。排気装置 34 が作動されることにより、内部空間 10 s の圧力が指定された圧力に設定される。

【 0040 】

支持台 14 の上方には、上部電極 36 が設けられている。上部電極 36 と支持台 14 との間には、内部空間 10 s の一部が介在している。上部電極 36 は、チャンバ本体 12 の上部開口を閉じるように設けられている。上部電極 36 とチャンバ本体 12 の上端部との間には部材 37 が介在している。部材 37 は、絶縁性材料から形成されている。部材 37 は、セラミック、例えば石英から形成され得る。一実施形態では、上部電極 36 とチャンバ本体 12 の上端部との間には、部材 37 及び後述する接地導体の一部が介在し得る。

10

20

30

40

50

【0041】

一実施形態において、上部電極36は、シャワーヘッドを構成している。上部電極36は、一実施形態では、天板38及び支持体40を含んでいる。天板38は、例えばシリコンから形成されている。或いは、天板38は、アルミニウムから形成された部材の表面に、酸化イットリウムといったセラミックから形成された被膜を設けることにより構成される。天板38には、その板厚方向に天板38を貫通する複数のガス吐出口38hが形成されている。

【0042】

支持体40は、天板38上に設けられている。支持体40は、天板38を着脱自在に支持するように構成されている。支持体40は、アルミニウムといった導電性材料から形成されている。支持体40の内部には、ガス拡散室40dが形成されている。支持体40には、複数の孔40hが形成されている。複数の孔40hは、ガス拡散室40dから下方に延びている。複数の孔40hはそれぞれ、複数のガス吐出口38hに連通している。

10

【0043】

ガス拡散室40dには、ガス供給部41が接続されている。ガス供給部41は、チャンバ10内に、即ち内部空間10sにガスを供給するように構成されている。ガス供給部41は、方法MTにおいて用いられる複数のガスを出力可能であるように構成されている。一実施形態において、方法MTで用いられる複数のガスは、フルオロカーボンガス、希ガス、及び炭化水素ガス含む。フルオロカーボンガスは、例えばC4F6ガス、C4F8ガス、及びC6F8ガスのうち一つ以上のガスを含むが、他のフルオロカーボンガスであってもよい。希ガスは、例えばArガスであるが、他の希ガスであってもよい。炭化水素ガスは、例えばCH4ガスであるが、CH4ガス以外の炭化水素ガスであってもよい。方法MTで用いられる複数のガスは、その他のガスを更に含んでいてもよい。方法MTで用いられる複数のガスは、窒素ガス(N2ガス)及び酸素含有ガス(例えばO2ガス又はCOガス)のうち一つ以上のガスを更に含んでいてもよい。ガス供給部41は、複数の流量制御器及び複数のバルブを有する。ガス供給部41は、出力すべき一つ以上のガスの流量を個別に調整するように構成されている。ガス供給部41から出力されたガスは、ガス拡散室40d及び複数の孔40hを介して、複数のガス吐出口38hから内部空間10sに吐出される。

20

【0044】

支持体40には、流路40pが形成されている。流路40pには、チラーユニット42が接続されている。流路40pとチラーユニット42との間では、冷却水といった冷媒が循環される。チラーユニット42から流路40pに供給される冷媒と上部電極36との間の熱交換により、上部電極36の温度が調整される。

30

【0045】

プラズマ処理装置1は、第1の高周波電源43及び第2の高周波電源44を更に備えている。第1の高周波電源43及び第2の高周波電源44は、チャンバ10の外部に設けられている。第1の高周波電源43は、主としてプラズマの生成のための第1の高周波電力を発生するよう構成されている。第1の高周波電力の周波数は、限定されるものではないが、例えば100MHzである。第1の高周波電源43は、整合器45及び給電導体48を介して、上部電極36に電気的に接続されている。整合器45は、第1の高周波電源43の出力インピーダンスと負荷側(上部電極36側)のインピーダンスとを整合させるための整合回路を有している。給電導体48は、その下端で上部電極36に接続されている。給電導体48は、上部電極36から上方に延びている。給電導体48は筒状又は棒状の導体であり、その中心軸線は中心軸線AXに略一致している。なお、第1の高周波電源43は、上部電極36ではなく、整合器45を介して下部電極18に電気的に接続されている。

40

【0046】

第2の高周波電源44は、主として基板Wにイオンを引き込むための第2の高周波電力、即ち、バイアス用の高周波電力を発生するように構成されている。第2の高周波電力の

50

周波数は、第1の高周波電力の周波数よりも低い。一実施形態では、第2の高周波電力の周波数は、13.56MHzよりも高くてよい。一実施形態では、第2の高周波電力の周波数は、40MHz以上であってもよい。一実施形態では、第2の高周波電力の周波数は、60MHz以上であってもよい。第2の高周波電源44は、整合器46を介して、下部電極18に電気的に接続されている。整合器46は、第2の高周波電源44の出力インピーダンスと負荷側(下部電極18側)のインピーダンスとを整合させるための整合回路を有している。

【0047】

プラズマ処理装置1は、接地導体50を更に備えている。接地導体50は、導電性を有する。接地導体50は、アルミニウムといった金属から形成されている。接地導体50は、接地されている。接地導体50は、チャンバ本体12の上方で上部電極36を覆うように伸びている。給電導体48は、接地導体50によって囲まれた空間を通過して上方へ伸びて、接地導体50の外部で整合器45を介して第1の高周波電源43に接続されている。

10

【0048】

プラズマ処理装置1の内部空間10sの中では、基板Wの中心の上では高い電界強度を有し、基板Wのエッジ側の上では低い電界強度を有する電界強度の分布が形成され得る。即ち、内部空間10sの中では、放射方向(即ち、径方向)における中心軸線AXからの距離の増加に応じて電界強度が減少する不均一な電界強度の分布が形成され得る。不均一な電界強度の分布の下では、プラズマの密度は、中心軸線AXの近傍で高く、中心軸線AXから離れた箇所で低くなる。即ち、中心軸線AXに対して放射方向において不均一なプラズマの密度の分布が形成される。プラズマ処理装置1は、均一なプラズマの密度の分布を得るために、電磁石60を更に備えている。

20

【0049】

図3に示すように、電磁石60は、上部電極36の上方に配置されている。電磁石60は、内部空間10sの中で、中心軸線AX上の水平成分よりも大きい水平成分を中心軸線AXから離れた位置で有する磁場の分布を形成する。即ち、電磁石60は、中心軸線AXから放射方向への距離の増加に応じてその大きさが増加する水平成分を有する磁場の分布を、内部空間10sの中に形成する。大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、電子の滞在時間が長くなる。その結果、大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、プラズマの密度が上昇する。したがって、プラズマ処理装置1によれば、中心軸線AXに対して放射方向において均一なプラズマ密度の分布が得られる。故に、プラズマ処理装置1によれば、基板Wに対する処理の面内均一性が向上される。

