

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6527677号
(P6527677)

(45) 発行日 令和1年6月5日 (2019. 6. 5)

(24) 登録日 令和1年5月17日 (2019. 5. 17)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006. 01)

HO 1 L 21/205 (2006. 01)

HO 1 L 21/302 3 O 1 Z

HO 1 L 21/205

HO 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 15 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-193560 (P2014-193560)	(73) 特許権者	592010081
(22) 出願日	平成26年9月24日 (2014. 9. 24)		ラム リサーチ コーポレーション
(65) 公開番号	特開2015-73096 (P2015-73096A)		LAM RESEARCH CORPOR
(43) 公開日	平成27年4月16日 (2015. 4. 16)		ATION
審査請求日	平成29年9月13日 (2017. 9. 13)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 945
(31) 優先権主張番号	61/884, 832		38, フレモント, クッシング パークウ
(32) 優先日	平成25年9月30日 (2013. 9. 30)		エイ 4650
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	110000028
(31) 優先権主張番号	14/248, 046		特許業務法人明成国際特許事務所
(32) 優先日	平成26年4月8日 (2014. 4. 8)	(72) 発明者	シリッシュ・ケー, レディ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国 オレゴン州97124
			ヒルズボロ, ノースイースト・ケーデン・
			アベニュー, 498
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 パルス化された低周波数RF電力による高選択性かつ低応力のカーボンハードマスク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アッシュابل・ハードマスクを形成する方法であって、
炭化水素前駆体ガスを含む処理ガスに半導体基板を暴露し、
高周波数（HF）成分と低周波数（LF）成分を含むデュアル高周波（RF）プラズマ源により生成されるプラズマを用いて、プラズマ化学気相成長（PECVD）プロセスによって前記半導体基板上にアッシュابل・ハードマスクを堆積させることを備え、
堆積中は、HF電力は一定である一方で、LF電力はパルス化され、
前記炭化水素前駆体ガスは、 C_xH_y の化学式で表され、 x は2から10の間の整数であり、 y は2から24の間の整数である、方法。

【請求項 2】

前記LF電力は、非ゼロ電力レベル間でパルス化される、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記LF電力は、前記LF電力をオンとオフで切り替えることによりパルス化される、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

LF RF電力の周波数は、400 kHzである、請求項1から3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記LF電力は、2 Hz ~ 200 Hzの間の周波数でパルス化される、請求項1から4

のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記 L F 電力は、 $2\text{ Hz} \sim 10\text{ Hz}$ の間の周波数でパルス化される、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記堆積されるアッシュャブル・ハードマスクは、応力に対する弾性率の比が 1 である、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記堆積されるアッシュャブル・ハードマスクは、酸化物層、窒化物層、またはポリシリコン層に対するエッチング選択性が $3.6 \sim 4.4$ の間である、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項 9】

前記堆積されるアッシュャブル・ハードマスクは、水素含有量が 15% 未満である、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 10】

前記アッシュャブル・ハードマスクは、 $50 \sim 550$ の間の処理温度で堆積される、請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

アモルファスカーボン層を形成する方法であって、
炭化水素前駆体ガスを含む処理ガスに半導体基板を暴露し、
高周波数 (H F) 成分と低周波数 (L F) 成分とを含むデュアル高周波 (R F) プラズマ源により生成されるプラズマを用いて、プラズマ化学気相成長 (P E C V D) プロセスによって前記半導体基板上にアモルファスカーボン層を堆積させることを備え、
堆積中は、H F 電力は一定である一方で、L F 電力はパルス化され、
前記炭化水素前駆体ガスは、 C_xH_y の化学式で表され、 x は 2 から 10 の間の整数であり、 y は 2 から 24 の間の整数である、方法。

20

【請求項 12】

前記 L F 電力は、非ゼロ電力レベル間でパルス化される、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記 L F 電力は、前記 L F 電力をオンとオフで切り替えることによりパルス化される、請求項 11 に記載の方法。

30

【請求項 14】

前記 L F 電力は、 $2\text{ Hz} \sim 10\text{ Hz}$ の間の周波数でパルス化される、請求項 11 から 13 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 15】

半導体基板を処理するように構成されている装置であって、
(a) 成長チャンバであって、
シャワーヘッドと、
高周波数 (H F) 成分と低周波数 (L F) 成分とを含むデュアル高周波 (R F) プラズマ発生器と、
整合ネットワークと、
基板サポートと、
 C_xH_y の化学式で表され、 x は 2 から 10 の間の整数であり、 y は 2 から 24 の間の整数である炭化水素前駆体ガスを導入するための 1 つまたは複数のガス導入口と、を有する成長チャンバと、

40

(b) 当該装置の動作を制御するためのコントローラであって、

炭化水素前駆体ガスを含む処理ガスに半導体基板を暴露し、

H F 電力をオンに切り替え、

L F 電力をパルス化し、

プラズマ化学気相成長 (P E C V D) プロセスによって前記半導体基板上にアッ

50

シャブル・ハードマスクを堆積させるための機械可読命令を含む、コントローラと、を備え、

前記 H F 電力は一定である一方で、前記 L F 電力はパルス化される、装置。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

