

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7022651号

(P7022651)

(45)発行日 令和4年2月18日(2022.2.18)

(24)登録日 令和4年2月9日(2022.2.9)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/3065(2006.01)

H 0 1 L

21/302

1 0 5 A

H 0 5 H 1/46 (2006.01)

H 0 5 H

1/46

M

請求項の数 18 (全17頁)

(21)出願番号 特願2018-101397(P2018-101397)

(22)出願日 平成30年5月28日(2018.5.28)

(65)公開番号 特開2019-207911(P2019-207911

A)

(43)公開日 令和1年12月5日(2019.12.5)

審査請求日 令和2年11月18日(2020.11.18)

(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

(74)代理人 100113435

弁理士 黒木 義樹

(74)代理人 100122507

弁理士 柏岡 潤二

(72)発明者 勝沼 隆幸

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

審査官 田中 崇大

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 膜をエッチ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】

チャンパ内で膜をエッチングする方法であって、該膜は開口を画成する側壁面及び底面を有する有機膜であって、該方法は、

前記チャンパ内に前駆体を含む前駆体ガスを供給して前記有機膜上に前記前駆体の層を形成する工程と、

酸素含有ガスから形成されたプラズマからの酸素化学種により前記有機膜をエッチングする工程と、

を含み、

前記有機膜をエッチングする前記工程において、前記プラズマからの前記酸素化学種により前記層が酸化されて保護領域が形成される、方法。

【請求項2】

前記前駆体はシリコンを含有する、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記前駆体は金属を含有する、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記金属はタングステン又はチタンである、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記開口を形成する工程を更に含む、請求項1～3の何れか一項に記載の方法。

【請求項6】

層を形成する前記工程と前記有機膜をエッチングする前記工程が交互に繰り返される、請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

層を形成する前記工程と前記有機膜をエッチングする前記工程は、単一のプラズマ処理装置のチャンバ内に連続して維持される減圧された空間内で、前記有機膜を有する基板を該チャンバから取り出さずに実行される、請求項 1 ～ 6 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記プラズマ処理装置は、容量結合型プラズマ処理装置であり、

前記チャンバと、

下部電極を含み、前記チャンバ内で前記基板を支持するように構成された支持台と、

前記前駆体を含む前駆体ガス及び前記酸素含有ガスを前記チャンバ内に供給するように構成されたガス供給部と、

前記支持台の上方に設けられた上部電極と、

プラズマを生成するための第 1 の高周波電力を前記上部電極に供給するように構成された第 1 の高周波電源と、

基板にイオンを引き込むための第 2 の高周波電力を前記下部電極に供給するように構成された第 2 の高周波電源と、

を備える、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

チャンバ内で膜をエッチングする方法であって、前記膜は開口を画成する側壁面及び底面を有しており、該方法は、

前記チャンバ内に前駆体を含む前駆体ガスを供給して前記膜上に前記前駆体の層を形成する工程と、

処理ガスから形成されたプラズマからの化学種により前記膜をエッチングする工程と、を含み、

前記膜をエッチングする前記工程において、前記プラズマからの前記化学種又は前記プラズマからの別の化学種により前記層から保護領域が形成される、方法。

【請求項 10】

前記膜は、シリコン、炭素、酸素、及び水素を含む低誘電率膜であり、

前記前駆体は、シリコンを含み、

前記膜をエッチングする前記化学種は、フッ素化学種及び窒素化学種を含み、

前記窒素化学種によって前記前駆体が窒化される、

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記膜は、シリコン、炭素、酸素、及び水素を含む低誘電率膜であり、

前記前駆体は、金属を含み、

前記膜をエッチングする前記化学種は、フッ素化学種及び窒素化学種を含み、

前記別の化学種は、酸素化学種を含む、

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】

前記金属はタングステン又はチタンである、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記膜は、多結晶シリコン膜であり、

前記前駆体は、シリコン又は金属を含み、

前記膜をエッチングする前記化学種は、ハロゲン化学種を含み、

前記別の化学種は、酸素化学種を含む、

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 14】

前記金属はタングステン又はチタンである、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記膜は、窒化シリコン膜であり、
前記前駆体は、シリコン又は金属を含み、
前記膜をエッチングする前記化学種は、前記処理ガス中のハイドロフルオロカーボンから形成される化学種を含み、
前記別の化学種は、酸素化学種を含む、
請求項 9 に記載の方法。

【請求項 16】

前記金属はタングステン又はチタンである、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記前駆体の層を形成する前記工程において、プラズマは生成されない、請求項 1 ~ 16 の何れか一項に記載の方法。

10

【請求項 18】

チャンバと、
前記チャンバ内で基板を支持するように構成された支持台と、
前駆体を含む前駆体ガス及び処理ガスを前記チャンバ内に供給するように構成されたガス供給部と、
前記処理ガスのプラズマを生成するよう構成されたプラズマ生成部と、
前記ガス供給部及び前記プラズマ生成部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、
前記支持台上に支持された基板の膜上に前記前駆体の層を形成するために、前記チャンバ内に前記前駆体ガスを供給するよう、前記ガス供給部を制御し、
前記膜をエッチングし、且つ、前記層を変質させて保護領域を形成するために、前記チャンバ内に前記処理ガスを供給し、且つ、該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プラズマ生成部を制御する、
よう構成されている、
プラズマ処理装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本開示の例示的实施形態は、膜をエッチングする方法及びプラズマ処理装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造においては、膜に対するプラズマエッチングが行われる。プラズマエッチングでは、チャンバ内でガスからプラズマが生成される。チャンバ内に配置された基板は、プラズマからの化学種によってエッチングされる。

【0003】

プラズマエッチングでは、膜に形成される開口が横方向（即ち、膜厚方向に直交する方向）に広がることを抑制するために、開口を画成する膜の側壁面上に保護領域が形成されることがある。保護領域を形成することと膜をエッチングすることを含む技術は、例えば、特許文献 1 ~ 3 に記載されている。