30

【0050】

一実施形態では、電磁石60は、ヨーク62及びコイル64を有している。ヨーク62は、磁性材料から形成されている。ヨーク62は、ベース部62a及び複数の筒状部62bを有している。ベース部62aは、略環状且つ略板状をなしており、中心軸線AXに対して直交する方向に延在している。複数の筒状部62bの各々は、筒形状を有しており、ベース部62aから下方に延在している。複数の筒状部62bは、中心軸線AXに対して同軸状に設けられている。コイル64は、中心軸線AXの周りで巻かれている。コイル64は、径方向において隣り合う二つの筒状部62bの間に設けられている。なお、電磁石60は、一つ以上のコイル64を有し得る。電磁石60におけるコイル64の個数が複数個である場合には、複数個のコイル64は、中心軸線AXに対して同軸状に設けられる。

40

【0051】

電磁石60のコイル64は、配線68を介して駆動電源66に接続されている。駆動電源66からの電流がコイル64に与えられると、電磁石60によって磁場が形成される。電磁石60によって形成される磁場のベクトルの角度が45°である箇所では、放射方向(径方向)における電子の閉じ込め効果(電子の拡散の抑制効果)と、電子の消滅の抑制効果(電極への電子の到達を抑制する効果)とが良好に両立される。したがって、当該箇所ではプラズマの密度が高くなる。故に、基板Wの半径が例えば150mmである場合に、電磁石60は、磁場のベクトルの角度が45°である箇所と中心軸線AXとの間の距離

50

が、135mm以上、185mm以下となるように、構成され得る。一実施形態では、電磁石60の一つのコイル64の内径と外径の平均値は、中心軸線AXと基板Wのエッジとの間の距離以上に設定される。基板Wの半径が150mmである場合には、電磁石60の一つのコイル64の内径と外径の平均値は、150mm以上、250mm以下に設定される。なお、磁場のベクトルの角度は、当該磁場が下方向の成分のみを有する場合には0°であり、放射方向の成分（水平成分）のみを有する場合には90°である。したがって、磁場のベクトルの角度が45°である場合には、当該磁場は、水平成分と垂直成分の双方を有する。

【0052】

電磁石60が、上部電極を覆う接地導体によって囲まれた空間内に配置されると、第1の高周波が、電磁石60、及び／又は、電磁石60と電源（駆動電源）とを接続する配線に流入する。その結果、内部空間10sの中での電界強度が局所的に変動する。したがって、電磁石60は、接地導体の外側に配置される。但し、接地導体の上端に対して上方の空間に電磁石60が配置されると、電磁石60から内部空間10sまでの鉛直方向の距離が長くなり、大きな電流をコイル64に与えなければ内部空間10sの中に十分な大きさの磁場を効率的に形成することができない。また、電磁石60が接地導体の側方に（中心軸線から放射方向において接地導体の外側に）に配置されると、大きな水平成分を有する磁場が形成される箇所、或いは、そのベクトルが45°の角度を有する磁場が形成される箇所は内部空間10sの外部の箇所となる。均一なプラズマ密度の分布を得るために適した磁場の分布を効率的に内部空間10sの中で形成するために、接地導体50は、その中に電磁石60が配置される外部空間ESを提供している。外部空間ESは、接地導体50の上端よりも内部空間10sの近くにあり、上部電極36に対して上方に離れており、且つ、上部電極36に対して接地導体50により遮蔽されている。

【0053】

接地導体50は、第1の部分51、第2の部分52、及び第3の部分53を備えている。第1の部分51は、筒形状を有している。第1の部分51の中心軸線は、中心軸線AXと略一致している。第1の部分51は、チャンバ本体12から上方に延びている。図3に示す例では、第1の部分51は、チャンバ本体12の側壁12aの上端から上方に延びている。第1の部分51の下端部分は、部材37と側壁12aの上端との間に介在している。

【0054】

第2の部分52は、上部電極36から上方に離間し、且つ、第1の部分51から中心軸線AXに向けて延びている。第2の部分52は、中心軸線AXに対して交差又は直交する方向に延びる板状をなしている。第1の部分51と第2の部分52は、上部電極36の上に第1の空間IS1を提供している。第1の空間IS1は、接地導体50の内側（即ち、上部電極36側）の空間の一部である。この第1の空間IS1により、鉛直方向において上部電極36と接地導体50との間に距離が確保される。したがって、接地導体50と上部電極36との間の容量的結合が抑制される。上部電極36の上面と接地導体50の第2の部分52の下面との間の鉛直方向の距離は、例えば60mm以上の距離に設定される。

【0055】

第3の部分53は、筒形状を有している。第3の部分53の中心軸線は、中心軸線AXと略一致している。第3の部分53は、第1の部分51よりも中心軸線の近くで延在している。第3の部分53は、第2の部分52から上方に延びている。第3の部分53は、第2の空間IS2を提供している。第2の空間IS2は、第2の部分52の内側の空間であり、接地導体50の内側（即ち、上部電極36側）の空間の一部である。第2の空間IS2は、第1の空間IS1に連続している。なお、給電導体48は、第1の空間IS1及び第2の空間IS2を通って上方に延びている。

【0056】

外部空間ESは、第3の部分53の外側、第2の部分52上、且つ、内部空間10sの上方に接地導体50によって提供されている。外部空間ESは、第3の部分53の外側、且つ、第2の部分52上で、中心軸線AXを中心に周方向に延びている。この外部空間E

10

20

30

40

50

S に電磁石 6 0 が配置されている。なお、外部空間 E S の中に配置された電磁石 6 0 の下端と上部電極 3 6 の上面との間の鉛直方向の距離は 6 0 mm より大きい。また、電磁石 6 0 の下端と支持台 1 4 上に載置された基板 W との間の鉛直方向の距離は、2 3 0 mm 以下であり得る。

【 0 0 5 7 】

外部空間 E S の中に配置された電磁石 6 0 と内部空間 1 0 s との間の距離は比較的短い。また、上述したように、電磁石 6 0 は、中心軸線 A X の近傍では低い水平成分を有し、中心軸線から離れた位置で大きい水平成分を有する磁場の分布を内部空間 1 0 s の中に形成する。したがって、接地導体 5 0 に対して外側に配置された電磁石 6 0 によって、均一なプラズマの密度の分布を得るのに適した磁場の分布が効率的に内部空間 1 0 s の中に形成され得る。

10

【 0 0 5 8 】

電磁石 6 0 のコイル 6 4 には、上述したように駆動電源 6 6 が接続されている。電磁石 6 0 及び駆動電源 6 6 は、接地導体 5 0 に対して外側に配置されている。したがって、駆動電源 6 6 への高周波の流入を防止するためのフィルタが、コイル 6 4 と駆動電源 6 6 との間に設けられていなくてもよい。

【 0 0 5 9 】

一実施形態では、接地導体 5 0 は、第 4 の部分 5 4 、第 5 の部分 5 5 、及び第 6 の部分 5 6 を更に有する。第 4 の部分 5 4 は、第 2 の部分 5 2 の上方で、中心軸線 A X に対して放射方向に第 3 の部分 5 3 から延びている。第 4 の部分 5 4 は、中心軸線 A X に対して交差又は直交する方向に延びる板状をなしている。第 5 の部分 5 5 は、筒形状を有している。第 5 の部分 5 5 の中心軸線は、中心軸線 A X に略一致している。第 5 の部分 5 5 は、第 3 の部分 5 3 よりも中心軸線から離れており、第 4 の部分 5 4 から上方に延びている。第 6 の部分 5 6 は、第 4 の部分 5 4 の上方で、第 5 の部分 5 5 から中心軸線 A X に向けて延びている。第 6 の部分 5 6 は、中心軸線 A X に対して交差又は直交する方向に延びる板状をなしている。一実施形態では、接地導体 5 0 は、第 6 の部分から給電導体 4 8 の近傍まで延びる蓋部 5 7 を更に有している。

