

(19)日本国特許庁(JP)

**(12)特許公報(B2)**

(11)特許番号  
**特許第7126381号**  
**(P7126381)**

(45)発行日 令和4年8月26日(2022.8.26)

(24)登録日 令和4年8月18日(2022.8.18)

(51)国際特許分類

C 2 3 C	16/505 (2006.01)	F I	C 2 3 C	16/505
H 0 1 L	21/3065(2006.01)		H 0 1 L	21/302 1 0 1 B
H 0 1 L	21/31 (2006.01)		H 0 1 L	21/31 C
H 0 1 L	21/316 (2006.01)		H 0 1 L	21/316 X

請求項の数 12 (全16頁)

(21)出願番号 特願2018-97404(P2018-97404)  
(22)出願日 平成30年5月21日(2018.5.21)  
(65)公開番号 特開2019-203155(P2019-203155)  
A)  
(43)公開日 令和1年11月28日(2019.11.28)  
審査請求日 令和3年2月16日(2021.2.16)

(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  
山涌 純  
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  
(72)発明者 山本 一郎  
審査官

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 成膜装置および成膜方法

**(57)【特許請求の範囲】****【請求項1】**

基板上にプラズマALDにより所定の膜を成膜する成膜装置であつて、  
基板を収容するチャンバーと、  
前記チャンバー内で基板を支持するステージと、  
前記ステージに対向して設けられ、導電性の上部電極および該上部電極と絶縁された導電性のシャワープレートを有し、成膜のための成膜原料ガスおよび反応ガスを含むガスが供給され、該ガスを前記チャンバー内に導入するシャワーHEADと、  
前記ステージに含まれる電極と、  
前記上部電極に接続された第1高周波電源と、  
前記電極に接続された第2高周波電源と  
を備え、

前記第1高周波電源から前記上部電極に高周波電力が供給されることにより、前記上部電極および前記シャワープレートの間に高周波電界が形成されて、第1の容量結合プラズマが生成され、

前記第2高周波電源から前記電極に高周波電力が供給されることにより、前記シャワープレートと前記電極との間に高周波電界が形成されて、前記第1の容量結合プラズマとは独立した第2の容量結合プラズマが生成され、

前記第1の容量結合プラズマにより前記反応ガスが解離され、主に反応ガスのラジカルが前記成膜原料ガスと反応して、前記基板上に所定の膜が成膜される、成膜装置。

**【請求項 2】**

基板上にプラズマ A L D により所定の膜を成膜する成膜装置であって、  
基板を収容するチャンバーと、  
前記チャンバー内で基板を支持するステージと、  
前記ステージに対向して設けられ、導電性の上部電極および該上部電極と絶縁された導電性のシャワープレートを有し、成膜のための成膜原料ガスおよび反応ガスを含むガスが供給され、該ガスを前記チャンバー内に導入するシャワーヘッドと、  
前記ステージに含まれる電極と、  
前記上部電極に接続された第 1 高周波電源と、  
前記電極に接続された第 2 高周波電源と  
を備え、  
前記第 1 高周波電源から前記上部電極に高周波電力が供給されることにより、前記上部電極および前記シャワープレートの間に高周波電界が形成されて、第 1 の容量結合プラズマが生成され、  
前記第 2 高周波電源から前記電極に高周波電力が供給されることにより、前記シャワープレートと前記電極との間に高周波電界が形成されて、前記第 1 の容量結合プラズマとは独立した第 2 の容量結合プラズマが生成され、  
前記第 2 の容量結合プラズマにより、前記基板に形成された膜が、主にイオンアシストによりエッチングされる、成膜装置。

10

**【請求項 3】**

前記第 1 の容量結合プラズマは、前記シャワーヘッド内のガス拡散空間内にリモートプラズマとして形成され、前記シャワープレートを通過した主に反応ガスのラジカルが前記基板に供給される、請求項 2 に記載の成膜装置。

20

**【請求項 4】**

前記シャワープレートの直下に設けられ、前記シャワープレートを通過する前記第 1 の容量結合プラズマ中のイオンを除去するイオントラップをさらに備える、請求項 2 または請求項 3 に記載の成膜装置。

**【請求項 5】**

前記第 1 高周波電源に替えて、または前記第 1 高周波電源に加えて、前記上部電極に DC パルスを印加する DC パルス印加ユニットを備える、請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の成膜装置。

30

**【請求項 6】**

前記シャワープレートは接地されている、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の成膜装置。

**【請求項 7】**

前記シャワープレートには接地ラインが接続され、前記接地ラインに設けられたインピーダンス調整回路をさらに備える、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の成膜装置。

**【請求項 8】**

前記電極に接続された、前記基板に高周波バイアスを印加する機能を有する第 3 の高周波電源をさらに備える、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の成膜装置。

40

**【請求項 9】**

基板上にプラズマ A L D により所定の膜を成膜する成膜方法であって、  
 基板に対して成膜原料ガスを間欠的に供給する第 1 工程と、  
 前記成膜原料ガスを供給していない期間に間欠的に第 1 の容量結合プラズマにより反応ガスを解離させて主に反応ガスのラジカルを前記基板に供給する第 2 工程と、  
 任意のタイミングで、前記第 1 の容量結合プラズマとは独立して、基板にイオンアシストによるエッチング作用を及ぼす第 2 の容量結合プラズマを生成する第 3 工程とを有し、

前記第 3 工程を、前記第 2 工程と同様のタイミングまたは前記第 2 工程を行タイミング

50

の一部で実施する、成膜方法。

**【請求項 10】**

基板上にプラズマ A L D により所定の膜を成膜する成膜方法であって、  
基板に対して成膜原料ガスを間欠的に供給する第 1 工程と、  
前記成膜原料ガスを供給していない期間に間欠的に第 1 の容量結合プラズマにより反応  
ガスを解離させて主に反応ガスのラジカルを前記基板に供給する第 2 工程と、  
任意のタイミングで、前記第 1 の容量結合プラズマとは独立して、基板にイオニアシス  
トによるエッティング作用を及ぼす第 2 の容量結合プラズマを生成する第 3 工程と  
を有し、