40

【0004】

特許文献 1 ~ 3 に記載された技術では有機膜がエッチングされる。特許文献 1 及び 2 に記載された技術では、シリコンを含有する保護領域がスパッタリングによって側壁面上に形成される。保護領域は、有機膜をエッチングする酸素化学種から有機膜を保護する。特許文献 3 に記載された技術では、有機膜は、硫化カルボニル、酸素、及び塩素を含むガスをを用いたプラズマエッチングにより、エッチングされる。プラズマが生成されると、硫黄化学種及び塩化シリコンの化学種が生成される。硫黄化学種及び塩化シリコンの化学種は、側壁面上に保護領域を形成する。特許文献 3 に記載された技術では、有機膜のエッチング

50

と同時に保護領域が形成される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2012-204668号公報

特開2009-049141号公報

特開2015-012178号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

膜をエッチングする化学種から側壁面を保護する保護領域は、膜の開口を閉塞させることなく、面内均一に形成されることが求められる。また、保護領域は、高いアスペクト比を有する開口を画成する側壁面上に形成可能であることが求められる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

一つの例示的实施形態によれば、膜をエッチングする方法が提供される。膜は有機膜である。有機膜は、開口を画成する側壁面及び底面を有する。方法は、(i)有機膜上に前駆体の単分子層を形成する工程と、(ii)酸素含有ガスから形成されたプラズマからの酸素化学種により有機膜をエッチングする工程と、を含む。有機膜をエッチングする工程において、プラズマからの酸素化学種により単分子層が酸化されて保護領域が形成される。

【発明の効果】

【0008】

一つの例示的实施形態に係る膜をエッチングする方法によれば、膜をエッチングする化学種から側壁面を保護する保護領域は、膜の開口を閉塞させることなく、面内均一に形成される。また、保護領域は、高いアスペクト比を有する開口を画成する側壁面上に形成可能である。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】一つの例示的实施形態に係る膜をエッチングする方法を示す流れ図である

【図2】一例の基板の一部拡大断面図である。

【図3】一つの例示的实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4の(a)は図1に示す方法の工程STaの例を説明するための図であり、図4の(b)は工程STaの実行後の状態における一例の基板の一部拡大断面図である。

【図5】図1に示す方法の工程ST1の実行後の状態における一例の基板の一部拡大断面図である。

【図6】図6の(a)は図1に示す方法の工程ST3の例を説明するための図であり、図6の(b)は工程ST3の実行後の状態における一例の基板の一部拡大断面図である。

【図7】図1に示す方法の実行後の状態における一例の基板の一部拡大断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、種々の例示的实施形態について説明する。

【0011】

一つの例示的实施形態においては、膜をエッチングする方法が提供される。膜は有機膜である。有機膜は、開口を画成する側壁面及び底面を有する。方法は、(i)有機膜上に前駆体の単分子層を形成する工程と、(ii)酸素含有ガスから形成されたプラズマからの酸素化学種により有機膜をエッチングする工程と、を含む。有機膜をエッチングする工程において、プラズマからの酸素化学種により単分子層が酸化されて保護領域が形成される。

【0012】

一つの例示的实施形態に係る方法では、保護領域は単分子層から形成される。したがって、保護領域による有機膜の開口の閉塞が抑制され得る。また、保護領域は面内均一に形成

10

20

30

40

50

され得る。また、保護領域は、高いアスペクト比を有する開口を画成する側壁面上にも形成可能である。この方法では、有機膜のエッチングのために生成されるプラズマからの酸素化学種により単分子層が酸化されて、保護領域が形成される。したがって、単分子層を保護領域に変化させるための処理が、有機膜のエッチングと同時に行われる。

【0013】

一つの例示的实施形態において、前駆体は、シリコンを含有していてもよい。一つの例示的实施形態において、前駆体は、金属を含有していてもよい。金属は、タングステン又はチタンであってもよい。

【0014】

一つの例示的实施形態において、方法は、有機膜に上記開口を形成する工程を更に含んでいてもよい。

10

【0015】

一つの例示的实施形態において、単分子層を形成する工程と有機膜をエッチングする工程が交互に繰り返されてもよい。

【0016】

一つの例示的实施形態において、単分子層を形成する工程と有機膜をエッチングする工程は、単一のプラズマ処理装置のチャンバ内に連続して維持される減圧された空間内で、有機膜を有する基板をチャンバから取り出さずに実行されてもよい。

【0017】

一つの例示的实施形態において、プラズマ処理装置は、容量結合型プラズマ処理装置であってもよい。このプラズマ処理装置は、チャンバ、支持台、ガス供給部、第1の高周波電源、及び第2の高周波電源を備え得る。支持台は、下部電極を含み、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。ガス供給部は、前駆体を含む前駆体ガス及び酸素含有ガスをチャンバ内に供給するように構成されている。上部電極は、支持台の上方に設けられている。第1の高周波電源は、プラズマを生成するための第1の高周波電力を上部電極に供給するように構成されている。第2の高周波電源は、基板にイオンを引き込むための第2の高周波電力を下部電極に供給するように構成されている。

20

【0018】

更に別の例示的实施形態においては、膜をエッチングする方法が提供される。膜は開口を画成する側壁面及び底面を有している。方法は、(i)膜上に前駆体の単分子層を形成する工程と、(ii)処理ガスから形成されたプラズマからの化学種により膜をエッチングする工程と、を含む。膜をエッチングする工程において、当該プラズマからの化学種又は当該プラズマからの別の化学種により単分子層から保護領域が形成される。

30

【0019】

一つの例示的实施形態に係る方法では、保護領域は単分子層から形成される。したがって、保護領域による膜の開口の閉塞が抑制され得る。また、保護領域は面内均一に形成され得る。また、保護領域は、高いアスペクト比を有する開口を画成する側壁面上にも形成可能である。この方法では、膜のエッチングのために生成されるプラズマからの化学種又は当該プラズマからの別の化学種が単分子層を変質させ、その結果、保護領域が形成される。したがって、単分子層を保護領域に変化させるための処理が、膜のエッチングと同時に行われる。

40

【0020】

一つの例示的实施形態において、膜は、シリコン、炭素、酸素、及び水素を含む低誘電率膜であってもよい。前駆体は、シリコンを含んでいてもよい。膜をエッチングする化学種は、フッ素化学種及び窒素化学種を含んでいてもよい。この実施形態に係る方法においては、窒素化学種によって前駆体が窒化される。