20

【 0 0 6 0 】

第 4 の部分 5 4 、第 5 の部分 5 5 、及び第 6 の部分 5 6 は、第 3 の空間 I S 3 を提供している。第 3 の空間 I S 3 は、第 4 の部分 5 4 、第 5 の部分 5 5 、及び第 6 の部分 5 6 によって囲まれた空間であり、接地導体 5 0 の内側の空間の一部である。第 3 の空間 I S 3 は、第 2 の空間 I S 2 に連続している。給電導体 4 8 は、第 3 の空間 I S 3 を更に通って、上方に延びている。なお、図 3 に示す例では、第 1 ~ 第 6 の部分は、三つの部材で構成されているが、接地導体 5 0 を構成する部材の個数は、任意の個数であり得る。

30

【 0 0 6 1 】

以下、図 3 と共に、図 4 を参照する。図 4 は、図 3 に示すプラズマ処理装置の接地導体の内部の構成の一例を示す平面図である。図 4 においては、接地導体 5 0 の第 5 の部分 5 5 が水平な面で破断された状態が示されている。一実施形態において、プラズマ処理装置 1 は、図 3 及び図 4 に示すように、管 7 1 を更に備えている。管 7 1 は、上部電極 3 6 から、第 1 の空間 I S 1 及び第 2 の空間 I S 2 を通って上方に延び、第 3 の空間 I S 3 を通って、接地導体 5 0 に対して側方且つ外側まで延びている。管 7 1 は、接地導体 5 0 に対して外側で、チラーユニット 4 2 に接続される。チラーユニット 4 2 からの冷媒は、管 7 1 を介して、流路 4 0 p に供給される。第 3 の空間 I S 3 内では、管 7 1 が、接地導体 5 0 の第 4 の部分 5 4 によって上部電極 3 6 から実質的に遮蔽されている。

40

【 0 0 6 2 】

プラズマ処理装置 1 は、管 7 2 を更に備えている。管 7 2 は、第 1 の空間 I S 1 及び第 2 の空間 I S 2 を通って上方に延び、第 3 の空間 I S 3 を通って、接地導体 5 0 に対して側方且つ外側まで延びている。管 7 2 は、接地導体 5 0 に対して外側で、チラーユニット 4 2 に接続される。冷媒は流路 4 0 p から管 7 2 を介してチラーユニット 4 2 に供給される。第 3 の空間 I S 3 内では、管 7 2 が、接地導体 5 0 の第 4 の部分 5 4 によって上部電極

50

36から実質的に遮蔽されている。

【0063】

一実施形態において、プラズマ処理装置1は、管73を更に備えている。管73は、上部電極36から、第1の空間IS1及び第2の空間IS2を通って上方に延び、第3の空間IS3を通って、接地導体50に対して側方且つ外側まで延びている。管73は、接地導体50に対して外側で、ガス供給部41に接続されている。ガス供給部41から出力されるガスは、管73を介して、上部電極36、即ちシャワーヘッドに供給される。第3の空間IS3内では、管73が、接地導体50の第4の部分54によって上部電極36から実質的に遮蔽されている。なお、ガス供給部41と上部電極36(即ち、シャワーヘッド)は、複数の管を介して互いに接続されていてもよい。

10

【0064】

一実施形態において、プラズマ処理装置1は直流電源74及び配線75を更に備えている。直流電源74は、上部電極36に印加される負極性の直流電圧を発生するよう構成されている。配線75は、直流電源74と上部電極36とを互いに接続している。配線75は、コイル75cを含み得る。コイル75cは、第3の空間IS3の中に設けられている。配線75は、上部電極36から第1の空間IS1及び第2の空間IS2を通って上方に延び、第3の空間IS3を通って、接地導体50に対して側方且つ外側まで延びている。配線75は、第5の部分55及び接地導体50から電気的に絶縁されている。配線75は、接地導体50に対して外側で、直流電源74に接続されている。第3の空間IS3内では、配線75が、接地導体50の第4の部分54によって上部電極36から実質的に遮蔽される。

20

【0065】

一実施形態において、プラズマ処理装置1は、制御部80を更に備えている。制御部80は、プラズマ処理装置1の各部を制御するように構成されている。制御部80は、コンピュータ装置であり得る。制御部80は、プロセッサ、メモリといった記憶装置、キーボード、マウス、タッチパネルといった入力装置、表示装置、制御信号の入出力インターフェイス等を有し得る。記憶装置には、制御プログラム及びレシピデータが記憶されている。制御部80のプロセッサは、制御プログラムを実行し、レシピデータに従って、プラズマ処理装置1の各部を制御するために制御信号を送出する。制御部80は、方法MTの実行のために、プラズマ処理装置1の各部を制御することが可能である。

30

【0066】

再び図1を参照する。また、図1に加えて、図5、図6の(a)、図6の(b)、図7、図8、図9の(a)、図9の(b)、及び、図10を参照する。図5は、図1に示す工程ST1及び工程ST3の各々において実行され得る処理の例を示す流れ図である。図6の(a)は、方法MTの工程ST1において図5に示す工程STaが適用された一例の基板の部分断面図であり、図6の(b)は、方法MTの工程ST1において図5に示す工程STbが適用された一例の基板の部分断面図である。図7は、方法MTの工程ST1が適用された一例の基板の部分断面図である。図8は、方法MTの工程ST2が適用された一例の基板の部分断面図である。図9の(a)は、方法MTの工程ST3において工程STaが適用された一例の基板の部分断面図であり、図9の(b)は、方法MTの工程ST3において工程STbが適用された一例の基板の部分断面図である。図10は、方法MTの工程ST3が適用された一例の基板の部分断面図である。以下では、プラズマ処理装置1を用いて図2に示す基板Wに方法MTが適用される場合を例として、方法MTについて詳細に説明する。また、以下では、制御部80によるプラズマ処理装置1の各部の制御についても説明する。

40

【0067】

方法MTでは、基板Wが支持台14上(静電チャック20上)に載置されて、静電チャック20によって保持される。そして、方法MTでは、工程ST1が実行される。工程ST1では、プラズマエッティングによって第1領域R1がエッティングされる。工程ST1では、第1領域R1は、第2領域R2に対して選択的にエッティングされる。また、工程ST

50

1では、第1領域R1は、第2領域R2よりも基板W内より深い位置でその上面を提供するようにエッティングされる。

【0068】

工程ST1の実行のために、制御部80は、第1の制御を実行する。第1の制御では、制御部80は、ガス供給部41並びに第1の高周波電源43及び/又は第2の高周波電源44を制御する。第1の制御では、制御部80は、チャンバ10内の圧力を調整するよう、排気装置34を更に制御する。第1の制御の実行により、第1領域R1が第2領域R2よりも基板W内より深い位置でその上面を提供するよう、プラズマエッティングによって第1領域R1がエッティングされる。