前記第 2 工程を行うタイミングの一部を、前記第 3 工程で置き換えて実施する、成膜方  
法。

**【請求項 11】**

基板を収容するチャンバーと、前記チャンバー内で基板を支持するステージと、前記ス  
テージに対向して設けられ、導電性の上部電極および該上部電極と絶縁された導電性のシ  
ャワープレートを有し、成膜のための成膜原料ガスおよび反応ガスを含むガスが供給され  
、該ガスを前記チャンバー内に導入するシャワーヘッドと、前記ステージに含まれる電極  
と、前記上部電極に接続された第 1 高周波電源と、前記電極に接続された第 2 高周波電源  
とを備え、前記第 1 高周波電源から前記上部電極に高周波電力が供給されることにより、  
前記上部電極および前記シャワープレートの間に高周波電界が形成されて、第 1 の容量結  
合プラズマが生成され、前記第 2 高周波電源から前記電極に高周波電力が供給されること  
により、前記シャワープレートと前記電極との間に高周波電界が形成されて、前記第 1 の  
容量結合プラズマとは独立した第 2 の容量結合プラズマが生成される成膜装置において、  
基板上にプラズマ A L D により所定の膜を成膜する成膜方法であって、

基板に対して前記成膜原料ガスを間欠的に供給する第 1 工程と、

前記成膜原料ガスを供給していない期間に間欠的に前記第 1 の容量結合プラズマにより  
前記反応ガスを解離させて主に反応ガスのラジカルを前記基板に供給する第 2 工程と、  
任意のタイミングで、前記第 1 の容量結合プラズマとは独立して、基板にイオニアシス  
トによるエッティング作用を及ぼす前記第 2 の容量結合プラズマを生成する第 3 工程と  
を有する、成膜方法。

**【請求項 12】**

前記第 1 工程では、前記基板に成膜原料ガスを吸着させ、前記第 2 工程では、前記第 1  
容量結合プラズマにより生成された主に前記反応ガスのラジカルを前記基板に吸着された  
前記成膜原料ガスと反応させる、請求項 9 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の成膜方  
法。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0 0 0 1】**

本開示は、成膜装置および成膜方法に関する。

**【背景技術】**

**【0 0 0 2】**

近時、半導体デバイスの微細化が進んでおり、微細パターンの成膜に適した成膜技術と  
 して、所定の膜を一原子層ずつ成膜する原子層堆積法 (A t o m i c L a y e r D e p  
 o s i t i o n ; A L D ) が知られている。最近では使用するガスの反応性を向上させ、  
 プロセス温度を低下することを目的としたプラズマ A L D ( P E A L D ) が注目されている  
 ( 例えは特許文献 1 )。

**【0 0 0 3】**

また、微細なトレンチ内にボイドを発生させることなく埋め込みを行う技術として、I  
 C P 型、E C R 型等の高密度プラズマを発生可能なチャンバーを用い、基板側にバイアス  
 をかけ、成膜とエッティングを同時進行させる H D P - C V D 法が知られている ( 例えは特  
 许文献 2 )。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特表2009-521594号公報

特開2012-134288号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本開示は、PEALDを用いて半導体デバイスのさらなる微細化に対応した成膜を行うことができる成膜装置および成膜方法を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の一実施形態に係る成膜装置は、基板上にプラズマALDにより所定の膜を成膜する成膜装置であって、基板を収容するチャンバーと、前記チャンバー内で基板を支持するステージと、前記ステージに対向して設けられ、導電性の上部電極および該上部電極と絶縁された導電性のシャワープレートを有し、成膜のための成膜原料ガスおよび反応ガスを含むガスが供給され、該ガスを前記チャンバー内に導入するシャワーヘッドと、前記ステージに含まれる電極と、前記上部電極に接続された第1高周波電源と、前記電極に接続された第2高周波電源とを備え、前記第1高周波電源から前記上部電極に高周波電力が供給されることにより、前記上部電極および前記シャワープレートの間に高周波電界が形成されて、第1の容量結合プラズマが生成され、前記第2高周波電源から前記電極に高周波電力が供給されることにより、前記シャワープレートと前記電極との間に高周波電界が形成されて、前記第1の容量結合プラズマとは独立した第2の容量結合プラズマが生成され、前記第1の容量結合プラズマにより前記反応ガスが解離され、主に反応ガスのラジカルが前記成膜原料ガスと反応して、前記基板上に所定の膜が成膜される、成膜装置。

20

【発明の効果】

【0007】

本開示によれば、PEALDを用いて半導体デバイスのさらなる微細化に対応した成膜を行うことができる成膜装置および成膜方法が提供される。

30

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】一実施形態に係る成膜装置を示す概略断面図である。

【図2】一実施形態に係る成膜装置の変形例の一部を示す概略断面図である。

【図3】一実施形態に係る成膜装置の他の変形例を示す概略断面図である。

【図4】一実施形態に係る成膜装置により第1の容量結合プラズマを生成した際の状態を示す概略断面図である。

【図5】一実施形態に係る成膜装置によりPEALDを行う際の基本シーケンスを示すタイミングチャートである。

【図6】一実施形態に係る成膜装置により第2の容量結合プラズマを生成した際の状態を示す概略断面図である。

【図7】従来のPEALDにより凹部への埋め込みを行う際に凹部の開口が閉塞する状態を説明するための工程断面図である。

【図8】一実施形態に係る成膜装置を用いたPEALDによる凹部への埋め込みにより凹部開口の閉塞が解消されることを説明するための工程断面図である。

【図9】従来のPEALDにより凹部への埋め込みを行う際に埋め込んだ膜にストレスが生じることを説明するための工程断面図である。

【図10】一実施形態に係る成膜装置を用いたPEALDによる凹部への埋め込みにより膜ストレスが調整可能なことを説明するための工程断面図である。

【図11】一実施形態に係る成膜装置を用いたPEALDによる選択成膜の例を示す断面図である。

40

50

【図12】第1の容量結合プラズマと第2の容量結合プラズマの印加タイミングの一例を示すタイミングチャートである。

【図13】第1の容量結合プラズマと第2の容量結合プラズマの印加タイミングの他の例を示すタイミングチャートである。

【図14】第1の容量結合プラズマと第2の容量結合プラズマの印加タイミングのさらに他の例を示すタイミングチャートである。

**【発明を実施するための形態】**

**【0009】**

以下、添付図面を参照して実施形態について説明する。

**【0010】**

図1は一実施形態に係る成膜装置を示す概略断面図である。

成膜装置100は容量結合型のプラズマ処理装置として構成されており、基板Wに対してPEALDにより所定の膜を成膜する成膜機能とエッチング機能とを有する。基板Wとしては、例えば半導体ウエハを挙げることができるが、これに限定されない。