【0021】

一つの例示的实施形態において、膜は、シリコン、炭素、酸素、及び水素を含む低誘電率膜であってもよい。前駆体は、金属を含んでいてもよい。膜をエッチングする化学種は、フッ素化学種及び窒素化学種を含んでいてもよい。この実施形態に係る方法においては、

50

別の化学種は、酸素化学種を含んでいてもよい。この実施形態に係る方法においては、酸素化学種によって前駆体が酸化される。金属は、タングステン又はチタンであってもよい。

【0022】

一つの例示的实施形態において、膜は、多結晶シリコン膜であってもよい。前駆体は、シリコン又は金属を含んでいてもよい。膜をエッチングする化学種は、ハロゲン化学種を含んでいてもよい。別の化学種は、酸素化学種を含んでいてもよい。この実施形態に係る方法においては、酸素化学種によって前駆体が酸化される。金属は、タングステン又はチタンであってもよい。

【0023】

一つの例示的实施形態において、膜は、窒化シリコン膜であってもよい。前駆体は、シリコン又は金属を含んでいてもよい。膜をエッチングする化学種は、処理ガス中のハイドロフルオロカーボンから形成される化学種を含んでいてもよい。別の化学種は、酸素化学種を含んでいてもよい。この実施形態に係る方法においては、酸素化学種によって前駆体が酸化される。金属は、タングステン又はチタンであってもよい。

【0024】

更に別の例示的实施形態においては、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、支持台、ガス供給部、プラズマ生成部、及び制御部を備える。支持台は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。ガス供給部は、前駆体を含む前駆体ガス及び処理ガスをチャンバ内に供給するように構成されている。プラズマ生成部は、処理ガスのプラズマを生成するよう構成されている。制御部は、支持台上に支持された基板の膜上に前駆体の単分子層を形成するために、チャンバ内に前駆体ガスを供給するよう、ガス供給部を制御するよう構成されている。また、制御部は、膜をエッチングし、且つ、単分子層を変質させて保護領域を形成するために、チャンバ内に処理ガスを供給し、且つ、処理ガスのプラズマを生成するよう、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御するよう構成されている。

【0025】

以下、図面を参照して種々の例示的实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ることとする。

【0026】

図1は、一つの例示的实施形態に係る膜をエッチングする方法を示す流れ図である。図1に示す方法MTは、基板の膜をエッチングするために実行される。図2は、一例の基板の一部拡大断面図である。図2に示す基板Wは、膜EFを有する。基板Wは、下地領域UR及びマスクMKを有していてもよい。

【0027】

膜EFは下地領域UR上に設けられている。マスクMKは膜EF上に設けられている。マスクMKはパターニングされている。即ち、マスクMKは、一以上の開口を提供している。膜EFは、マスクMKの開口から部分的に露出されている。膜EFは任意の材料から形成され得る。マスクMKは、後述する工程ST3においてマスクMKに対して膜EFが選択的にエッチングされる限り、任意の材料から形成され得る。

【0028】

基板Wの第1例において、膜EFは、有機膜である。基板Wの第1例において、マスクMKは、シリコン含有膜である。シリコン含有膜は、例えばシリコンを含有する反射防止膜である。

【0029】

基板Wの第2例において、膜EFは、低誘電率膜であり、シリコン、炭素、酸素、及び水素を含む。即ち、基板Wの第2例において、膜EFは、SiCOH膜である。基板Wの第2例において、マスクMKは、タングステン含有膜、チタン含有膜といった金属含有膜から形成されている。基板Wの第2例において、マスクMKは、フォトレジスト膜といった有機膜、シリコン窒化膜、又はポリシリコン膜から形成されていてもよい。

【0030】

10

20

30

40

50

基板Wの第3例において、膜EFは、多結晶シリコン膜である。基板Wの第3例において、マスクMKは、タングステン含有膜といった金属含有膜から形成されている。基板Wの第3例において、マスクMKは、フォトリジスト膜といった有機膜又はシリコン窒化膜から形成されていてもよい。

【0031】

基板Wの第4例において、膜EFは、シリコン窒化膜である。基板Wの第4例において、マスクMKは、タングステン含有膜、チタン含有膜といった金属含有膜から形成されている。基板Wの第4例において、マスクMKは、フォトリジスト膜といった有機膜又はポリシリコン膜から形成されていてもよい。

【0032】

図1に示すように、方法MTは、工程ST1及び工程ST3を含む。一実施形態において、方法MTは、プラズマ処理装置を用いて実行される。図3は、一つの例示的实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、容量結合型のプラズマ処理装置である。

【0033】

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、その中に内部空間10sを提供している。チャンバ10は、チャンバ本体12を含んでいる。チャンバ本体12は、略円筒形状を有している。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、例えばアルミニウムから形成されている。チャンバ本体12の内壁面上には、耐腐食性を有する膜が設けられている。耐腐食性を有する膜は、酸化アルミニウム、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

【0034】

チャンバ本体12の側壁には、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により開閉可能となっている。ゲートバルブ12gは、チャンバ本体12の側壁に沿って設けられている。

【0035】

チャンバ本体12の底部上には、支持部13が設けられている。支持部13は、絶縁材料から形成されている。支持部13は、略円筒形状を有している。支持部13は、内部空間10sの中で、チャンバ本体12の底部から上方に延在している。支持部13は、支持台14を支持している。支持台14は、内部空間10sの中に設けられている。支持台14は、チャンバ10内、即ち内部空間10sの中で、基板Wを支持するように構成されている。

【0036】

支持台14は、下部電極18及び静電チャック20を有している。支持台14は、電極プレート16を更に有し得る。電極プレート16は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極18は、電極プレート16上に設けられている。下部電極18は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極18は、電極プレート16に電氣的に接続されている。

【0037】

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の上面の上には、基板Wが載置される。静電チャック20は、本体及び電極を有する。静電チャック20の本体は、略円盤形状を有しており、誘電体から形成されている。静電チャック20の電極は、膜状の電極であり、静電チャック20の本体内に設けられている。静電チャック20の電極は、スイッチ20sを介して直流電源20pに接続されている。静電チャック20の電極に直流電源20pからの電圧が印加されると、静電チャック20と基板Wとの間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、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。