【0069】

一実施形態では、図5に示す処理PEが、工程ST1において実行される。処理PEは、工程STa及び工程STbを含む。工程STaでは、チャンバ10内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成される。工程STaでは、生成されたプラズマからのフルオロカーボンが基板W上に堆積して、基板W上に堆積物DPFを形成する。工程ST1中の工程STaによれば、例えば図6の(a)に示すように、基板W上に堆積物DPFが形成される。

10

【0070】

工程STaで用いられるフルオロカーボンガスは、C4F6ガス、C4F8ガス、及びC6F8ガスのうち一つ以上のガスを含み得る。工程STaで用いられる処理ガスは、フルオロカーボンガスに加えて、一つ以上の他のガスを更に含んでいてもよい。基板Wの第1領域R1が低誘電率材料(例えばSiOC又はSiOCH)から形成されている場合に、工程STaで用いられる処理ガスは、フルオロカーボンガスに加えて、希ガス(例えばArガス)を更に含んでいてもよい。或いは、基板Wの第1領域R1が低誘電率材料(例えばSiOC又はSiOCH)から形成されている場合に、工程STaで用いられる処理ガスは、フルオロカーボンガスに加えて、希ガス(例えばArガス)及び窒素ガス(N2ガス)を更に含んでいてもよい。

20

【0071】

基板Wの第1領域R1がSiO2から形成されている場合に、工程STaで用いられる処理ガスは、フルオロカーボンガスに加えて、希ガス(例えばArガス)を更に含んでいてもよい。或いは、基板Wの第1領域R1がSiO2から形成されている場合に、工程STaで用いられる処理ガスは、フルオロカーボンガスに加えて、希ガス(例えばArガス)及び酸素含有ガス(例えばO2ガス又はCOガス)を更に含んでいてもよい。

30

【0072】

工程STaの実行のための制御部80による制御(以下、「制御A」という)は、チャンバ10内に処理ガスを供給するよう、ガス供給部41を制御し、第1の高周波電力を供給するよう、第1の高周波電源43を制御することを含む。制御Aは、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置34を制御する。また、制御Aは、第2の高周波電力の出力を停止するよう、第2の高周波電源44を制御することを更に含んでいてもよい。或いは、制御Aは、第2の高周波電力を供給するよう、第2の高周波電源44を制御することを更に含んでいてもよい。但し、工程STaにおいては、第2の高周波電力の電力レベルは、後述の工程STbにおける第2の高周波電力の電力レベルよりも低いレベルに設定される。工程ST1において処理PEが実行される場合には、第1の制御は、制御Aを含む。

40

【0073】

工程STaに続く工程STbでは、チャンバ10内で、希ガスのプラズマが生成される。工程STbでは、希ガスがチャンバ10内に供給される。工程STbでは、希ガスに加えてN2ガス及び/又はO2ガスがチャンバ10内に供給されてもよい。基板Wの第1領域R1のシリコン含有材料が低誘電率材料(例えばSiOC又はSiOCH)である場合に、工程STbでは、Arガス、N2ガス及びArガスの混合ガス、又は、N2ガス、O2ガス、及びArガスの混合ガスがチャンバ10内に供給されてもよい。基板Wの第1領

50

域 R 1 のシリコン含有材料が SiO₂ である場合に、工程 ST b では、Ar ガスがチャンバ 1 0 内に供給されてもよい。工程 ST b では、希ガスのプラズマからの希ガスイオンが基板 W に供給される。その結果、第 1 領域 R 1 上に存在する堆積物 DPF 中のフルオロカーボンと第 1 領域 R 1 を構成する材料とが反応して、第 1 領域 R 1 がエッティングされる。一方、第 2 領域 R 2 は、その上に存在する堆積物 DPF によって保護される。工程 ST 1 中の工程 ST b によれば、例えば図 6 の (b) に示すように、第 1 領域 R 1 がエッティングされる。

【 0 0 7 4 】

工程 ST b の実行のための制御部 8 0 による制御（以下、「制御 B」という）は、チャンバ 1 0 内に希ガスを含む上述のガスを供給するよう、ガス供給部 4 1 を制御し、第 1 の高周波電力を供給するよう、第 1 の高周波電源 4 3 を制御することを含む。制御 B は、第 2 の高周波電力を供給するよう、第 2 の高周波電源 4 4 を制御することを更に含む。また、制御 B は、チャンバ 1 0 内の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置 3 4 を制御することを更に含む。

10

【 0 0 7 5 】

一実施形態では、工程 ST a 及び工程 ST b が交互に繰り返される。この実施形態において、制御部 8 0 は、工程 ST a 及び工程 ST b を交互に繰り返すよう、制御 A 及び制御 B を含む制御シーケンスを繰り返して実行する。この実施形態では、工程 ST c が実行される。工程 ST c では、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、工程 ST a 及び工程 ST b の交互の繰り返しを停止させるか否かの判定に用いられる条件である。停止条件は、例えば工程 ST a 及び工程 ST b の交互の繰り返しの回数が所定回数に達している場合に満たされる。工程 ST c において停止条件が満たされていないと判定される場合には、再び工程 ST a と工程 ST b が順に実行される。一方、工程 ST c において停止条件が満たされていると判定される場合には、処理 PE の実行が終了する。なお、処理 PE において、工程 ST a 及び工程 ST b の各々は 1 回だけ実行されてもよい。この場合には、処理 PE は、工程 ST c を含まない。

20

【 0 0 7 6 】

処理 PE によれば、第 2 領域 R 2 は、その上に形成された堆積物 DPF によって保護される。したがって、第 1 領域 R 1 のエッティングに伴う第 2 領域 R 2 のエッティングが抑制される。かかる処理 PE が工程 ST 1 において実行されると、基板 W は図 7 に示すような形状に加工される。即ち、基板 W は、第 1 領域 R 1 が第 2 領域 R 2 よりも基板 W 内のより深い位置でその上面を提供するように加工される。

30

【 0 0 7 7 】

別の実施形態に係る工程 ST 1 では、基板 W がその中に配置されたチャンバ 1 0 内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成されてもよい。この実施形態において、第 1 領域 R 1 は、プラズマから基板 W に衝突するフルオロカーボンの活性種及び/又はフッ素の活性種によってエッティングされ得る。この実施形態の工程 ST 1 の実行のための第 1 の制御では、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内に処理ガスを供給するよう、ガス供給部 4 1 を制御する。また、この実施形態の工程 ST 1 の実行のための第 1 の制御では、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置 3 4 を制御する。さらに、この実施形態の工程 ST 1 の実行のための第 1 の制御では、制御部 8 0 は、第 1 の高周波電力を供給するよう、第 1 の高周波電源 4 3 を制御し、第 2 の高周波電力を供給するよう、第 2 の高周波電源 4 4 を制御する。

40

【 0 0 7 8 】

工程 ST 1 の実行後には、工程 ST 2 が実行される。工程 ST 2 の実行中には、工程 ST 1 が適用された基板 W がチャンバ 1 0 内に収容されている。工程 ST 2 では、チャンバ 1 0 内で炭化水素ガスのプラズマを生成される。工程 ST 2 では、炭化水素ガスがチャンバ 1 0 内に供給される。炭化水素ガスは、限定されるものではないが、例えば CH₄ ガスである。工程 ST 2 では、炭化水素ガスに加えて、希ガス（例えば Ar ガス）がチャンバ内に供給されてもよい。工程 ST 2 では、チャンバ 1 0 内に供給されたガスが励起されて