メモリおよび論理デバイスの製造を含む半導体処理において、アモルファスカーボン膜をハードマスクおよびエッチング停止層として用いることができる。このような膜は、アッシング技術により除去できることから、アッシュابل（灰化可能）・ハードマスク（A H M）としても知られている。リソグラフィでのアスペクト比が高くなるほど、A H Mは、より高いエッチング選択性が要求される。プラズマ化学気相成長（P E C V D）プロセスを用いて高選択性 A H Mを形成する従来の方法は、結果として得られる A H Mが高応力となって、ハードマスクとしての A H Mの有用性が制限される。よって、高エッチング選択性を有しつつも、低応力である A H Mを生成することが望ましい。

10

【発明の概要】

【0002】

メモリおよび論理デバイスの製造を含む半導体処理において用いるため、応力レベルが低減するとともにエッチング選択性が向上したアッシュابل・ハードマスク（A H M）を、プラズマ化学気相成長（P E C V D）により堆積させる新規の方法を提供する。いくつかの実施形態において、本方法は、炭化水素前駆体を含む処理ガスに半導体基板上の層を暴露することと、P E C V Dによる堆積中にデュアル高周波（R F）源を用いて一定の高周波数（H F）R F電力を維持しつつ低周波数（L F）R F電力をパルス化することによりプラズマを生成することと、を含み得る。A H Mをその上に堆積させることができる層の例として、酸化物および窒化物などの誘電体層と、ポリシリコン層とが含まれる。いくつかの実施形態により、L F電力をパルス化することは、非ゼロレベル間で変調すること、またはL F電力をオンとオフで切り替えること、を含み得る。一部の実施形態では、L F電力は、約 2 H z ~ 約 2 0 0 H z の間の周波数でパルス化される。堆積は、高温または低温の処理温度で実施することができる。

20

【0003】

一態様において、高選択性かつ低応力の A H Mを堆積させる方法を提供する。いくつかの実施形態により、前駆体ガスの導入による堆積中に、H F R F電力は一定である一方で、L F R F電力はパルス化される。一部の実施形態では、堆積される A H Mは、約 1 0 % ~ 約 2 5 % の間の水素含有量であり、例えば約 1 8 % である。一部の実施形態では、堆積される A H Mは、約 3 . 6 ~ 約 4 . 4 の間のエッチング選択性を有する。

30

【0004】

別の態様は、半導体基板上にアモルファスカーボン層を形成する方法に関する。いくつかの実施形態において、デュアル R F プラズマ源を用いて、L F R F電力をパルス化するとともに、H F電力を一定としながら、アモルファスカーボン層を堆積させる。一部の実施形態では、L F電力は、非ゼロレベル間でパルス化される。一部の実施形態では、L Fは、L F電力をオンとオフで切り替えることによりパルス化される。一部の実施形態では、L F電力は、約 2 H z ~ 約 1 0 H z の間の周波数でパルス化される。堆積は、高温または低温の処理温度で実施することができる。

40

【0005】

別の態様は、半導体基板を処理するように構成された装置に関する。いくつかの実施形態により、装置は、シャワーヘッド、基板サポート、および 1 つ以上のガス導入口を含む成長チャンバと、成長チャンバに R F電力を印加するように構成された H F成分と L F成分とを有するデュアル R Fプラズマ発生器と、コントローラと、を備える。コントローラは、装置の動作を制御するように構成されており、炭化水素前駆体ガスを含む処理ガスを成長チャンバに流入させることと、プラズマを点火するためにデュアル周波数 R F電力を成長チャンバに印加することと、H F電力を一定に保ちつつ L F電力をパルス化すること

50

、のための機械可読命令を含む。

【 0 0 0 6 】

これらおよび他の態様について、以下で図面を参照してさらに説明する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】いくつかの実施形態により、エッチング工程においてアッシュャブル・ハードマスクを用いる方法の関連オペレーションを示すプロセスフロー図である。

【 0 0 0 8 】

【図 2】いくつかの実施形態により、デュアル高周波プラズマ発生器の変調によってアッシュャブル・ハードマスクを形成する方法の関連オペレーションを示すプロセスフロー図である。

10

【 0 0 0 9 】

【図 3】いくつかの実施形態によるタイミングシーケンス図を示している。

【 0 0 1 0 】

【図 4】様々な実施形態を実施するのに適したプラズマ化学気相成長 (P E C V D) チャンバの概略図を示している。

【 0 0 1 1 】

【図 5】低温でアッシュャブル・ハードマスクを堆積させた場合の応力および弾性率の結果を示すグラフである。

【 0 0 1 2 】

20

【図 6】高温でアッシュャブル・ハードマスクを堆積させた場合の応力および弾性率の結果を示すグラフである。

【 0 0 1 3 】

【図 7】昇温脱離ガス分析法により測定された水素 (H_2) ガス放出を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

以下の説明では、提示する実施形態についての完全な理解を与えるため、様々な具体的詳細について記載する。開示する実施形態は、それら特定の詳細の一部または全てを省いても実施することができる。また、開示する実施形態を不必要に不明瞭にすることがないよう、周知の工程処理については詳細に記載していない。開示する実施形態は、具体的な実施形態に関連させて説明されるが、当然のことながら、開示する実施形態を限定するものではない。

30

【 0 0 1 5 】

半導体処理では、基板のパターニングおよびエッチングのために、マスキング法が用いられる。基板のアスペクト比が高くなるにつれて、高選択性ハードマスクに対する需要が高まる。高エッチング選択性を有しながらも、基板を損傷することなく容易に除去されるマスクは、基板の処理において重要である。アッシュャブル・ハードマスク (A H M) は、エッチング停止層で、もしくは選択的エッチングの際に、またはフォトレジストが下層をマスクするのに十分な厚さではない可能性がある場合に、マスクとして用いることができる。また、A H M は、ディスプレイおよび他の技術用のガラス基板上で用いることもできる。