【0038】

下部電極18の周縁部上には、基板Wのエッジを囲むように、フォーカスリングFRが配

10

20

30

40

50

置される。フォーカスリングF Rは、基板Wに対するプラズマ処理の面内均一性を向上させるために設けられている。フォーカスリングF Rは、限定されるものではないが、シリコン、炭化シリコン、又は石英から形成され得る。

【0039】

下部電極18の内部には、流路18fが設けられている。流路18fには、チャンバ10の外部に設けられているチラーユニット22から配管22aを介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路18fに供給された熱交換媒体は、配管22bを介してチラーユニット22に戻される。プラズマ処理装置1では、静電チャック20上に載置された基板Wの温度が、熱交換媒体と下部電極18との熱交換により、調整される。

【0040】

プラズマ処理装置1には、ガス供給ライン24が設けられている。ガス供給ライン24は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス（例えばHeガス）を、静電チャック20の上面と基板Wの裏面との間に供給する。

【0041】

プラズマ処理装置1は、上部電極30を更に備えている。上部電極30は、支持台14の上方に設けられている。上部電極30は、部材32を介して、チャンバ本体12の上部に支持されている。部材32は、絶縁性を有する材料から形成されている。上部電極30と部材32は、チャンバ本体12の上部開口を閉じている。

【0042】

上部電極30は、天板34及び支持体36を含み得る。天板34の下面は、内部空間10sの側の下面であり、内部空間10sを画成している。天板34は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体又は半導体から形成され得る。天板34には、複数のガス吐出孔34aが形成されている。複数のガス吐出孔34aは、天板34をその板厚方向に貫通している。

【0043】

支持体36は、天板34を着脱自在に支持する。支持体36は、アルミニウムといった導電性材料から形成される。支持体36の内部には、ガス拡散室36aが設けられている。支持体36には、複数のガス孔36bが形成されている。複数のガス孔36bは、ガス拡散室36aから下方に延びている。複数のガス孔36bは、複数のガス吐出孔34aにそれぞれ連通している。支持体36には、ガス導入口36cが形成されている。ガス導入口36cは、ガス拡散室36aに接続している。ガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。

【0044】

ガス供給管38には、バルブ群41、流量制御器群42、及びバルブ群43を介して、ガスソース群40が接続されている。ガスソース群40、バルブ群41、流量制御器群42、及びバルブ群43は、ガス供給部GSを構成している。ガスソース群40は、複数のガスソースを含んでいる。ガスソース群40の複数のガスソースは、方法MTで利用される複数のガスのソースを含んでいる。バルブ群41及びバルブ群43の各々は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群42は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群42の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。ガスソース群40の複数のガスソースの各々は、バルブ群41の対応の開閉バルブ、流量制御器群42の対応の流量制御器、及びバルブ群43の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管38に接続されている。

【0045】

プラズマ処理装置1では、チャンバ本体12の内壁面に沿って、シールド46が着脱自在に設けられている。シールド46は、支持部13の外周にも設けられている。シールド46は、チャンバ本体12にエッチング副生物が付着することを防止する。シールド46は、例えば、アルミニウムから形成された母材の表面に耐腐食性を有する膜を形成することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

【0046】

10

20

30

40

50

支持部 1 3 とチャンバ本体 1 2 の側壁との間には、バッフルプレート 4 8 が設けられている。バッフルプレート 4 8 は、例えば、アルミニウムから形成された母材の表面に耐腐食性を有する膜を形成することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。バッフルプレート 4 8 には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 4 8 の下方、且つ、チャンバ本体 1 2 の底部には、排気口 1 2 e が設けられている。排気口 1 2 e には、排気管 5 2 を介して排気装置 5 0 が接続されている。排気装置 5 0 は、圧力調整弁及びターボ分子ポンプといった真空ポンプを有している。

【 0 0 4 7 】

プラズマ処理装置 1 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 を更に備えている。第 1 の高周波電源 6 2 は、第 1 の高周波電力を発生する電源である。第 1 の高周波電力は、プラズマの生成に適した周波数を有する。第 1 の高周波電力の周波数は、例えば 2 7 M H z ~ 1 0 0 M H z の範囲内の周波数である。第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 及び電極プレート 1 6 を介して上部電極 3 0 に接続されている。整合器 6 6 は、第 1 の高周波電源 6 2 の出力インピーダンスと負荷側（上部電極 3 0 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有している。なお、第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 を介して、下部電極 1 8 に接続されていてもよい。第 1 の高周波電源 6 2 は、一例のプラズマ生成部を構成している。

10

【 0 0 4 8 】

第 2 の高周波電源 6 4 は、第 2 の高周波電力を発生する電源である。第 2 の高周波電力は、第 1 の高周波電力の周波数よりも低い周波数を有する。第 1 の高周波電力と共に第 2 の高周波電力が用いられる場合には、第 2 の高周波電力は基板 W にイオンを引き込むためのバイアス用の高周波電力として用いられる。第 2 の高周波電力の周波数は、例えば 4 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 6 M H z の範囲内の周波数である。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 及び電極プレート 1 6 を介して下部電極 1 8 に接続されている。整合器 6 8 は、第 2 の高周波電源 6 4 の出力インピーダンスと負荷側（下部電極 1 8 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有している。

20

【 0 0 4 9 】

なお、第 1 の高周波電力を用いずに、第 2 の高周波電力を用いて、即ち、単一の高周波電力のみを用いてプラズマを生成してもよい。この場合には、第 2 の高周波電力の周波数は、1 3 . 5 6 M H z よりも大きな周波数、例えば 4 0 M H z であってもよい。この場合には、プラズマ処理装置 1 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び整合器 6 6 を備えていなくてもよい。この場合において、第 2 の高周波電源 6 4 は一例のプラズマ生成部を構成する。

30

【 0 0 5 0 】

プラズマ処理装置 1 においてプラズマが生成される場合には、ガスが、ガス供給部 G S から内部空間 1 0 s に供給される。また、第 1 の高周波電力及び / 又は第 2 の高周波電力が供給されることにより、上部電極 3 0 と下部電極 1 8 との間で高周波電界が生成される。生成された高周波電界によって、ガスが励起される。その結果、プラズマが生成される。