**【0011】**

この成膜装置100は、略円筒状のチャンバー1を有している。チャンバー1は保安設置されている。チャンバー1の内部には、基板Wを水平に載置（支持）するためのステージ2が配置されている。ステージ2は、AIN等の絶縁性セラミックスで構成されており、その中央下部が、チャンバー1の底部から垂直に延びる円筒状の絶縁性セラミックスからなる支持部材3により支持されている。また、ステージ2にはモリブデン等の高融点金属で構成されたヒーター5が埋め込まれており、このヒーター5はヒーター電源（図示せず）から給電されることによりステージ2上の基板Wを所定の温度に加熱する。なお、ステージ2は導電体であってもよい。

**【0012】**

なお、図示していないが、ステージ2には、複数の昇降ピンが、昇降機構によりその上面に対し突没可能に挿通されており、複数の昇降ピンの昇降動作により、ステージ2上への基板Wの授受が行われるようになっている。

**【0013】**

チャンバー1の天壁には、開口1aを有しており、開口1aには、絶縁部材9を介してシャワーヘッド10が嵌め込まれている。シャワーヘッド10は、全体形状が円筒状をなし、上部プレートである上部電極11と、下面を構成するシャワープレート12と、これらの間に設けられた円筒状の絶縁部材13とを有している。上部電極11とシャワープレート12は、導電性材料で形成されている。シャワーヘッド10の内部は、ガス拡散空間14となっている。上部電極11はその外周にフランジ部11aを有しており、このフランジ部11aが絶縁部材9に支持されている。シャワープレート12には複数のガス吐出孔15が形成されており、上部電極11にはガス導入孔16が形成されている。ガス導入孔16は、成膜のためのガスを供給するガス供給機構20のガスラインに接続されている。

**【0014】**

ガス供給機構20は、PEALD成膜を行う際に用いるガス、例えば、形成しようとする膜の構成元素を含む成膜原料ガス、成膜原料ガスと反応する反応ガス、およびバージガス等を供給する。これらガスを供給する配管には、バルブ類およびマスフローコントローラのような流量制御器が設けられている。成膜原料ガスおよび反応ガスは、成膜しようとする膜に応じて種々のものを用いることができる。バージガスとしては、不活性ガス、例えばArガス、Heガス等の希ガスや、N<sub>2</sub>ガスを用いることができる。成膜の際には、バージガスを供給したまま、成膜原料ガスと反応ガスとを交互にかつ間欠的に供給する。また、反応ガスがプラズマの存在下でのみ成膜原料ガスと反応する場合は、反応ガスを供給したままにしてもよい。

**【0015】**

シャワーヘッド10の上部電極11には、第1整合器25を介して第1高周波電源26が接続されており、この第1高周波電源26から上部電極11に高周波電力が供給される

10

20

30

40

50

ようになっている。第1高周波電源26の周波数は、450kHz～40MHzであることが好ましく、典型例としては13.56MHzである。一方、シャワープレート12には、接地ライン17が接続され、接地されている。上部電極11とシャワープレート12とは絶縁部材13で絶縁されており、これらは一対の平行平板電極を構成している。上部電極11、シャワープレート12、第1高周波電源26により第1の容量結合プラズマ生成部30が構成される。

#### 【0016】

第1の容量結合プラズマ生成部30においては、第1高周波電源26に高周波電力を印加することにより、上部電極11とシャワープレート12との間に高周波電界が形成され、ガス拡散空間14内に第1の容量結合プラズマが生成される。

10

#### 【0017】

第1整合器25は、第1高周波電源26の内部（または出力）インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させるものである。第1整合器25は、ガス拡散空間14にプラズマが生成されている時に第1高周波電源26の出力インピーダンスと負荷インピーダンスが見かけ上一致するように機能する。

#### 【0018】

第1の容量結合プラズマ生成部30は、PEALDのためのリモートプラズマ源として構成される。すなわち、ガス拡散空間14に生成された第1の容量結合プラズマにより反応ガスが解離され、解離して生成された主にラジカルがガス吐出孔15を通過してステージ2上の基板Wに供給され、PEALDによる成膜に供される。PEALDに際しては、第1の容量結合プラズマ生成部30は、成膜原料ガスが供給されていないタイミングで、間欠的にプラズマを着火し、反応ガスを解離させる。

20

#### 【0019】

また、上部電極11には、DCパルス印加ユニット70が接続されている。DCパルス印加ユニット70は、DC電源71と、DCパルススイッチ72と、フィルター73とを有している。DCパルス印加ユニット70は、第1高周波電源26に替えて用いてもよいし、第1高周波電源26と併用してもよい。併用する場合は、第1高周波電源26からの高周波とDCパルス印加ユニット70からのDCパルスとが重畠されることとなる。DCパルス電源71は、ゼロ～正のパルス電圧、またはゼロ～負のパルス電圧を印加することができるため、ガスの特性（極性）に合わせた電力を印加することができる。このため、ガスの解離をより促進することができる。