40

【 0 0 1 6 】

A H M は、それらが目的を果たした後に、「アッシング」、「プラズマアッシング」、または「乾式剥離」と呼ばれる手法によって、それらを除去することができる化学組成を有する。A H M の一例は、アモルファスカーボン層または膜である。A H M は、一般に、炭素と水素で構成され、さらにオプションとして、微量の 1 種以上のドーパント (例えば、窒素、フッ素、ホウ素、およびケイ素) が添加される。A H M の結合構造は、成膜条件に応じて、 sp^2 (グラファイト状) もしくは sp^3 (ダイヤモンド状)、またはその両方の組み合わせなど、様々とするすることができる。

50

【0017】

図1は、エッチング工程においてAHMをハードマスクとして用いる方法の関連オペレーションを示すプロセスフロー図である。AHM成膜に先立って、被エッチング層を有する基板を、成長チャンバ内に準備することができる。以下の説明では、主に半導体基板について触れているが、本方法は、ガラス基板など、他のタイプの基板の層に適用することもできる。AHMでマスクすることができる材料の例として、酸化物（例えば、 SiO_2 ）および窒化物（例えば、 SiN および TiN ）などの誘電体材料、ポリシリコン（ Poly-Si ）、さらに、アルミニウム（ Al ）、銅（ Cu ）、タングステン（ W ）などの金属、が含まれる。一部の実施形態では、本明細書に記載のAHMは、酸化物層、窒化物層、またはポリシリコン層のパターニングに用いられる。

10

【0018】

オペレーション102では、プラズマ化学気相成長（PECVD）によりアッシュブル・ハードマスクを被エッチング層に堆積させる。PECVDプロセスは、成長チャンバ内でプラズマを発生させることを伴う。図2を参照してさらに詳しく後述するように、高周波数（HF）電力と低周波数（LF）電力とを含むデュアル高周波（RF）プラズマ源を用いることができる。プロセスによっては、1つ以上のAHM層が堆積される。

【0019】

オペレーション104では、フォトリジスト層を、堆積させ、露光し、所望のエッチングパターンに従って現像する。一部の實現形態では、フォトリジストの堆積に先立って、反射防止層（ARL：Anti-Reflective Layer）をAHMの上に堆積させることができる。

20

【0020】

オペレーション106では、AHMの露出部分をエッチングすることにより、AHMに孔を開ける。AHMへの孔開けは、フッ素リッチなドライエッチングによって実施することができる。

【0021】

次に、オペレーション108では、基板層にパターンを転写するように、基板層を選択的にエッチングする。選択的エッチングは、AHM壁を略損なうことなく、基板層がエッチングされるように実施することができる。エッチングの例として、ラジカル性および/またはイオン性のエッチングを含むことができる。エッチング化学物質の例として、フッ素含有および塩素含有のエッチング化学物質など、ハロゲン系のエッチング化学物質を含むことができる。例えば、フッ化炭素含有の処理ガスから生成した容量結合プラズマを用いて、酸化物層を選択的にエッチングすることができる。処理ガスの具体例として、 $\text{C}_4\text{H}_8/\text{CH}_2\text{F}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$ など、オプションとして酸素（ O_2 ）および不活性ガスを添加した、 C_xF_y 含有の処理ガスが含まれる。

30

【0022】

最後に、オペレーション110では、アッシング、プラズマアッシング、または乾式剝離と呼ばれる手法を用いて、AHMを除去する。アッシングは、酸素リッチなドライエッチングによって実施することができる。多くの場合、真空下のチャンバ内に酸素を導入して、RF電力によりプラズマ中に酸素ラジカルを生成し、これらがAHMと反応してそれを酸化させ、水（ H_2O ）と一酸化炭素（ CO ）と二酸化炭素（ CO_2 ）にする。オプションとして、アッシングの後に、残ったAHM残渣をウェットまたはドライエッチングプロセスによって除去してもよい。結果として、所望のパターンが形成された基板層が得られる。

40

【0023】

高アスペクト比のパターン形成では、高エッチング選択性を有するAHMを用いる。エッチング選択性は、AHM層のエッチング速度を下層と比較することにより求めることができる。また、エッチング選択性は、AHM層の弾性率または剛性を求めることにより、近似することもできる。AHMは、剛性がより大きいか、または弾性率がより高いほど、より多くのイオン衝撃を伴うエッチングプロセスにおいて、より高いエッチング速度に耐

50

えることが可能である。従って、弾性率がより高いA H Mほど、選択性はより高く、エッチング速度はより低く、高アスペクト比の半導体プロセスの処理において、より効率的かつ効果的に用いることができる。要求されるA H Mのエッチング選択性および弾性率は、下層のエッチングプロセスおよび組成に依存し得るが、エッチング選択性と弾性率との相関関係（例えば、エッチング選択性がより高い場合は、弾性率がより高い）は、下層のエッチングプロセスまたは組成に関係なく同じである。本明細書で記載するような弾性率 - 選択性の相関関係は、ポリシリコン層、酸化物層、窒化物層を含むあらゆるタイプの下層の場合に当てはまる。