【 0 0 5 1 】

プラズマ処理装置 1 は、制御部 8 0 を更に備え得る。制御部 8 0 は、プロセッサ、メモリといった記憶部、入力装置、表示装置、信号の入出力インターフェイス等を備えるコンピュータであり得る。制御部 8 0 は、プラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 8 0 では、入力装置を用いて、オペレータがプラズマ処理装置 1 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うことができる。また、制御部 8 0 では、表示装置により、プラズマ処理装置 1 の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、制御部 8 0 の記憶部には、制御プログラム及びレシピデータが格納されている。制御プログラムは、プラズマ処理装置 1 で各種処理を実行するために、制御部 8 0 のプロセッサによって実行される。制御部 8 0 のプロセッサが、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 の各部を制御することにより、方法 M T がプラズマ処理装置 1 で実行される。

40

【 0 0 5 2 】

50

再び図 1 を参照して、方法 M T について詳細に説明する。以下の説明では、プラズマ処理装置 1 を用いて図 2 に示す基板 W が処理される場合を例として、方法 M T を説明する。なお、方法 M T では、他のプラズマ処理装置が用いられてもよい。方法 M T では、他の基板が処理されてもよい。

【 0 0 5 3 】

方法 M T は、基板 W が支持台 1 4 上に載置された状態で実行される。一実施形態において方法 M T は、工程 S T a で開始される。工程 S T a では、プラズマエッチングにより、膜 E F がエッチングされる。

【 0 0 5 4 】

工程 S T a では、チャンバ 1 0 内で処理ガスからプラズマ P L a が生成される。上述した基板 W の第 1 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が有機膜である場合には、工程 S T a で用いられる処理ガスは、酸素含有ガスを含み得る。酸素含有ガスは、例えば酸素ガス、一酸化炭素ガス、又は二酸化炭素ガスを含む。或いは、基板 W の第 1 例が処理される場合に、工程 S T a で用いられる処理ガスは、窒素ガス及び / 又は水素ガスを含んでいてもよい。

10

【 0 0 5 5 】

上述した基板 W の第 2 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が低誘電率膜である場合には、工程 S T a で用いられる処理ガスは、フッ素を含有するガスを含み得る。フッ素を含有するガスは、例えばフルオロカーボンガスである。フルオロカーボンガスは、例えば C 4 F 8 ガスである。

20

【 0 0 5 6 】

上述した基板 W の第 3 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が多結晶シリコン膜である場合には、工程 S T a で用いられる処理ガスは、ハロゲン含有ガスを含み得る。ハロゲン含有ガスは、例えば H B r ガス、C l 2 ガス、又は S F 6 ガスである。

【 0 0 5 7 】

上述した基板 W の第 4 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が窒化シリコン膜である場合には、工程 S T a で用いられる処理ガスは、ハイドロフルオロカーボンガスを含み得る。ハイドロフルオロカーボンガスは、例えば C H 3 F ガスである。

【 0 0 5 8 】

工程 S T a では、図 4 の (a) に示すように、プラズマ P L a からの化学種が膜 E F に照射されて、膜 E F が当該化学種によってエッチングされる。工程 S T a では、膜 E F は、膜 E F の下面と膜 E F の上面との間の位置までエッチングされる。膜 E F の下面は、下地領域 U R と接触する膜 E F の面である。膜 E F の上面は、マスク M K の開口から露出された膜 E F の表面である。工程 S T a が実行されると、図 4 の (b) に示すように、膜 E F に開口 O P が形成される。開口 O P は、膜 E F の側壁面 S S 及び底面 B S によって画成される。

30

【 0 0 5 9 】

工程 S T a において、制御部 8 0 は、内部空間 1 0 s の中の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置 5 0 を制御する。工程 S T a において、制御部 8 0 は、処理ガスを内部空間 1 0 s に供給するよう、ガス供給部 G S を制御する。工程 S T a において、制御部 8 0 は、処理ガスからプラズマを生成するためにプラズマ生成部を制御する。一実施形態における工程 S T a では、制御部 8 0 は、第 1 の高周波電力及び / 又は第 2 の高周波電力を供給するよう、第 1 の高周波電源 6 2 及び / 又は第 2 の高周波電源 6 4 を制御する。

40

【 0 0 6 0 】

工程 S T a のプラズマエッチングは、後述する工程 S T 3 のプラズマエッチングと同様のプラズマエッチングであってもよい。この場合の工程 S T a のプラズマエッチングの詳細及び工程 S T a における制御部 8 0 による制御については、工程 S T 3 の説明を参照されたい。

【 0 0 6 1 】

なお、方法 M T は、工程 S T a を含んでいなくてもよい。この場合には、方法 M T が適用

50

される基板の膜 E F には、開口 O P が予め設けられる。

【 0 0 6 2 】

方法 M T では、工程 S T 1 が実行される。工程 S T 1 では、図 5 に示すように、基板 W 上に前駆体の単分子層 M L が形成される。単分子層 M L は、側壁面 S S 及び底面 B S 上に形成される。単分子層 M L は、マスク M K 上にも形成される。単分子層 M L を構成する前駆体は、後述する工程 S T 3 の実行中に変質して保護領域 P R を形成し、且つ、保護領域 P R が膜 E F をエッチングする活性種から側壁面 S S を保護する限り、任意の前駆体であり得る。

【 0 0 6 3 】

工程 S T 1 では、前駆体を含む前駆体ガスが開口 O P を有する基板 W に供給される。一実施形態では、前駆体ガスは内部空間 1 0 s に供給される。工程 S T 1 では、前駆体ガスと共にキャリアガスが供給されてもよい。キャリアガスは、不活性ガスであり得る。不活性ガスは、例えば希ガス又は窒素ガスである。工程 S T 1 の実行中には、チャンバ 1 0 内でプラズマは生成されない。