30

#### 【0020】

シャワープレート12の直下には、プラズマ中のイオンをトラップするためのイオントラップ28が設けられている。プラズマ中のイオンは、シャワープレート12のガス吐出孔15でその一部が失活するため、基板Wに供給されるイオンは少ないが、イオントラップ28によりシャワープレート12を通過するイオンをさらに除去することができる。イオントラップ28は、導電体でも絶縁体でもよく、絶縁体の内部に導電体を埋め込んだものであってもよい。また、導電体の場合は、接地されていてもフローティング状態であってもよい。なお、シャワープレート12を通過するプラズマ中のイオンが十分少なければ、イオントラップ28は不要である。

40

#### 【0021】

また、図2に示すように、接地ライン17にコイルおよびコンデンサを有するインピーダンス調整回路29を設けることにより、通過イオン量を制御することができる。なお、インピーダンス調整回路29によるインピーダンス調整により、プラズマの生成箇所をシャワープレート12の下に変更することも可能となる。このように、プラズマの生成箇所をシャワープレート12の下に変更することにより、後述する、ステージ2とシャワープレート12との間に形成される容量結合プラズマの密度等の調整幅をより広げることができる。

#### 【0022】

ステージ2の内部には、電極31が埋設されている。電極31はステージ2に含まれて

50

おり、ステージ 2 が導電体の場合は、ステージ 2 自体が電極として機能する。電極 3 1 には、第 2 整合器 3 2 を介して第 2 高周波電源 3 3 が接続されている（図 1 参照）。第 2 高周波電源 3 3 の周波数は、13.56 ~ 100 MHz であることが好ましく、典型例としては 40 MHz である。シャワープレート 1 2 とステージ 2 内の電極 3 1 とは一対の平行平板電極を構成している。シャワープレート 1 2 、電極 3 1 、第 2 高周波電源 3 3 により第 2 の容量結合プラズマ生成部 4 0 が構成される。

#### 【 0 0 2 3 】

第 2 の容量結合プラズマ生成部 4 0 においては、第 2 高周波電源 3 3 からステージ 2 の電極 3 1 に高周波電力を印加することにより、シャワープレート 1 2 と電極 3 1 との間に高周波電界が形成され、これらの間に第 2 の容量結合プラズマが生成される。そして、高周波電力印加によるバイアスによりプラズマ中のイオンが基板 W に引き込まれてイオンアシストエッチングが実現される。すなわち、第 2 の容量結合プラズマ生成部 4 0 は、エッ칭ングのためのプラズマ源として構成される。

10

#### 【 0 0 2 4 】

第 2 整合器 3 2 は、第 2 高周波電源 3 3 の内部（または出力）インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させるものである。第 2 整合器 3 2 は、シャワープレート 1 2 とステージ 2 との間の空間にプラズマが生成されている時に第 2 高周波電源 3 3 の出力インピーダンスと負荷インピーダンスが見かけ上一致するように機能する。

#### 【 0 0 2 5 】

なお、図 3 に示すように、電極 3 1 に、第 2 高周波電源 3 3 に加えて、第 3 整合器 3 6 を介して第 3 高周波電源 3 7 を接続してもよい。第 3 高周波電源 3 7 は、プラズマ中のイオンを基板 W に引き込んでイオンの作用を高める高周波バイアスを基板 W に印加する機能を有する。第 3 高周波電源 3 7 の周波数は、第 2 高周波電源 3 3 の周波数よりも小さく、450 kHz ~ 13.56 MHz が好ましい。典型例としては 13.56 MHz である。第 3 整合器 3 6 は、第 2 整合器 3 2 と同様の機能を有する。

20

#### 【 0 0 2 6 】

チャンバー 1 の底壁には排気口 5 1 が設けられており、排気口 5 1 には排気管 5 2 が接続されている。排気管 5 2 には排気装置 5 3 が接続されている。排気装置 5 3 は自動圧力制御バルブと真空ポンプを有し、排気装置 5 3 によりチャンバー 1 内を所定の真空度に保持することが可能となっている。

30

#### 【 0 0 2 7 】

チャンバー 1 の側壁には、チャンバー 1 と隣接して設けられた真空搬送室（図示せず）との間で基板 W の搬入出を行うための搬入出口 5 7 と、この搬入出口 5 7 を開閉するゲートバルブ 5 8 とが設けられている。

#### 【 0 0 2 8 】

成膜装置 1 0 0 の構成部であるヒーター電源、バルブ類、流量制御器、高周波電源等は、制御部 6 0 により制御される。制御部 6 0 は、実際にこれらの制御を行うコンピュータ（CPU）を有する主制御部と、入力装置、出力装置、表示装置、および記憶装置とを有している。記憶装置には、成膜装置 1 0 0 で実行される各種処理のパラメータが記憶されており、また、成膜装置 1 0 0 で実行される処理を制御するためのプログラム、すなわち処理レシピが格納された記憶媒体がセットされるようになっている。主制御部は、記憶媒体に記憶されている所定の処理レシピを呼び出し、その処理レシピに基づいて成膜装置 1 0 0 により所定の処理が行われるように制御する。

40

#### 【 0 0 2 9 】

次に、以上のように構成された成膜装置 1 0 0 における動作について説明する。

まず、ゲートバルブ 5 8 を開放して真空搬送室から搬送装置によりウエハ W をチャンバー 1 内に搬入し、ステージ 2 上に載置する。搬送装置を退避させた後、ゲートバルブ 5 8 を閉じる。

#### 【 0 0 3 0 】

次いで、チャンバー 1 内にバージガスを連続的に供給し、排気装置 5 3 により、チャン

50

バー 1 内を所定の減圧状態に保持するとともに、ヒーター 5 によりステージ 2 の温度を所定温度に制御する。

#### 【 0 0 3 1 】

そして、バージガスを連続的に供給した状態を維持したまま、成膜原料ガスを間欠的に供給するとともに、成膜原料ガスを供給していないタイミングで、第 1 の容量結合プラズマ生成部 3 0 により間欠的に第 1 の容量結合プラズマを生成して、P E A L D により所定の膜を成膜する。このときのプラズマ生成の際には、図 4 に示すように、第 1 高周波電源 2 6 からシャワー・ヘッド 1 0 のベースプレート 1 1 に高周波電力を印加することにより、上部電極 1 1 とシャワープレート 1 2 との間に高周波電界を形成する。これにより、ガス拡散空間 1 4 に第 1 の容量結合プラズマ P 1 が生成され、この第 1 の容量結合プラズマ P 1 により反応ガスが解離される。第 1 の容量結合プラズマ P 1 は、リモートプラズマとして生成され、ガス吐出孔 1 5 を通過した主に反応ガスのラジカルがステージ 2 上の基板 W に供給される。10