50

、プラズマが生成される。

【0079】

工程S T 2では、プラズマが生成されている際に、電磁石6 0により、チャンバ1 0内で磁場の分布が形成される。具体的には、電磁石6 0により、基板Wの中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を基板のエッジ側の上で有する磁場の分布が形成される。

【0080】

工程S T 2では、プラズマからの炭素を含む堆積物D P Cが、図8に示すように基板W上に形成される。工程S T 1のプラズマエッティングの結果、第1領域R 1は第2領域R 2よりも基板W内より深い位置で延在している。したがって、堆積物D P Cの厚みは、第2領域R 2上では大きく、第1領域R 1上では小さくなる。また、電磁石6 0により上述の磁場がチャンバ1 0内で形成されているので、中心軸線A Xに対して放射方向において均一なプラズマ密度の分布が得られる。このような分布を有するプラズマからの炭素化学種が基板W上に堆積するので、堆積物D P Cの厚みの面内均一性が高められる。なお、図8では、工程S T 1の終了後に基板W上に残され得る堆積物D P Fは省略されている。

10

【0081】

工程S T 2の実行のために、制御部8 0は、第2の制御を実行する。第2の制御では、制御部8 0は、チャンバ1 0内に炭化水素ガスを含む上述のガスを供給するよう、ガス供給部4 1を制御し、第1の高周波電力を供給するよう、第1の高周波電源4 3を制御する。また、第2の制御では、制御部8 0は、チャンバ1 0内の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置3 4を更に制御する。また、第2の制御では、制御部8 0は、電磁石6 0により、上述の磁場の分布を形成するよう、駆動電源6 6を更に制御する。第2の制御において、制御部8 0は、第2の高周波電力の出力を停止するよう、第2の高周波電源4 4を更に制御してもよい。或いは、第2の制御において、制御部8 0は、第2の高周波電力を供給するよう、第2の高周波電源4 4を更に制御してもよい。但し、第2の制御における第2の高周波電力の電力レベルは、イオンの衝突による基板Wの物理的エッティングを抑制するように、低いレベルに設定される。

20

【0082】

工程S T 2の実行後には、工程S T 3が実行される。工程S T 3は、工程S T 2が適用された基板Wがチャンバ1 0内に配置された状態で実行され得る。工程S T 3では、プラズマエッティングによって、第1領域R 1が更にエッティングされる。工程S T 3では、第1領域R 1は、第2領域R 2に対して選択的にエッティングされる。工程S T 3の実行のために、制御部8 0は、第3の制御を実行する。第3の制御では、制御部8 0は、ガス供給部4 1並びに第1の高周波電源4 3及び/又は第2の高周波電源4 4を制御する。第3の制御では、制御部8 0は、チャンバ1 0内の圧力を調整するよう、排気装置3 4を更に制御する。第3の制御の実行により、プラズマエッティングによって第1領域R 1が更にエッティングされる。

30

【0083】

一実施形態に係る工程S T 3では、工程S T 1に関連して上述した処理P Eが実行されてもよい。工程S T 3において処理P Eが実行される場合には、工程S T aにおいて、チャンバ1 0内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成される。工程S T aでは、生成されたプラズマからのフルオロカーボンが基板W上に堆積して、基板W上に堆積物D P Fを形成する。工程S T 3中の工程S T aによれば、例えば図9の(a)に示すように、基板W上に堆積物D P Fが形成される。工程S T 3中の工程S T aの実行のための制御部8 0による制御は、上述の制御Aである。

40

【0084】

工程S T 3において処理P Eが実行される場合には、工程S T bにおいて、チャンバ1 0内で、希ガスのプラズマが生成される。工程S T bでは、希ガスがチャンバ1 0内に供給される。工程S T bでは、希ガスに加えてN₂ガス及び/又はO₂ガスがチャンバ1 0内に供給されてもよい。工程S T bでは、希ガスのプラズマからの希ガスイオンが基板Wに供給される。その結果、第1領域R 1上に存在する堆積物D P F中のフルオロカーボン

50

と第1領域R1を構成する材料とが反応して、第1領域R1がエッティングされる。一方、第2領域R2は、その上に存在する堆積物DPCによって保護される。工程ST3中の工程STbによれば、例えば図9の(b)に示すように、第1領域R1がエッティングされる。工程ST3中の工程STbの実行のための制御部80による制御は、上述の制御Bである。

【0085】

工程ST3において処理PEが実行される場合には、工程STa及び工程STbを含むシーケンスが1回以上実行されてもよい。また、工程ST3において処理PEを実行するために、制御部80は、制御A及び制御Bを含む制御シーケンスを1回以上実行してもよい。

10

【0086】

別の実施形態に係る工程ST3では、基板Wがその中に配置されたチャンバ10内で、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成されてもよい。この実施形態において、第1領域R1は、プラズマから基板Wに衝突するフルオロカーボンの活性種及び/又はフッ素の活性種によってエッティングされ得る。この実施形態の工程ST3の実行のための第3の制御では、制御部80は、チャンバ10内に処理ガスを供給するよう、ガス供給部41を制御する。また、この実施形態の工程ST3の実行のための第3の制御では、制御部80は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置34を制御する。さらに、この実施形態の工程ST3の実行のための第3の制御では、制御部80は、第1の高周波電力を供給するよう、第1の高周波電源43を制御し、第2の高周波電力を供給するよう、第2の高周波電源44を制御する。

20

【0087】

一実施形態では、図1に示すように、工程ST2及び工程ST3が交互に繰り返される。この実施形態において、制御部80は、第2の制御及び第3の制御を交互に繰り返して実行する。この実施形態では、工程ST4が実行される。工程ST4では、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、工程ST2及び工程ST3の交互の繰り返しを停止させるか否かの判定に用いられる条件である。停止条件は、例えば工程ST2及び工程ST3の交互の繰り返しの回数が所定回数に達している場合に満たされる。工程ST4において停止条件が満たされていないと判定される場合には、再び工程ST2と工程ST3が順に実行される。一方、工程ST4において停止条件が満たされていると判定される場合には、方法MTが終了する。その結果、図10に示すように、第1領域R1がエッティングされる。なお、工程ST2及び工程ST3の各々は1回だけ実行されてもよい。この場合には、方法MTは、工程ST4を含まない。

30

【0088】

上記例示的実施形態に係る方法MTでは、堆積物DPCは、炭化水素ガスのプラズマからの炭素化学種から形成される。また、工程ST1が適用された基板Wでは、第1領域R1は第2領域R2よりも基板W内のより深い位置で延在しているので、堆積物DPCの厚みは、第2領域R2上では大きく、第1領域R1上では小さくなる。この堆積物DPCによって、第2領域R2が保護されつつ第1領域R1が更にエッティングされる。したがって、基板Wの第2領域R2に対する基板Wの第1領域R1のエッティングの選択性が高くなる。また、工程ST2の実行中には、電磁石60により、基板Wの中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を基板Wのエッジ側の上で有する磁場の分布が形成される。したがって、基板Wのエッジ側の上でプラズマの密度が高められる。その結果、径方向におけるプラズマの密度の分布が均一化される。このような分布を有するプラズマからの炭素化学種が基板W上に堆積するので、堆積物DPCの厚みの面内均一性が高められる。故に、基板Wの第2領域R2に対する基板Wの第1領域R1の選択性のエッティングの面内均一性が高くなる。