【 0 0 6 4 】

上述した基板 W の第 1 例 ~ 第 4 例の何れが処理される場合であっても、工程 S T 1 で用いられる前駆体ガスは、シリコン含有ガス又は金属含有ガスである。シリコン含有ガスは、前駆体としてシリコン含有物を含む。シリコン含有ガスは、例えばアミノシランガスである。金属含有ガスは、前駆体として金属含有物を含む。金属含有物は、例えばタングステン又はチタンを含む。金属含有ガスは、例えばタングステン含有ガス又はチタン含有ガスである。タングステン含有ガスは、六フッ化タングステンガス、六塩化タングステンガスといったハロゲン化タングステンガスであり得る。チタン含有ガスは、四フッ化チタンガス、四塩化チタンガスといったハロゲン化チタンガスであり得る。

【 0 0 6 5 】

工程 S T 1 において、制御部 8 0 は、内部空間 1 0 s の中の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置 5 0 を制御する。工程 S T 1 において、制御部 8 0 は、前駆体ガスを内部空間 1 0 s に供給するよう、ガス供給部 G S を制御する。工程 S T 1 では、前駆体ガスと共にキャリアガスが供給されてもよい。キャリアガスは不活性ガスである。不活性ガスは、例えば希ガス又は窒素ガスである。

【 0 0 6 6 】

方法 M T では、工程 S T 1 と工程 S T 3 との間に、工程 S T 2 が実行されてもよい。工程 S T 2 では、内部空間 1 0 s のパージが実行される。工程 S T 2 では、制御部 8 0 は、内部空間 1 0 s の排気を実行するよう、排気装置 5 0 を制御する。工程 S T 2 では、制御部 8 0 は、内部空間 1 0 s に不活性ガスを供給するよう、ガス供給部 G S を制御してもよい。工程 S T 2 の実行により、内部空間 1 0 s の中の前駆体ガスが不活性ガスに置換される。工程 S T 2 の実行により、基板 W 上に吸着している過剰な前駆体が除去されてもよい。この場合には、工程 S T 1 の前駆体ガスの供給と工程 S T 2 のパージの結果、単分子層 M L が形成される。

【 0 0 6 7 】

工程 S T 3 では、プラズマエッチングにより膜 E F がエッチングされる。工程 S T 3 では、チャンバ 1 0 内で処理ガスからプラズマ P L 3 が生成される。工程 S T 3 では、図 6 の (a) に示すように処理ガスのプラズマからの活性種が膜 E F に照射され、図 6 の (b) に示すように膜 E F がエッチングされる。工程 S T 3 では、膜 E F をエッチングする化学種又はプラズマ P L 3 からの別の化学種と単分子層 M L 中の前駆体とが反応して、単分子層 M L から保護領域 P R が形成される。

【 0 0 6 8 】

上述した基板 W の第 1 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が有機膜である場合には、工程 S T 3 で用いられる処理ガスは、酸素含有ガスを含み得る。酸素含有ガスは、例えば酸素ガス、一酸化炭素ガス、又は二酸化炭素ガスを含む。工程 S T 3 では、処理ガスは、硫化カルボニルガスを更に含んでいてもよい。基板 W の第 1 例が処理される場合には、

10

20

30

40

50

プラズマ P L 3 からの酸素化学種によって膜 E F がエッチングされる。また、プラズマ P L 3 からの酸素化学種と単分子層 M L 中の前駆体との反応により保護領域 P R が形成される。単分子層 M L 中の前駆体がシリコン含有物である場合には、保護領域 P R は酸化シリコンから形成される。単分子層 M L 中の前駆体が金属含有物である場合には、保護領域 P R は金属酸化物（例えば酸化タングステン又は酸化チタン）から形成される。

【 0 0 6 9 】

上述した基板 W の第 2 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が低誘電率膜である場合には、工程 S T 3 で用いられる処理ガスは、フッ素及び窒素を含む。例えば、処理ガスは、フルオロカーボンガス及び窒素含有ガスを含む。フルオロカーボンガスは、例えば C 4 F 8 ガスである。窒素含有ガスは、例えば窒素ガス（N 2 ガス）である。処理ガスは、希ガス（例えば A r ガス）及び酸素ガス（O 2 ガス）を更に含んでもよい。基板 W の第 2 例が処理される場合には、プラズマ P L 3 からのフッ素化学種及び窒素化学種によって膜 E F がエッチングされる。単分子層 M L 中の前駆体がシリコン含有物である場合には、工程 S T 3 において、プラズマ P L 3 からの窒素化学種と単分子層 M L 中のシリコン含有物との反応により保護領域 P R が形成される。この場合には、保護領域 P R は窒化シリコンから形成される。単分子層 M L 中の前駆体が金属含有物である場合には、工程 S T 3 において、プラズマ P L 3 からの酸素化学種と単分子層 M L 中の金属含有物との反応により保護領域 P R が形成される。この場合には、保護領域 P R は金属酸化物（例えば酸化タングステン又は酸化チタン）から形成される。なお、プラズマ P L 3 からの酸素化学種は、工程 S T 3 で基板 W 上に形成される炭素含有堆積物の量を減少させる。

【 0 0 7 0 】

上述した基板 W の第 3 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が多結晶シリコン膜である場合には、工程 S T 3 で用いられる処理ガスは、ハロゲン含有ガス及び酸素含有ガスを含み得る。ハロゲン含有ガスは、H B r ガス、C l 2 ガス、又は S F 6 ガスである。酸素含有ガスは、例えば酸素ガス、一酸化炭素ガス、又は二酸化炭素ガスを含む。基板 W の第 3 例が処理される場合には、プラズマ P L 3 からのハロゲン化学種によって膜 E F がエッチングされる。また、プラズマ P L 3 からの酸素化学種と単分子層 M L 中の前駆体との反応により保護領域 P R が形成される。単分子層 M L 中の前駆体がシリコン含有物である場合には、保護領域 P R は酸化シリコンから形成される。単分子層 M L 中の前駆体が金属含有物である場合には、保護領域 P R は金属酸化物（例えば酸化タングステン又は酸化チタン）から形成される。