#### 【 0 0 3 2 】

P E A L D では、具体的には図 5 に示すように、バージガスを連続的に供給した状態で、基板へ成膜原料ガスの供給する工程（ステップ S 1 ）が間欠的に実施され、第 1 の容量結合プラズマ P 1 により反応ガスを解離して、それにより生成されたラジカルを基板 W に供給する工程（ステップ S 2 ）がステップ S 1 の間で間欠的に実施される。これにより、ステップ S 1 による成膜原料ガスの基板 W への吸着と、ステップ S 2 により解離されて主にラジカル化した反応ガスとが、バージガスによるチャンバー 1 内のバージ（ステップ S 3 ）を挟んで交互に実施される。このとき第 1 の容量結合プラズマ P 1 により反応ガスの解離が促進され、このプラズマのうちイオンはシャワープレート 1 2 のガス吐出孔 1 5 で失活し、さらにイオントラップ 2 8 で除去されるため、基板 W へは主に反応ガスのラジカルが供給される。また、インピーダンス調整回路 2 9 により通過イオン量を制御することもできる。このため、主に反応ガスのラジカルが成膜原料ガスと反応して、基板 W 上に所定の膜が成膜される。したがって、ラジカルを主体とした、イオンダメージのない、またはイオンコントロールされた良好な成膜が実現される。20

#### 【 0 0 3 3 】

成膜される膜の具体例としては、反応ガスとして酸化剤、窒化剤等を用いることにより、S i O<sub>2</sub>、T i O<sub>2</sub>、T i N、S i N、T a N、B N 等の化合物膜を成膜することができる。また、反応ガスとしてH<sub>2</sub>ガスのような還元ガスを用いることにより、T i、T a、W、S i 等の金属膜を成膜することができる。成膜原料ガスとしては、塩化物、水素化物、有機化合物等を挙げることができる。30

#### 【 0 0 3 4 】

このとき、反応ガスの供給は、プラズマの生成タイミングのみであってもよいし、反応ガスがプラズマの存在下でのみ成膜原料ガスと反応する場合は、反応ガスを供給したままにしてもよい。例えば、成膜原料ガスがT i C l<sub>4</sub>ガスで、反応ガスがO<sub>2</sub>ガスの場合には、バージガスとともにO<sub>2</sub>ガスを供給したままの状態で、T i C l<sub>4</sub>ガスの供給とプラズマの生成を交互に行うことにより、T i O<sub>2</sub>膜が成膜される。

#### 【 0 0 3 5 】

一方、上記 P E A L D による成膜を行っている途中に所定のタイミングで、第 2 の容量結合プラズマ生成部 4 0 によりプラズマを生成し、基板 W に形成された膜に対し、主にイオンアシストによるエッチングを行う工程を実施する。このときのプラズマ生成の際には、図 6 に示すように、第 2 高周波電源 3 3 からステージ 2 内の電極 3 1 に高周波電力を印加することにより、シャワープレート 1 2 と電極 3 1 との間に高周波電界を形成する。これにより、シャワープレート 1 2 とステージ 2 との間に第 2 の容量結合プラズマ P 2 が生成され、基板 W にイオンのアシストによるエッチング作用が及ぼされる。このとき、下部電極であるステージ 2 （電極 3 1 ）の対向電極は、シャワープレート 1 2 であり、第 1 高周波電力が印加される上部電極 1 1 はステージ 2 から見えないので、上部の第 1 整合器 2 5 に依存せず、安定した高周波電力の供給が可能となる。すなわち、第 2 の容量結40

10

20

30

40

50

合プラズマP2は、第1の容量結合プラズマP1の存在に関わらず、独立して生成することができる。第2の容量結合プラズマP2は、基板Wに接するように生成され、効率の良いエッティング特性が得られる。

#### 【0036】

このような第2の容量結合プラズマP2により、PEALD成膜中の基板Wにイオンのアシストによるエッティング作用をおよぼすことができ、以下の[1]～[4]のような効果を得ることができる。

#### 【0037】

[1]ホールやトレンチのような凹部への埋め込み、特に深穴への埋め込みの際には、従来のPEALDによる成膜では、図7に示すようになっていた。すなわち、凹部202が形成された基板WにPEALDにより膜203を成膜すると、(a)に示すように、凹部202の間口に膜が過剰に堆積される場合がある。このような場合、成膜が進行すると、(b)に示すように、間口に膜203のオーバーハング部分204が生じて間口が塞がり、凹部202の底部へのガス供給が妨げられる。このため、凹部202への膜203の埋め込みが完了した時点では、(c)に示すように、ボイド205が残ってしまうことがあった。

10

#### 【0038】

そこで、図8に示すように、(a)の膜203のオーバーハング部分204が生じた状態で、第2の容量結合プラズマP2を生成して基板Wにイオンのアシストによるエッティング作用を及ぼし、膜203のオーバーハング部分204を除去する((b)参照)。これにより、凹部202の底部へのガス供給が妨げられず、ボイドのない埋め込みが実現される((c)参照)。

20

#### 【0039】

[2]図9に示すように、従来のPEALDによる成膜では、凹部202への膜203の埋め込みの際は、成膜初期の(a)の状態から成膜が進行すると、凹部202の上部と底部で膜203の厚さが異なる状態となり((b)参照)、それがストレスの原因となる。そして、凹部202への膜203の埋め込みが完了した時点では、膜203にストレスが生じることがある((c)参照)。

#### 【0040】

そこで、図10に示すように、成膜が進行した(a)の状態(図9の(b)と同じ状態)で、第2の容量結合プラズマP2の基板Wにイオンのアシストによるエッティング作用を及ぼして、膜の厚さを均一にすることによりストレスを調整する((b)参照)。これにより、凹部202への膜203の埋め込みが完了した時点で膜ストレスが低減される((c)参照)。