40

【0089】

一実施形態では、上述したように、工程ST2と工程ST3とが交互に繰り返される。即ち、この実施形態では、堆積物DPCの形成と第1領域R1のエッティングとが交互に繰

50

り返される。この実施形態によれば、工程 S T 3 の更なる実行の前に、堆積物 D P C が基板 W 上に再形成される。したがって、第 2 領域 R 2 のエッティングが更に抑制され、第 1 領域 R 1 のエッティングの選択性が更に高められる。

【 0 0 9 0 】

以下、方法 M T が適用され得る別の例に係る基板について説明する。図 1 1 は、別の例の基板の部分断面図である。図 1 1 に示す基板 W A にも方法 M T が適用され得る。基板 W A は、下地領域 U R 、第 1 領域 R 1 、及び第 2 領域 R 2 を有している。一例において、基板 W A は、は、フィン型電界効果トランジスタの製造中に得られる生産物である。

【 0 0 9 1 】

下地領域 U R は、例えば多結晶シリコンから形成されている。下地領域 U R は、一例においてはフィン領域であり、略直方体形状を有している。基板 W A は、複数の突出部 P T を有している。複数の突出部 P T は、下地領域 U R 上に設けられており、互いに略平行に配列されている。一例において、複数の突出部 P T の各々は、ゲート領域である。

【 0 0 9 2 】

第 2 領域 R 2 は、窒化シリコンから形成されている。第 2 領域 R 2 は、複数の突出部 P T 及び下地領域 U R を覆うように設けられている。第 2 領域 R 2 は、複数の突出部 P T の表面及び隣り合う突出部 P T の間の下地領域 U R の表面に沿って延在している。第 2 領域 R 2 は、隣り合う突出部 P T の間で凹部を提供するように設けられている。

【 0 0 9 3 】

第 1 領域 R 1 は、酸化シリコンから形成されている。第 1 領域 R 1 は、第 2 領域 R 2 によって提供されている上述の凹部の中に設けられている。また、第 1 領域 R 1 は、第 2 領域 R 2 を覆うように設けられている。第 1 領域 R 1 上には、マスク M K が設けられている。マスク M K は、第 2 領域 R 2 によって提供された凹部の上方で開口を提供するように、パターニングされている。マスク M K の開口の幅は、第 2 領域 R 2 によって提供された凹部の幅よりも大きい。マスク M K は、有機膜から形成されたマスクである。マスク M K は、フォトリソグラフィ技術によって作成することが可能である。

【 0 0 9 4 】

以下、図 1 2 の (a) 及び図 1 2 の (b) 、図 1 3 、図 1 4 、図 1 5 の (a) 、図 1 5 の (b) 、及び図 1 6 を参照する。図 1 2 の (a) は、方法 M T の工程 S T 1 において工程 S T a が適用された別の例の基板の部分断面図である。図 1 2 の (b) は、方法 M T の工程 S T 1 において工程 S T b が適用された別の例の基板の部分断面図である。図 1 3 は、方法 M T の工程 S T 1 が適用された別の例の基板の部分断面図である。図 1 4 は、方法 M T の工程 S T 2 が適用された別の例の基板の部分断面図である。図 1 5 の (a) は、方法 M T の工程 S T 3 において工程 S T a が適用された別の例の基板の部分断面図である。図 1 5 の (b) は、方法 M T の工程 S T 3 において工程 S T b が適用された別の例の基板の部分断面図である。図 1 6 は、方法 M T の工程 S T 3 が適用された別の例の基板の部分断面図である。

【 0 0 9 5 】

図 1 1 に示す基板 W A がプラズマ処理装置 1 のチャンバ 1 0 内に配置されて、方法 M T の工程 S T 1 において処理 P E の工程 S T a が実行されると、基板 W A 上に堆積物 D P F が形成される。図 1 2 の (a) では、工程 S T 1 において第 1 領域 R 1 が基板 W A の深さ方向にエッティングされ、工程 S T a が更に実行された後の状態の基板 W A が示されている。工程 S T a が実行されると、図 1 2 の (a) に示すように、基板 W A 上に堆積物 D P F が形成される。続いて工程 S T b が実行されると、図 1 2 の (b) に示すように、堆積物 D P F 中のフルオロカーボンにより第 1 領域 R 1 が更にエッティングされる。そして、工程 S T 1 の実行が終了すると、基板 W A は、図 1 3 に示すような形状に加工される。即ち、工程 S T 1 によって、第 1 領域 R 1 は、第 2 領域 R 2 よりも基板 W A 内のより深い位置で上面を有するように加工される。なお、基板 W A に対して適用される工程 S T 1 においても、第 1 領域 R 1 は、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマから基板 W A に照射されるフルオロカーボンの活性種及び / 又はフッ素の活性種によってエッティングされて

10

20

30

40

50

もよい。

【 0 0 9 6 】

次いで、工程 S T 2 が実行されると、図 1 4 に示すように、堆積物 D P C が基板 W A 上に形成される。なお、図 1 4 では、工程 S T 1 の終了後に基板 W A 上に残され得る堆積物 D P F は省略されている。続く工程 S T 3 において処理 P E の工程 S T a が実行されると、図 1 5 の (a) に示すように、基板 W A 上に堆積物 D P F が形成される。続いて工程 S T b が実行されると、図 1 5 の (b) に示すように、堆積物 D P F 中のフルオロカーボンにより第 1 領域 R 1 が更にエッティングされる。工程 S T 2 と工程 S T 3 を含むシーケンスの 1 回以上の実行により、第 1 領域 R 1 が更にエッティングされて、基板 W A は、図 1 6 に示すような形状に加工される。なお、基板 W A に対して適用される工程 S T 3 においても、第 1 領域 R 1 は、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマから基板 W A に照射されるフルオロカーボンの活性種及び / 又はフッ素の活性種によってエッティングされてもよい。

【 0 0 9 7 】

以上、種々の例示的実施形態について説明してきたが、上述した例示的実施形態に限定されることなく、様々な省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせて他の実施形態を形成することが可能である。

【 0 0 9 8 】

例えば、工程 S T 1 、工程 S T 2 、及び工程 S T 3 は、それぞれ異なるプラズマ処理装置を用いて実行されてもよい。また、方法 M T では、上述した磁場を形成可能なプラズマ処理装置であれば、別のプラズマ処理装置が用いられてもよい。別のプラズマ処理装置としては、プラズマ処理装置 1 とは別の容量結合型のプラズマ処理装置、誘導結合型のプラズマ処理装置、又はマイクロ波といった表面波を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置が例示される。

【 0 0 9 9 】

また、工程 S T 2 において電磁石 6 0 によってチャンバ 1 0 内で形成された上述の磁場は、工程 S T 2 に加えて他の工程においても、チャンバ 1 0 内で生成されてもよい。即ち、当該磁場は、工程 S T 1 、工程 S T 3 、工程 S T 1 中の工程 S T a 、工程 S T 1 中の工程 S T b 、工程 S T 3 中の工程 S T a 、及び工程 S T 3 中の工程 S T b のうち少なくとも一つの工程においても、チャンバ 1 0 内で生成されてもよい。