【 0 0 7 1 】

上述した基板 W の第 4 例が処理される場合、即ち基板 W の膜 E F が窒化シリコン膜である場合には、工程 S T 3 で用いられる処理ガスは、ハイドロフルオロカーボンガス及び酸素含有ガスを含み得る。ハイドロフルオロカーボンガスは、例えば C H 3 F ガスである。酸素含有ガスは、例えば酸素ガス、一酸化炭素ガス、又は二酸化炭素ガスを含む。工程 S T 3 で用いられる処理ガスは、希ガス（例えば A r ガス）を更に含んでもよい。基板 W の第 4 例が処理される場合には、処理ガス中のハイドロフルオロカーボンガスから形成された化学種によって、膜 E F がエッチングされる。また、プラズマ P L 3 からの酸素化学種と単分子層 M L 中の前駆体との反応により保護領域 P R が形成される。単分子層 M L 中の前駆体がシリコン含有物である場合には、保護領域 P R は酸化シリコンから形成される。単分子層 M L 中の前駆体が金属含有物である場合には、保護領域 P R は金属酸化物（例えば酸化タングステン又は酸化チタン）から形成される。なお、プラズマ P L 3 からの酸素化学種は、工程 S T 3 で基板 W 上に形成される炭素含有堆積物の量を減少させる。

【 0 0 7 2 】

工程 S T 3 において、制御部 8 0 は、内部空間 1 0 s 中の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置 5 0 を制御する。工程 S T 3 において、制御部 8 0 は、処理ガスを内部空間 1 0 s に供給するよう、ガス供給部 G S を制御する。工程 S T 3 において、制御部 8 0 は、処理ガスからプラズマを生成するためにプラズマ生成部を制御する。一実施形態における工程 S T 3 では、制御部 8 0 は、第 1 の高周波電力及び / 又は第 2 の高周波電力

を供給するよう、第 1 の高周波電源 6 2 及び / 又は第 2 の高周波電源 6 4 を制御する。

【 0 0 7 3 】

方法 M T では、工程 S T 3 の実行後に、工程 S T 4 が実行されてもよい。工程 S T 4 では、内部空間 1 0 s のパージが実行される。工程 S T 4 は、工程 S T 2 と同様の工程である。

【 0 0 7 4 】

続く工程 S T 5 では、停止条件が満たされているか否かが判定される。停止条件は、工程 S T 1 と工程 S T 3 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、満たされるものと判定される。工程 S T 5 において、停止条件が満たされていないと判定されると、工程 S T 1 からの処理が再び実行される。工程 S T 1 及び工程 S T 3 の交互の繰り返しの結果、開口 O P の深さが増大される。例えば図 7 に示すように、開口 O P は、下地領域 U R の表面に達するように形成される。工程 S T 5 において停止条件が満たされていると判定されると、方法 M T は終了する。なお、工程 S T 1 と工程 S T 3 を含むシーケンスは、1 回だけ実行されてもよい。この場合には、工程 S T 5 の実行は不要である。

10

【 0 0 7 5 】

方法 M T では、膜 E F のエッチング中（即ち、工程 S T 3 の実行中）に、保護領域 P R によって側壁面 S S が保護される。したがって、膜 E F をエッチングする化学種によって側壁面 S S がエッチングされて、開口 O P が横方向（即ち、膜 E F の膜厚方向に直交する方向）に拡がるのが抑制される。なお、工程 S T 3 の実行中、単分子層 M L の全領域のうち膜 E F 上で延在する領域及びマスク M K の上面の上で延在する領域は、これら領域に向けられたイオンフラックスが大きいので、エッチングされる。

20

【 0 0 7 6 】

上述したように、方法 M T では、保護領域 P R は単分子層 M L から形成される。したがって、保護領域 P R による膜 E F の開口の閉塞が抑制され得る。また、保護領域 P R は面内均一に形成され得る。また、保護領域 P R は、高いアスペクト比を有する開口 O P を画成する側壁面上にも形成可能である。方法 M T では、膜 E F のエッチングのために生成されるプラズマ P L 3 からの化学種又はプラズマ P L 3 からの別の化学種が単分子層を変質させ、その結果、保護領域 P R が形成される。したがって、単分子層 M L を保護領域 P R に変化させるための処理が、膜 E F のエッチングと同時にされる。

【 0 0 7 7 】

一実施形態では、上述したように、工程 S T 1 と工程 S T 3 は、内部空間 1 0 s の中で、基板 W をチャンバ 1 0 から取り出さずに実行されてもよい。即ち、方法 M T は、単一のプラズマ処理装置のチャンバ内に連続して維持される減圧された空間内で、基板 W をチャンバから取り出さずに実行されてもよい。

30

【 0 0 7 8 】

以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实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ることで他の実施形態を形成することが可能である。

【 0 0 7 9 】

例えば、工程 S T 1 の実行に用いられる装置と工程 S T 3 の実行に用いられるプラズマ処理装置は、異なる装置であってもよい。工程 S T a の実行に用いられるプラズマ装置も、工程 S T 1 の実行に用いられる装置と工程 S T 3 の実行に用いられるプラズマ処理装置と異なってもよい。

40

【 0 0 8 0 】

また、方法 M T の実行に用いられるプラズマ処理装置は、任意のタイプのプラズマ処理装置であってもよい。例えば、方法 M T の実行に用いられるプラズマ処理装置は、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プラズマの生成のために用いるプラズマ処理装置であってもよい。

【 0 0 8 1 】

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

50

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】

【 0 0 8 2 】

M T ...膜をエッチングする方法、 E F ...膜、 O P ...開口、 S S ...側壁面、 B S ...底面、 M L ...単分子層、 P R ...保護領域、 P L 3 ...プラズマ。