30

#### 【0041】

[3]第2の容量結合プラズマP2によって膜203のエッティング量をコントロールすることにより、図11に示すように、膜203の側壁203aの厚さaと、膜203の底部203bの厚さbとの比を調整することができる。これにより、選択成膜を実現することができる。

#### 【0042】

[4]第2の容量結合プラズマP2を、第1の容量結合プラズマP1と同時に印加することで、反応ガスのラジカルとイオンのバランス、エッティング量をコントロールすることができる。また、プラズマ中のイオンにより、原料ガスの不要成分(リガンド)の切断を促進することができる。このため、PEALDによる成膜を適切に制御することができる。

40

#### 【0043】

第1の容量結合プラズマP1と第2の容量結合プラズマP2の印加タイミングとしては、図12～図14に示すものが例示される。

#### 【0044】

図12の例は、成膜を行う第1の容量結合プラズマP1により反応ガスを解離させる工程を図5と同様のタイミングで実施し、それと同じタイミングでエッティングを行う第2の

50

容量結合プラズマ P 2 を生成する工程を実施する。これにより、成膜・エッチングのバランスを同時調整することができる。

#### 【 0 0 4 5 】

図 1 3 の例は、成膜を行う第 1 の容量結合プラズマ P 1 により反応ガスを解離させる工程を図 5 と同様のタイミングで実施し、エッチングを行う第 2 の容量結合プラズマ P 2 を生成する工程を、第 1 の容量結合プラズマ P 1 により反応ガスを解離させる工程のタイミングの一部で、第 1 の容量結合プラズマ P 1 の生成と同時に実施する。これにより、例えば、凹部の間口が閉塞する前の所定のタイミングで、エッチング作用を及ぼすことができる。

#### 【 0 0 4 6 】

図 1 4 の例は、成膜を行う第 1 の容量結合プラズマ P 1 により反応ガスを解離させる工程を図 5 と同様のタイミングで実施するとともに、第 1 の容量結合プラズマ P 1 の生成タイミングの一部を、エッチングを行う第 2 の容量結合プラズマ P 2 で置き換え、第 1 の容量結合プラズマ P 1 により反応ガスを解離させる工程と、第 2 の容量結合プラズマ P 2 を生成する工程を独立実施する。これにより、第 1 の容量結合プラズマ P 1 を用いて成膜を行っている途中の、例えば、凹部の間口が閉塞する前の所定のタイミングで、第 2 の容量結合プラズマ P 2 によりエッチングを実施することができる。

#### 【 0 0 4 7 】

以上のように、本実施形態の成膜装置 1 0 0 は、いずれもシャワープレート 1 2 を対向電極の一方として用いる、それぞれ独立してプラズマ生成が可能な第 1 の容量結合プラズマ生成部 3 0 および第 2 の容量結合プラズマ生成部 4 0 を設ける。そして、上述したように、上側の第 1 の容量結合プラズマ生成部 3 0 により、成膜のためのプラズマを生成し、下側の第 2 の容量結合プラズマ生成部 4 0 により、主にイオンアシストによるエッチングが可能なプラズマを生成する。

#### 【 0 0 4 8 】

これにより、P E A L D に適した容量結合プラズマを生成する成膜装置を前提とし、装置構成を複雑にすることなく、P E A L D 成膜の際に、プラズマのイオン量を制御して、エッチング作用を及ぼすことができる。このため、半導体デバイスのさらなる微細化に対応した成膜を行うことができる。

#### 【 0 0 4 9 】

特許文献 1 に記載されたような従来の P E A L D 成膜装置は、シャワー ヘッドとサセプタを一対の平行平板電極として用い、シャワー ヘッドに高周波電力を印加することにより、これらの間に容量結合プラズマを生成可能としていた。そして、このような構成の成膜装置により、本実施形態と同様の工程で P E A L D による成膜を行っていた。しかし、容量結合プラズマは A L D の速いガス置換に対応することができ、プラズマ着火が速いため、P E A L D に適しているものの、近時、半導体メモリ等のデバイスの微細化が益々進んでおり、従来の P E A L D では微細化への対応が必ずしも十分でない場合が存在していた。

#### 【 0 0 5 0 】

すなわち、半導体デバイスの微細化が進むことにより、微細なホールやトレンチへの良好な埋め込み性、ストレスレス、ボイドレスの埋め込み、および選択成膜の技術が求められているが、従来の P E A L D 成膜装置ではこれらに対応することは困難であった。特に、微細な深穴への埋め込みの際には、P E A L D によっても、間口に膜が過剰に付着して、底部への成膜が困難になる場合がある。

#### 【 0 0 5 1 】

一方、特許文献 2 には、微細なトレンチに埋め込みを行うために、I C P 型、E C R 型等の高密度プラズマを発生させ、かつ基板側にバイアスをかけて、ラジカルによる成膜とイオンによるエッチングを同時進行させる H D P - C V D 法が提案されている。すなわち、イオンによるエッチングにより、微細化に対応している。

#### 【 0 0 5 2 】

しかし、特許文献 2 に記載されている C V D では、A L D のような制御性の高い成膜は

10

20

30

40

50

困難である。また、特許文献2のICP型、ECR型のプラズマソースでは、ガスの置換やプラズマ着火が遅いため、PEALDに対応することは困難である。従来のPEALDは、容量結合プラズマを用い、PEALDに適した構成を実現しているものの、プラズマ生成機構は、反応ガスの解離を目的としているのみであり、イオンによるエッチング作用を及ぼすことはできなかった。

#### 【0053】

これに対し、本実施形態では、上述したように、簡単な装置構成で、PEALDに適した容量結合プラズマを用い、成膜用のプラズマとエッチング用のプラズマを独立して制御することにより、半導体デバイスのさらなる微細化に対応した成膜を行うことができる。

#### 【0054】

以上、実施形態について説明したが、今回開示された実施形態は、全ての点で例示であつ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、添付の特許請求の範囲およびその主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。