【0024】

これまで知られている高選択性A H Mは、応力レベルが非常に高い。A H Mを形成する従来の方法は、P E C V Dプロセスにおいて、連続波R F電力プラズマを用いる。連続波R F電力を用いると、その結果、連続イオン衝撃が生じることで、膜密度が高くなり、これにより、原子間に sp^3 結合がより多く形成されることによって、エッチング選択性が高くなる。一方、連続イオン衝撃によって、過剰な非結合水素原子が膜に取り込まれることもあり得るとともに、高原子量イオンの高イオン衝撃が生じ得る。これによって、堆積されるA H Mの応力が高くなることがあり、高応力のA H Mは、破壊または圧縮する可能性がより高いので、A H Mの適用は制限される。また、応力レベルが高くなることで、レーザーアライメントがより難しくなる。

【0025】

いくつかの実施形態により、本明細書において、高選択性かつ低応力のA H Mを形成する方法を提供する。これらの方法により、特定の応力レベルで選択性が向上したA H M、または特定の選択性で応力レベルが低減したA H Mを生成し、こうして、半導体処理におけるA H M性能を向上させる。

【0026】

図2は、いくつかの実施形態により、デュアルR Fプラズマ電力の変調によってA H Mを形成する方法の関連オペレーションを示すプロセスフロー図を示している。方法200は、オペレーション202において、チャンバ内に基板を準備することにより開始する。基板および基板層の例については、図1を参照して上述した。図1では、A H Mをハードマスクとして用いる集積方法について説明した。他のいくつかの実施形態では、本明細書で記載するA H Mを、ハードマスクとしての使用に加えて、またはその代わりに、エッチング停止層として用いることもできる。次に、オペレーション204において、炭化水素前駆体を含む処理ガスに基板を暴露する。一部の実施形態では、炭化水素前駆体は、式 C_xH_y で定義されるものとして定義することができ、このとき、Xは2 ~ 10の整数であり、Yは2 ~ 24の整数である。例として、メタン(CH_4)、アセチレン(C_2H_2)、エチレン(C_2H_4)、プロピレン(C_3H_6)、ブタン(C_4H_{10})、シクロヘキサン(C_6H_{12})、ベンゼン(C_6H_6)、トルエン(C_7H_8)が含まれる。

【0027】

一部の実施形態では、2つ以上の炭化水素前駆体を導入することができる。炭化水素前駆体に加えて、前駆体ガス流を希釈するためにキャリアガスを用いることができる。キャリアガスは、ヘリウム(H e)、アルゴン(A r)、窒素(N_2)、水素(H_2)、またはこれらの任意の組み合わせなど、いずれかの適切なキャリアガスとすることができる。

【0028】

成長チャンバ内の全圧は、約1 ~ 約20トルの範囲とすることができる。一部の実施形態では、圧力は、約5トル ~ 約10トルの間である。一部の実施形態では、炭化水素前駆体は、米国特許第7981777号および第7981810号に記載されているように、例えば、約0.01トル ~ 約4トルの間の低分圧で導入され、これらの文献は、参照により本明細書に組み込まれる。一部の実施形態では、その分圧は、約0.2トル以下である。

【0029】

前駆体ガス流量は、個々の成長チャンバおよび基板に依存する。4つの300mm基板

10

20

30

40

50

に用いられる流量の例は、約 200 sccm ~ 約 4000 sccm の間のアセチレン、約 1000 sccm ~ 約 20000 sccm の間の水素、約 1000 sccm ~ 約 20000 sccm の間のヘリウムである。

【0030】

本明細書で開示される流量および RF 電力は、300 mm ウェハ用に構成された 4 ステーションのツールの場合のものである。電力レベルおよび流量は、一般に、ステーション数および基板面積に対して直線的にスケールされる。また、流量および電力は、単位面積当たりで表すことができ、例えば、2500 W は、 0.884 W/cm^2 と表すこともできる。

【0031】

本明細書で記載する方法は、所望の AHM 特性を得るのに適した処理温度で用いることができ、その例は、約 50 ~ 約 550 の範囲に及ぶ。処理温度は、 sp^2 結合と sp^3 結合の構成比が少なくとも一因となって、応力、選択性、および透過性に影響を及ぼし得る。高温では、C-H 結合の容易な切断と、それに続く水素の拡散が可能であるため、より高温であるほど、 sp^2 リッチなアモルファスカーボンネットワーク構成となる傾向がある。例えば、約 500 よりも高い温度で堆積された膜は、 sp^3 結合に比べて、著しく多くの sp^2 CH および CH_2 結合を有して、炭素含有量がより多く、より高密度となることがあり、これは、より高いエッチング選択性に相関する。ところが、このような膜は、 sp^2 カーボンのより低い光学バンドギャップに起因して、厚いハードマスクでの適用には適さない場合がある。例えば、そのような膜は、2 k μm 以上では、マスクアライメントのために十分な透過性ではない場合がある。例えば、透過性の膜および透過性の劣る膜に対して、一般に、633 nm レーザを用いることができる。上記で参照した米国特許第 7981810 号では、より低温で、さらに / または炭化水素前駆体流を希釈して、高選択性かつ透過性の AHM を堆積させるためのプロセス条件を提示している。より低温の例えば約 400 未満で堆積させた AHM は、より高温で堆積させた膜と比べて、 sp^2 結合がより少ない。