【 0 1 0 0 】

以下、方法 M T の評価のために行った実験について説明する。なお、本開示は、以下に説明する実験の内容によって限定されるものではない。

【 0 1 0 1 】

実験では、プラズマ処理装置 1 を用いて、サンプル基板に対して工程 S T 2 を実行した。工程 S T 2 の条件は以下の通りである。なお

< 工程 S T 2 の条件 >

- ・ チャンバ 1 0 内の圧力 : 1 0 m T o r r (1 . 3 3 3) P a
- ・ チャンバ 1 0 内に供給したガス : C H 4 ガス (2 5 s c c m) 及び A r ガス (2 5 0 s c c m)
- ・ 第 1 の高周波電力 : 6 0 M H z 、 3 0 0 W
- ・ 第 2 の高周波電力 : 0 W

【 0 1 0 2 】

実験では、サンプル基板の表面の二つの直交する直径上の 5 7 箇所の各々において、形成された堆積物の厚みを測定し、当該厚みと工程 S T 2 の実行時間から、堆積物の堆積速度を求めた。そして、5 7 箇所の堆積速度の平均値 (n m / 分) とバラツキ (%) を求めた。バラツキは、以下の式により求めた。

$$(M a x - M i n) / (A v e r a g e \times 2) \times 1 0 0$$

ここで、 M a x は、5 7 箇所の堆積速度のうち最大値、 M i n は、5 7 箇所の堆積速度のうち最小値、 A v e r a g e は、5 7 箇所の堆積速度の平均値である。実験の結果、5 7

10

20

30

40

50

箇所の堆積速度の平均値とバラツキはそれぞれ、21.2 nm/分、2.0%であった。

【0103】

また、比較実験において、電磁石60によりチャンバ10内で磁場を形成しなかった点を除いて上記実験と同条件で、サンプル基板上に堆積物を形成した。比較実験においても、同様に、57箇所の堆積速度の平均値(nm/分)とバラツキ(%)を求めた。比較実験の結果、57箇所の堆積速度の平均値とバラツキはそれぞれ、21.4 nm/分、5.0%であった。

【0104】

以上の実験及び比較実験の結果、工程ST2によれば、基板の面内における堆積物の堆積レートのバラツキを低減させることができることが確認された。即ち、電磁石60を用いてチャンバ10内で磁場を形成することにより、基板上への堆積物の堆積レートの面内均一性を向上させることができることが確認された。