#### 【符号の説明】

#### 【0055】

- |                     |    |
|---------------------|----|
| 1 ; チャンバー           | 10 |
| 2 ; ステージ            |    |
| 10 ; シャワーヘッド        |    |
| 11 ; 上部電極           |    |
| 12 ; シャワープレート       | 20 |
| 13 ; 絶縁部材           |    |
| 14 ; ガス拡散空間         |    |
| 20 ; ガス供給機構         |    |
| 26 ; 第1高周波電源        |    |
| 30 ; 第1の容量結合プラズマ生成部 |    |
| 31 ; 電極             |    |
| 33 ; 第2高周波電源        |    |
| 40 ; 第2の容量結合プラズマ生成部 |    |
| 53 ; 排気装置           |    |
| 60 ; 制御部            |    |
| 100 ; 成膜装置          | 30 |
| P1 ; 第1の容量結合プラズマ    |    |
| P2 ; 第2の容量結合プラズマ    |    |
| W ; 基板              |    |

10

20

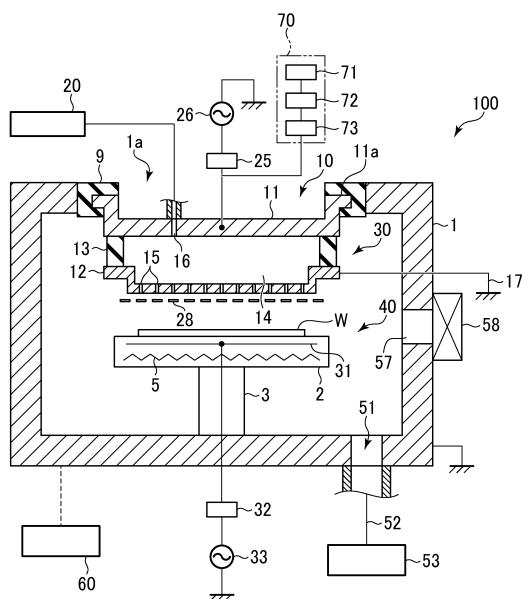
30

40

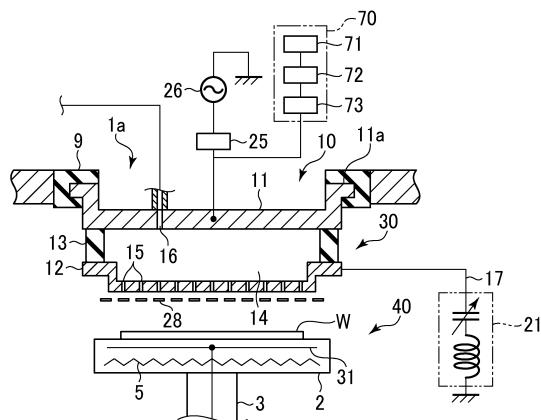
50

【 叴面 】

【 义 1 】



【図2】

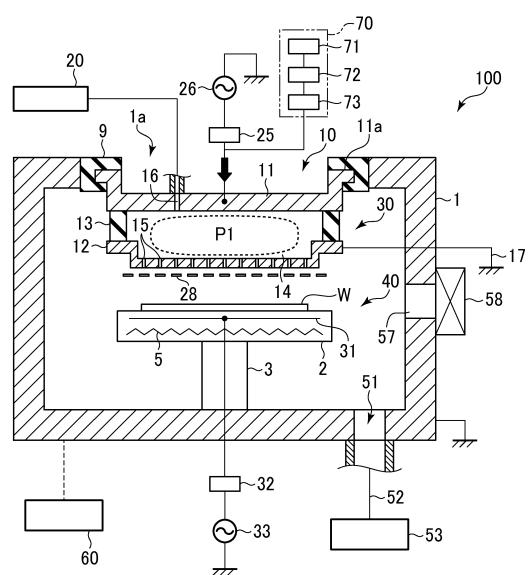
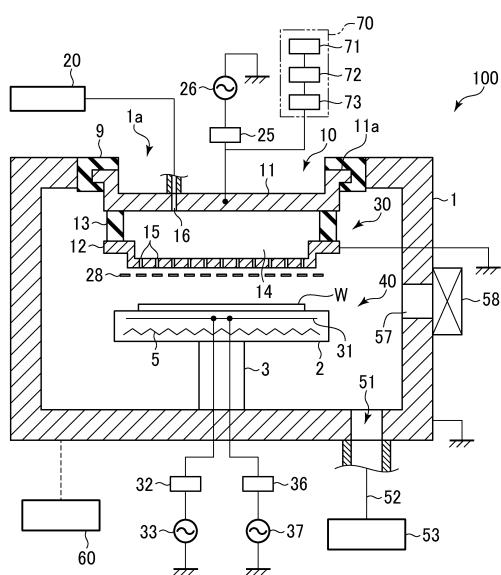