【0032】

次に、オペレーション 206 で、低周波数 (LF) 成分と高周波数 (HF) 成分とを含むデュアル RF プラズマ源を用いてプラズマを点火することにより、PECVD プロセスによって、基板上にアッシュブル・ハードマスクを堆積させる。いくつかの実施形態において、それらの実施形態の方法は、LF RF 電力を用いて、高エネルギーイオン衝撃を発生させる。低周波数 RF 電力とは、約 100 kHz ~ 約 2 MHz の間の周波数を有する RF 電力を指す。一部の実施形態では、パルス化周波数は、LF 発生器の動作能力によって制限され得る。一部の実施形態では、LF RF 電力は、例えば 430 kHz である約 400 kHz の周波数を有する RF 電力である。一部の実施形態では、成膜中の LF 電力は、基板の表面積の 1 cm^2 当たり、単位 W で表した場合、約 0.001 W/cm^2 ~ 約 0.05 W/cm^2 の範囲である。一部の実施形態では、LF 電力は、約 0 ~ 約 1.25 W/cm^2 の範囲である。高周波数 RF 電力とは、約 2 MHz ~ 約 60 MHz の間の周波数を有する RF 電力を指す。一部の実施形態では、HF RF 電力は、約 13.56 MHz の周波数を有する RF 電力である。一部の実施形態では、成膜中の、基板面積当たりの HF 電力は、約 0.001 W/cm^2 ~ 約 0.05 W/cm^2 の範囲である。一部の実施形態では、基板面積当たりの HF 電力は、約 0.05 W/cm^2 ~ 1.25 W/cm^2 の範囲である。

【0033】

次に、オペレーション 208 で、HF 電力を一定としつつ LF 電力をパルス化する。いくつかの実施形態において、LF 電力は、LF 電力をオンとオフで切り替えることによりパルス化される。一部の実施形態では、LF 電力は、約 0 W/cm^2 と約 0.05 W/cm^2 の間でパルス化される。いくつかの実施形態において、LF 電力は、LF を非ゼロ電力レベル間で切り替えることによりパルス化される。一部の実施形態では、LF 電力は、約 0 W/cm^2 と約 0.02 W/cm^2 の間でパルス化される。多くの実施形態では、HF

10

20

30

40

50

R F と L F R F の電力は、プラズマを維持するのに十分なものである。

【 0 0 3 4 】

L F パルス化のデューティサイクル (L F がオンまたは高電力である時間の割合) は、約 1 0 % ~ 約 7 0 % の範囲である。いくつかの実施形態において、L F 電力は、約 2 H z ~ 約 1 0 H z の間の周波数でパルス化される。いくつかの実施形態において、L F 電力は、少なくとも約 1 0 H z、または少なくとも約 2 0 H z、または少なくとも約 1 0 0 H z、または少なくとも約 2 0 0 H z の周波数で、パルス化される。

【 0 0 3 5 】

また、前駆体ガス流を、L F 電力パルス化に同期させるか、または非同期で、パルス化することも可能である。ガスのパルス化を、R F パルス化と併用することができ、これにより、エッチング選択性を向上させるように膜特性をさらに改変することができる。例えば、処理ガスは、5 0 % のデューティサイクルで、または 0 . 5 秒のパルス幅で、パルス化することができる。いくつかの実施形態によれば、処理ガスのパルス周波数は、約 0 . 0 5 H z ~ 約 1 H z の間である。

【 0 0 3 6 】

一部の実施形態では、H F と L F の R F 成分を、同期させてパルス化することができる。H F 成分がパルス化される場合には、高電力から低電力にパルス化され、プラズマシーズの崩壊を回避するため、オフにされることはない。あるいは、L F R F 電力のみをパルス化することが、より安定したプラズマを生成するためには効果的であり得る。

【 0 0 3 7 】

図 3 は、L F 電力を約 0 . 2 秒間オンにし、約 0 . 3 秒間オフにする約 0 . 5 秒のパルス幅で、L F 電力が 2 H z でパルス化されるデュアル R F プラズマ源を用いて、P E C V D により A H M を堆積させる場合の、いくつかの実施形態についてタイミングシーケンス図を示している。3 つのパルスを図 3 に示している。他の実施形態では、パルス周波数は、約 2 H z ~ 約 2 0 0 H z の間とすることができる。前駆体ガス流、圧力、キャリアガス流、および H F 電力のプロセスパラメータは、一定である。

【 0 0 3 8 】

L F 電力をパルス化することによって、層へのイオンおよび原子の衝突が緩和され、その結果、層における応力が低減する。このように層へのイオンおよび原子の衝突を緩和することによって、膜の高密度化を最適化し、層内の水素含有量を低減する。こうして、層における応力が低減される。

【 0 0 3 9 】

いくつかの実施形態によれば、堆積される A H M は、下層に対するエッチング選択性が、約 3 . 6 : 1 から約 4 . 4 : 1 の間である。一部の実施形態では、堆積される A H M は、約 1 8 % の水素含有量を有する。一部の実施形態では、堆積される A H M は、約 1 5 % 未満、約 1 0 % 未満、または約 5 % 未満の水素含有量を有する。

【 0 0 4 0 】

一部の実施形態では、堆積される A H M は、弾性率と応力の比が 1 : 1 である。一部の実施形態では、堆積される A H M の弾性率は、約 7 0 G P a であり、応力は、約 - 8 0 M P a である。

【 0 0 4 1 】

図 2 を参照して、オペレーション 2 0 6 および 2 0 8 は、所望の厚さの膜が堆積されるまで継続される。いくつかの実施形態によれば、約 1 0 0 0 ~ 約 9 0 0 0 0 の間の厚さを有する膜が堆積される。一部の実施形態では、約 5 0 ~ 約 9 0 0 の間の厚さを有する A H M 薄層を堆積させることができる。