10

【0105】

以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

【符号の説明】

【0106】

1...プラズマ処理装置、10...チャンバ、60...電磁石、W...基板、R1...第1領域、R2...第2領域、DPC...堆積物。

20

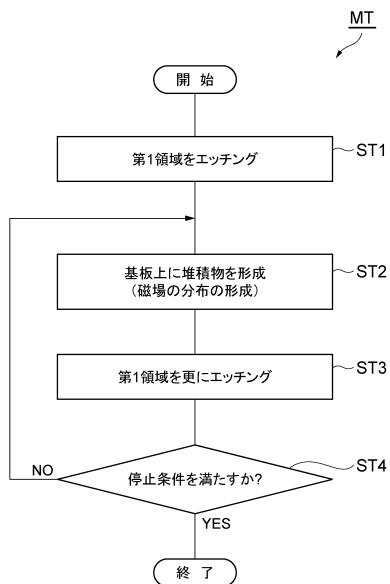
30

40

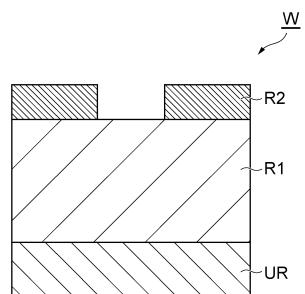
50

【四面】

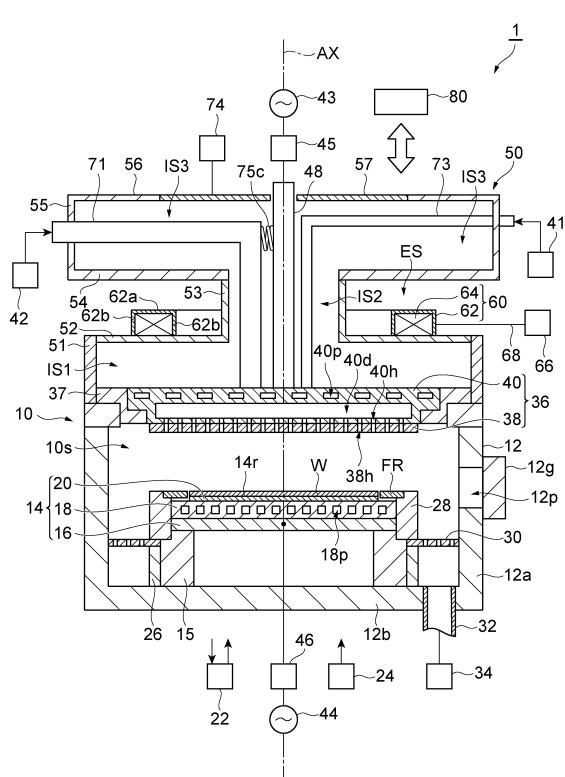
【 四 1 】



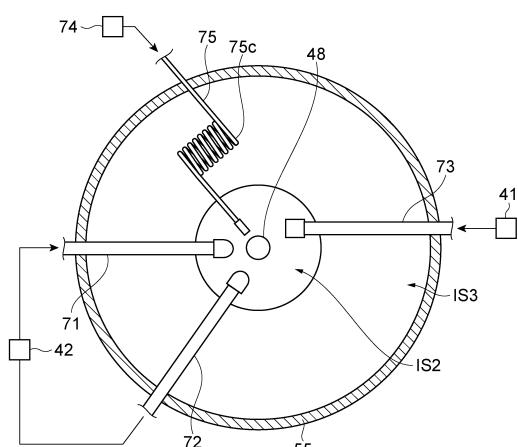
【 図 2 】



【図3】



【図4】



10

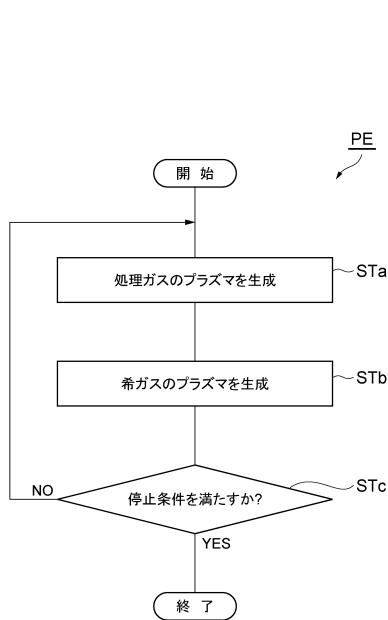
20

30

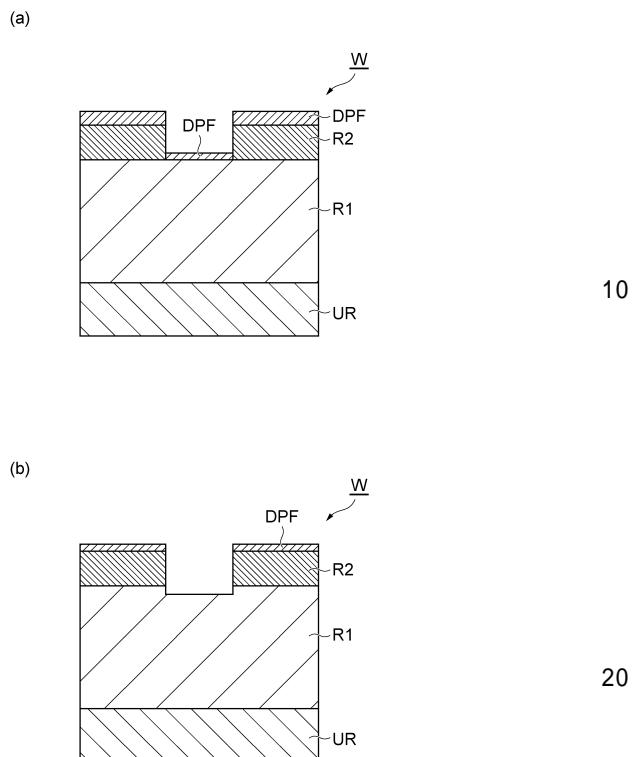
40

50

【図 5】



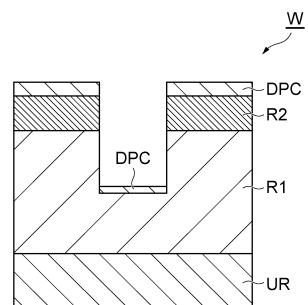
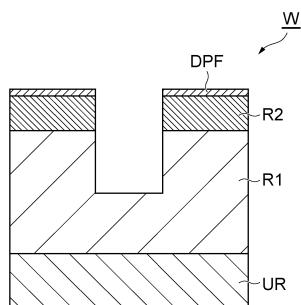
【図 6】



【図 7】

【図 8】

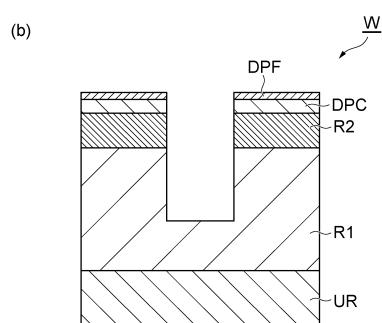
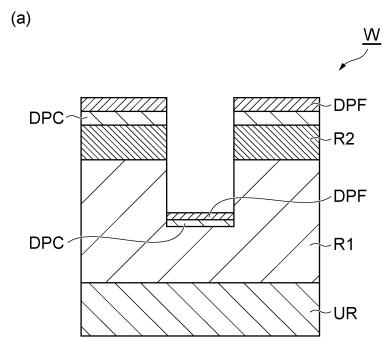
30



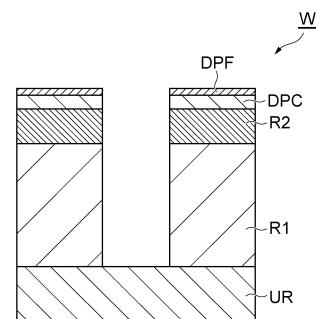
40

50

【図 9】



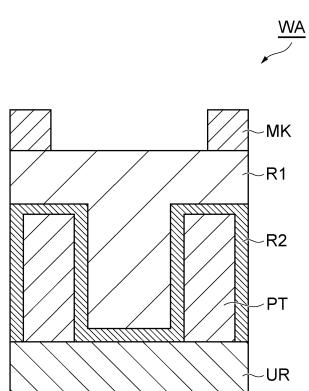
【図 10】



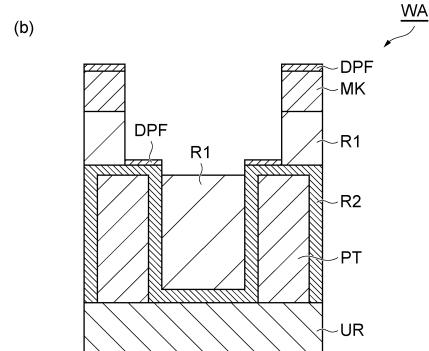
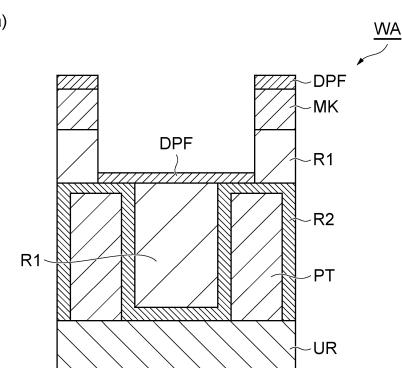
10

20

【図 11】



【図 12】

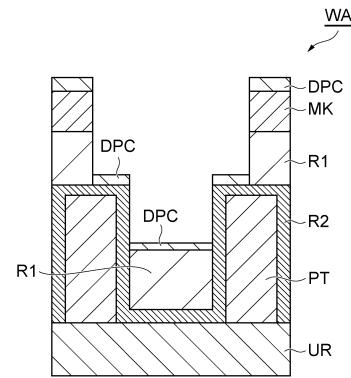
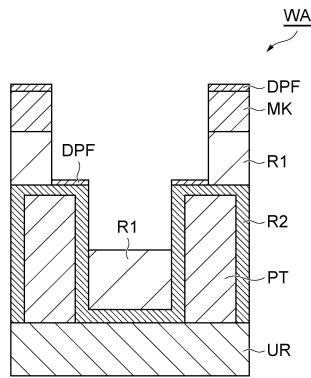


40

50

【図13】

【図14】

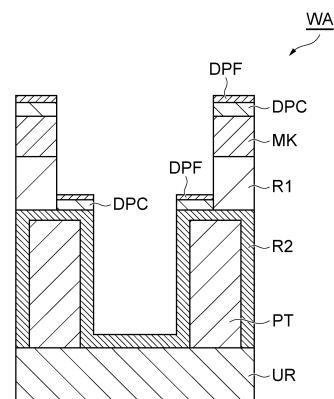
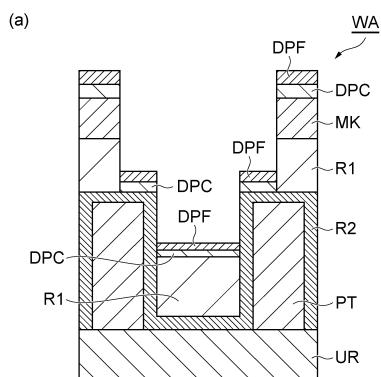


10

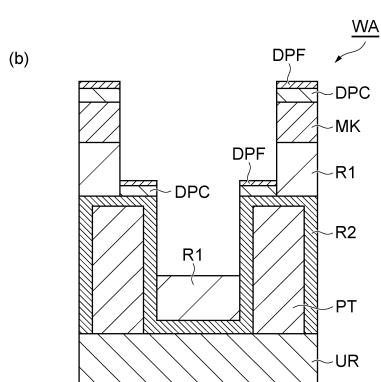
20

【図15】

【図16】



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2007-284794 (JP, A)
特開2001-053061 (JP, A)
特開平09-270416 (JP, A)
特開2013-004679 (JP, A)
特開2018-032720 (JP, A)
特開2017-216284 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H05H 1/46