10

20

【 図 3 】

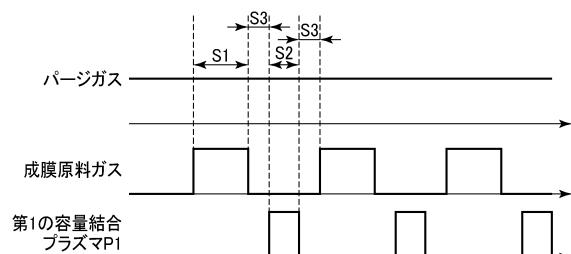
【図4】



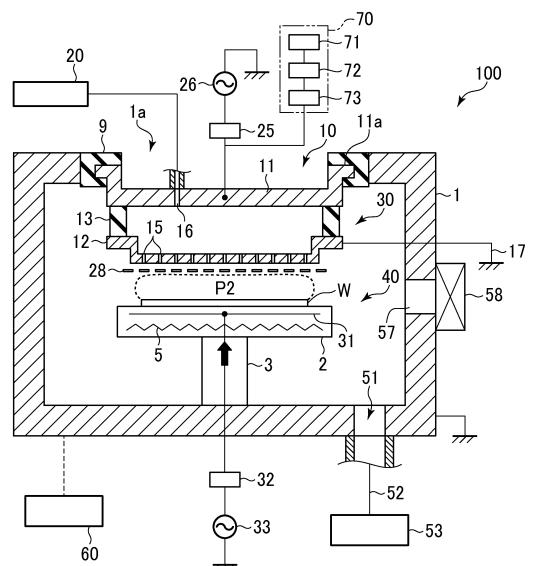
40

50

【図5】



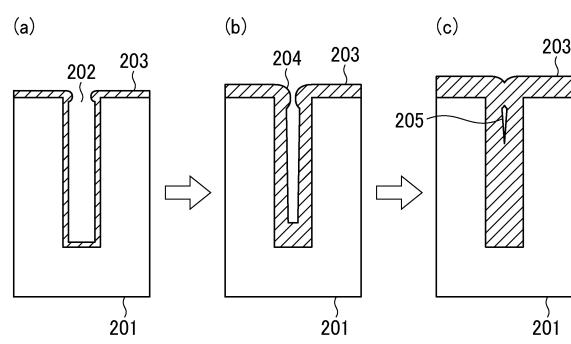
【 四 6 】



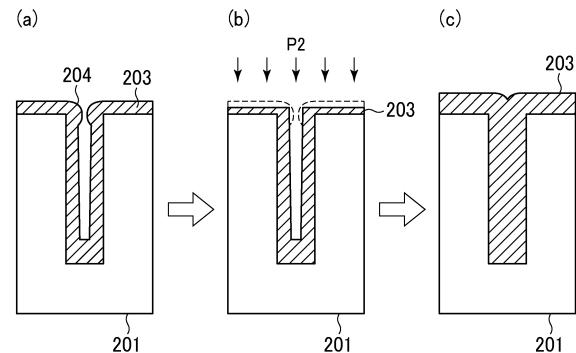
10

20

〔 四 7 〕



〔 8 〕

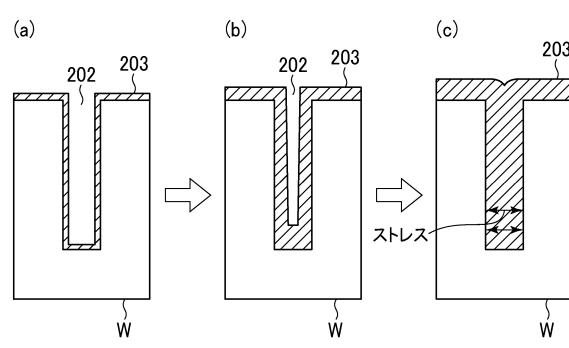


30

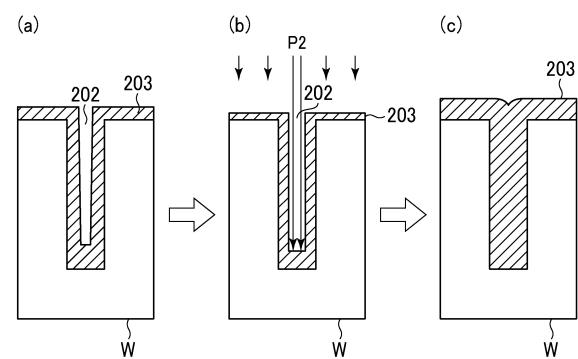
40

50

【図 9】

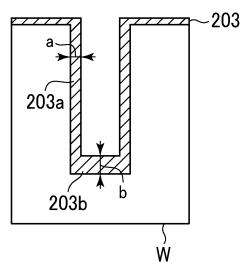


【図 10】

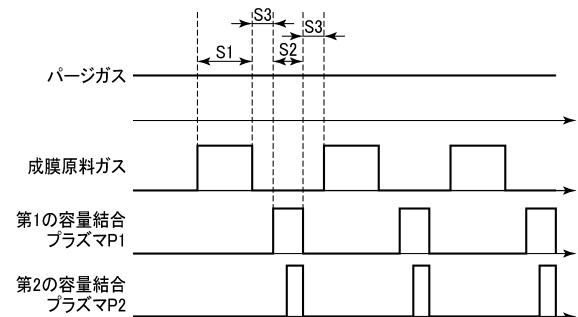


10

【図 11】



【図 12】



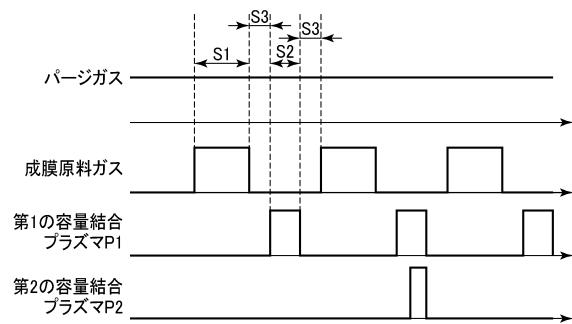
20

30

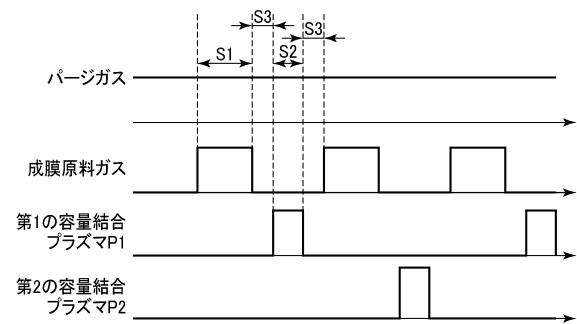
40

50

【図 1 3】



【図 1 4】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

(56)参考文献      特開2016-167606 (JP, A)  
                  特開2018-011050 (JP, A)  
                  特開2018-064058 (JP, A)  
                  特開2015-099866 (JP, A)  
                  特表2012-517711 (JP, A)  
                  特表2014-531753 (JP, A)  
                  特開2014-196561 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
                  C23C 16/505  
                  H01L 21/3065  
                  H01L 21/31  
                  H01L 21/316