【 0 0 4 2 】

装置

実施形態は、プラズマ化学気相成長 (P E C V D) 反応器において実施することができる。このような反応器は、多くの異なる形態をとり得る。様々な実施形態が、既存の半導体処理装置に適合し、具体的には、ラムリサーチ社 (L a m R e s e a r c h C o r p

10

20

30

40

50

or at i o n) から入手可能な S e q u e l (登録商標) または V e c t o r (登録商標) 反応チャンバなどの P E C V D 反応器である。様々な実施形態を、マルチステーションまたはシングルステーション・ツールで実施することができる。具体的な実施形態では、4ステーション成膜方式の 300mm L a m V e c t o r (登録商標) ツール、または 6ステーション成膜方式の 200mm S e q u e l (登録商標) ツールが使用される。

【0043】

一般に、装置は、1つ以上のステーションをそれぞれが有する1つ以上のチャンバまたは反応器を備える。チャンバは、1枚以上のウェハを収容し、ウェハ処理に適しチャンバである。1つ以上のチャンバでは、ウェハを、その回転、振動、または他の揺動を防ぐことにより、規定の位置またはいくつかの位置に維持する。一部の実施形態では、A H M の堆積を受けるウェハは、プロセス中に、チャンバ内の1つのステーションから別のステーションに移送される。例えば、2000 の A H M の堆積を、1つのステーションで全て実施してもよく、または、様々な実施形態により4つのステーションのそれぞれにおいて膜の500 を堆積させてもよい。あるいは、膜厚全体の他の割合を、任意の数のステーションで堆積させてもよい。複数の A H M が堆積される場合の様々な実施形態において、複数のステーションを使用して、それぞれの A H M 層を堆積させることができる。処理中の各ウェハは、ペDESTAL、ウェハチャック、および/または他のウェハ保持装置によって、所定位置に保持される。ウェハが加熱されるべきいくつかのオペレーション用として、装置は、加熱プレートなどのヒータを備えることができる。

【0044】

図4は、様々な実施形態を実施するのに適した P E C V D チャンバの概略図を示している。図示のように、反応器400は、処理チャンバ424を備え、これは、他の反応器コンポーネントを取り囲むとともに、接地ヒータブロック420と協働するシャワーヘッド414を含む容量型システムにより生成されるプラズマを収容する。低周波数 R F 発生器402および高周波数 R F 発生器404が、整合ネットワーク406に接続されており、これがさらにシャワーヘッド414に接続されている。整合ネットワーク406により供給される電力および周波数は、処理ガスからプラズマを発生させるのに十分なものである。コントローラは、前駆体ガスを導入し、H F R F 発生器404において H F 電力をオンに切り替え、L F R F 発生器402において L F 電力をオンとオフまたはハイとローの間で切り替えるための機械可読命令を供給する。コントローラ428は、機械可読システム制御ソフトウェアを実行し、機械可読命令は、大容量記憶装置に保存され、メモリデバイスにロードされ、プロセッサで実行されることで、本発明の実施形態による方法を本装置で実行させる。あるいは、制御ロジックは、コントローラ428にハードコーディングされてもよい。このような目的で、特定用途向け集積回路、プログラマブルロジックデバイス(例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ、すなわち F P G A) などを用いることができる。「ソフトウェア」または「コード」が用いられる場合には、いずれも、機能的に同等のハードコーディングされたロジックが代わりに用いられてもよい。

【0045】

反応器内において、ウェハサポート418により、基板416を保持する。ペDESTALは、一般に、成膜および/またはプラズマ処理反応の最中および合間に基板を保持および移送するための、チャック、フォーク、またはリフトピンを備える。チャックは、静電チャック、メカニカルチャック、または産業界および/もしくは研究において利用可能であるような他の種々のタイプのチャックとすることができる。

【0046】

処理ガスは、導入口412を介して導入される。複数の原料ガスライン410がマニホールド408に接続されている。これらのガスは、オプションとして、予混合されてもよい。処理中に的確なガスが供給されることを保証するため、適切な弁操作および質量流量制御機構が採用される。化学的前駆体(複数の場合もある)が液状で供給される場合には、液流制御機構を採用する。その場合、液体は、成長チャンバに達する前に、その搬送中

に気化されて、その蒸発点よりも高く加熱されたマニホールド内で他の処理ガスと混合される。

【 0 0 4 7 】

処理ガスは、排出口 4 2 2 を介してチャンバ 4 0 0 から排出される。真空ポンプ 4 2 6 (例えば、単段または 2 段の機械的乾式ポンプ、および/またはターボ分子ポンプ)により、処理ガスを取り出し、スロットル弁または振り子式弁などの閉ループ制御による流量制限装置によって、反応器内を適切な低圧に維持する。

【 0 0 4 8 】

実験

以下の例は、いくつかの実施形態の様々な側面について、さらに説明するために提示する。これらの例は、様々な側面について例示し、より明確に説明するために提示するものであって、限定するものではない。以下で記載する高周波 (R F) 電力レベルは、 3 0 0 m m ウェハ用に構成された 4 ステーションのツールの場合のものである。

【 0 0 4 9 】

図 2 のプロセスの一実施形態について、実験データを収集した。図 5 は、低温で A H M を堆積させた場合の、 G P a を単位とする A H M の弾性率を、 M P a を単位とする応力の関数として示している。