10

20

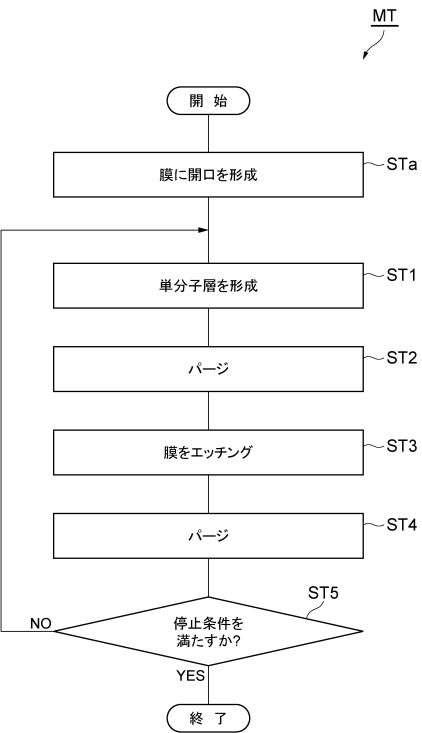
30

40

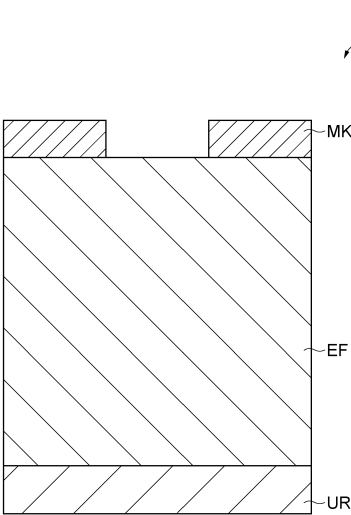
50

【図面】

【図 1】



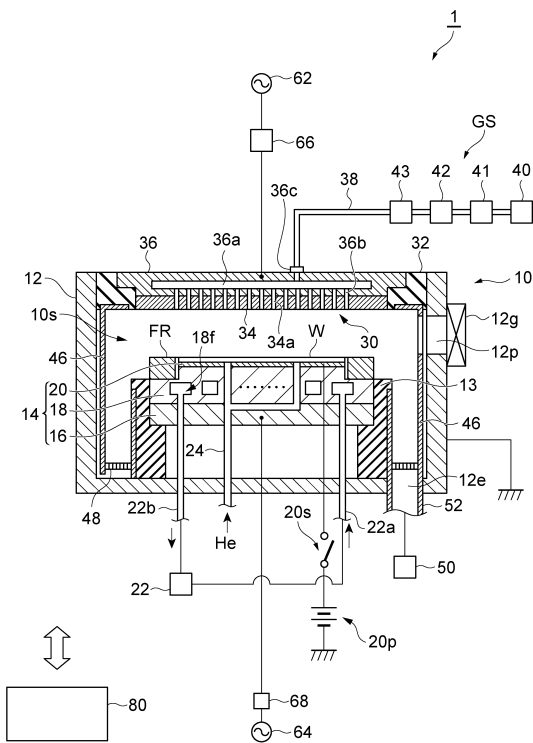
【図 2】



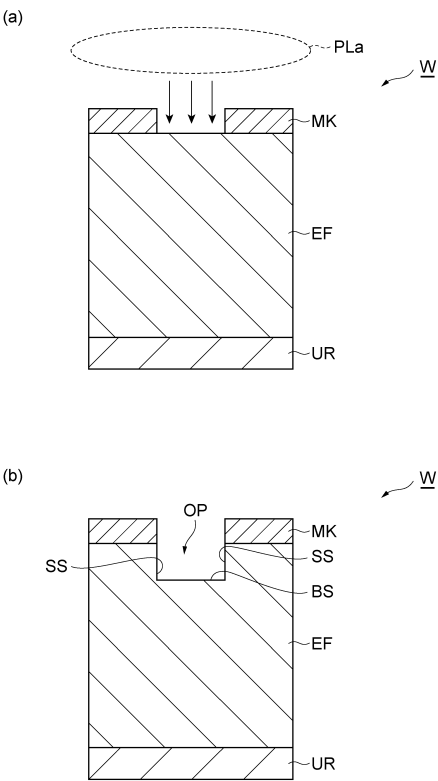
10

20

【図 3】



【図 4】

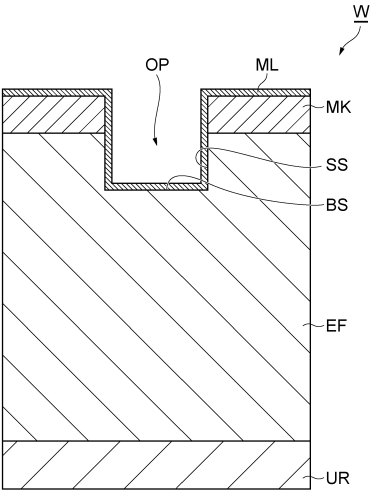


30

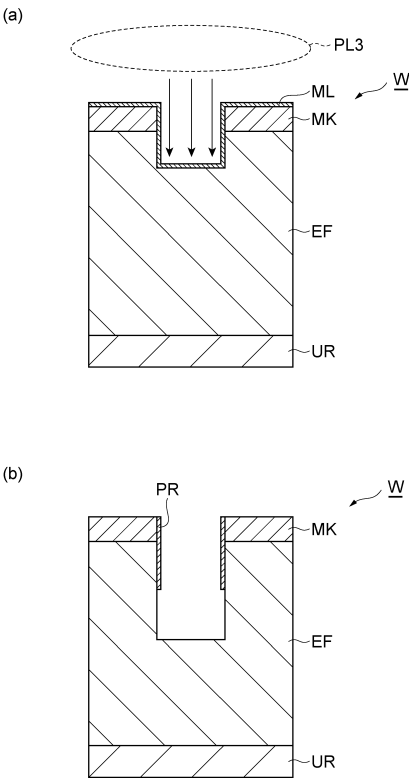
40

50

【図 5】



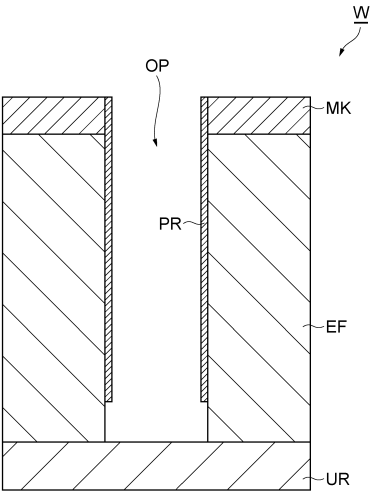
【図 6】



10

20

【図 7】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 2 0 4 6 6 8 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 1 1 1 2 7 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 0 5 0 0 5 5 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 0 8 0 9 8 2 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
H 0 5 H 1 / 4 6