【 0 0 5 0 】

A H M は、前駆体として C_2H_2 を、キャリアガスとして N_2 および H e を用いて、基板上の誘電体膜に堆積された。 L F 変調を用いることなく堆積された A H M の弾性率および応力について測定を行った。そのようなデータを、図 5 において菱形点および実線で示している。キャリアガス流、チャンバ圧力、処理温度、および前駆体処理ガス流は、一定に維持された。表 1 のパラメータが使用された。

【表 1】

表 1 : 低温かつ変調なしによる A H M 堆積

パラメータ		パラメータ範囲
N_2	3000 sccm	0 ~ 10000 sccm
C_2H_2	300 sccm	0 ~ 10000 sccm
He	8000 sccm	1000 ~ 20000 sccm
H F 電力	0.35 W/cm ²	0.05 ~ 1.25 W/cm ²
L F 電力	0.42 W/cm ²	0 ~ 1.25 W/cm ²
圧力	2.5 トル	1 ~ 20 トル

【 0 0 5 1 】

連続波プラズマ生成を用いて、 P E C V D 法により A H M を堆積させた。プラズマ源により、 1 3 . 5 6 M H z の周波数で H F 電力を、さらに 4 3 0 k H z の周波数で L F 電力を、生成した。 H F 電力は 0 . 3 5 W / c m² であり、 L F 電力は 0 . 4 2 W / c m² であった。 L F 電力はパルス化されず、すなわち、 A H M 堆積中には、 H F 電力と L F 電力の両方がオンで、かつ一定であった。

【 0 0 5 2 】

L F 変調を用いて堆積された A H M の弾性率および応力について測定を行った。そのデータを、図 5 において丸点および点線で示している。キャリアガス流、チャンバ圧力、処理温度、および前駆体処理ガス流は、一定に維持された。表 2 のパラメータが使用された。

。

【表 2】

表 2：低温かつ L F 変調による A H M 堆積

L F オン期間		パラメータ範囲
N ₂	3000 sccm	0 ～ 10000 sccm
C ₂ H ₂	300 sccm	0 ～ 10000 sccm
He	8000 sccm	1000 ～ 20000 sccm
H F 電力	0.35 W/cm ²	0.05 ～ 1.25 W/cm ²
L F 電力	0.42 W/cm ²	0 ～ 1.25 W/cm ²
圧力	2.5 トル	1 ～ 20 トル
L F オン時間	90 秒	1 ～ 200 秒

10

L F オフ期間		パラメータ範囲
N ₂	3000 sccm	0 ～ 10000 sccm
C ₂ H ₂	300 sccm	0 ～ 10000 sccm
He	8000 sccm	1000 ～ 20000 sccm
H F 電力	0.35 W/cm ²	0.05 ～ 1.25 W/cm ²
L F 電力	0 W/cm ²	ハイ／ロー変調の 0 W/cm ² または ロー (0.02 ～ 0.10 W/cm ²)
圧力	2.5 トル	1 ～ 20 トル
L F オフ時間	180 秒	1 ～ 200 秒

20

【 0 0 5 3 】

デュアル R F プラズマ源により、13.56 MHz の周波数で H F 電力を、さらに 430 kHz の周波数で L F 電力を、生成した。H F 電力は 0.35 W/cm² であり、L F 電力は、0 W/cm² と 0.42 W/cm² の間でパルス化された。L F 電力は、2 Hz の周波数でパルス化された。

30

【 0 0 5 4 】

非パルス A H M とパルス A H M の両方について、応力および弾性率のデータを取得した。その結果を、図 5 にグラフ化している。全体として、-450 MPa などの特定の応力について、L F パルス化による A H M の弾性率は、より高くなっていた。これは、膜の剛性が大きくなったことを、ひいてはエッチング選択性が高くなったことを示唆している。特定の弾性率について、全体の応力は低減していた。例えば、60 GPa の A H M 弾性率について、全体の応力は -450 MPa から -150 MPa まで減少しており、応力が 0 MPa に近づくほど、A H M 全体の圧縮が少ないことを示唆している。

【 0 0 5 5 】

40

図 2 のプロセスの別の実施形態について、実験データを収集した。図 6 は、O P O P (酸化物 / ポリシリコン・スタック) エッチングにおいて高温で堆積される A H M の、ポリシリコンに対するエッチング選択性を、MPa を単位とする応力の関数として示している。

【 0 0 5 6 】

連続波プラズマ生成を用いて堆積された A H M について、応力および選択性のデータを収集した。そのデータを、図 6 において菱形点および実線で示している。ポリシリコン基板層を、550 °C で、キャリアガス He および N₂ を伴う前駆体処理ガス C₂H₂ に暴露した。キャリアガス流、チャンバ圧力、処理温度、および前駆体処理ガス流は、一定に維持された。L F パルス化によって、A H M のエッチング選択性は、200 % 高くなった。以

50

下のパラメータを使用した。

【表 3】

表 3：高温かつ変調なしによるAHM堆積

パラメータ		パラメータ範囲
N ₂	1000 sccm	0 ～ 10000 sccm
C ₂ H ₂	900 sccm	0 ～ 10000 sccm
He	9000 sccm	1000 ～ 20000 sccm
H F 電力	0.22 W/cm ²	0.05 ～ 1.25 W/cm ²
L F 電力	0.22 W/cm ²	0 ～ 1.25 W/cm ²
圧力	5 トル	1 ～ 20 トル

10

【 0 0 5 7 】

デュアル R F プラズマ源により、13.56 MHz の周波数で H F 電力を、さらに 430 kHz の周波数で L F 電力を、生成した。H F 電力は 0.22 W/cm² であり、L F 電力は、0.22 W/cm² であった。L F 電力はパルス化されず、すなわち、AHM 堆積中には、H F 電力と L F 電力の両方がオンにされ、かつ一定であった。

【 0 0 5 8 】

20

次に、パルス化された L F による PECVD を用いて堆積させた AHM の応力およびエッチング選択性について、データを収集した。そのデータを、図 6 において丸点で示している。ポリシリコン基板層を、550℃ で前駆体処理ガス C₂H₂ に暴露した。キャリアガス流、チャンバ圧力、処理温度、および前駆体処理ガス流は、一定であった。以下のパラメータを使用した。

【表 4】

表 4：高温かつ L F 変調による A H M 堆積

L F オン期間		パラメータ範囲
N ₂	1000 sccm	0 ～ 10000 sccm
C ₂ H ₂	900 sccm	0 ～ 10000 sccm
He	9000 sccm	1000 ～ 20000 sccm
H F 電力	0.22 W/cm ²	0.05 ～ 1.25 W/cm ²
L F 電力	0.22 W/cm ²	0 ～ 1.25 W/cm ²
圧力	5 トル	1 ～ 20 トル
L F オン時間	150 秒	1 ～ 200 秒

L F オフ期間		パラメータ範囲
N ₂	1000 sccm	0 ～ 10000 sccm
C ₂ H ₂	900 sccm	0 ～ 10000 sccm
He	9000 sccm	1000 ～ 20000 sccm
H F 電力	0.22 W/cm ²	0.05 ～ 1.25 W/cm ²
L F 電力	0 W/cm ²	0 W/cm ² またはロー (0.02 ～ 0.10 W/cm ²)
圧力	5 トル	1 to 20 トル
L F オフ時間	300 秒	1 to 300 秒

【 0 0 5 9 】

デュアル R F プラズマ源により、13.56 MHz の周波数で H F 電力を、さらに 430 kHz の周波数で L F 電力を、生成した。H F 電力は 0.22 W/cm² であり、L F 電力は、0 W/cm² と 0.22 W/cm² の間でパルス化された。L F 電力は、2 Hz の周波数でパルス化された。

【 0 0 6 0 】

連続波による A H M と、L F パルス化による A H M の両方について、エッチング選択性を測定した。その結果を、図 6 にグラフ化している。全体として、L F パルス化による A H M 膜のポリシリコンに対する全体の選択性は、特定の応力レベルについて、連続波プラズマによる A H M 膜よりも高い選択性であった。これは、成膜プロセスにおける L F パルス化によって、エッチング選択性が高まり、A H M 技術が大きく向上することを示唆している。

【 0 0 6 1 】

従来の連続波プラズマによる A H M、および L F パルス化による A H M から、A H M の分子組成を測定するために、昇温脱離ガス分析法 (TDS: Thermal Desorption Spectroscopy) を用いた。図 7 は、連続波プラズマおよび L F パルス化プラズマを用いて堆積させた両方の A H M からの TDS の結果を示している。より高温では、堆積された A H M 膜の H₂ ガス放出は、連続波プラズマを用いて堆積された A H M よりも少なく、これは、A H M に残された H 含有量がより少なかったことを示唆している。A H M の H 含有量がより少なかったことにより、A H M は、より安定した分子構造を有したものであって、ひいては、より高い選択性を有して、A H M 性能が向上したものであった。

【 0 0 6 2 】

むすび

上記の実施形態は、明確な理解を目的として、ある程度詳細に記載したが、添付の請求項の範囲内でいくらかの変更および変形を実施することができることは明らかであろう。なお、本発明の実施形態のプロセス、システム、および装置を実現する数多くの代替的方法があることに留意すべきである。よって、本発明の実施形態は例示とみなされるべきであって、限定するものではなく、また、実施形態は、本明細書で提示した詳細に限定されるものではない。

【図 1】

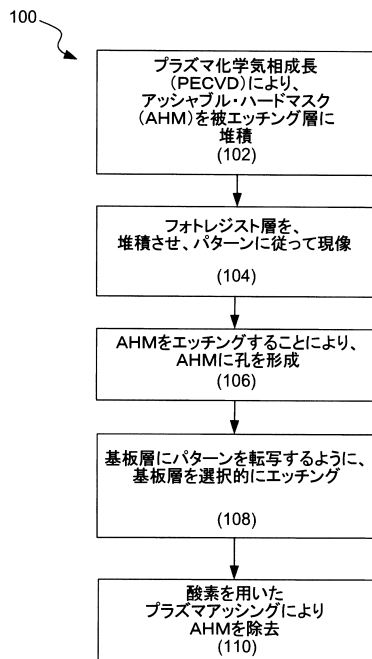


FIG. 1

【図 2】

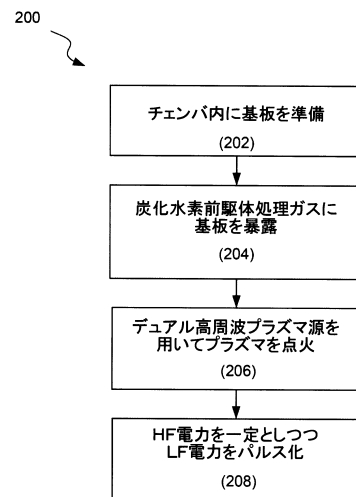


FIG. 2

【図 3】

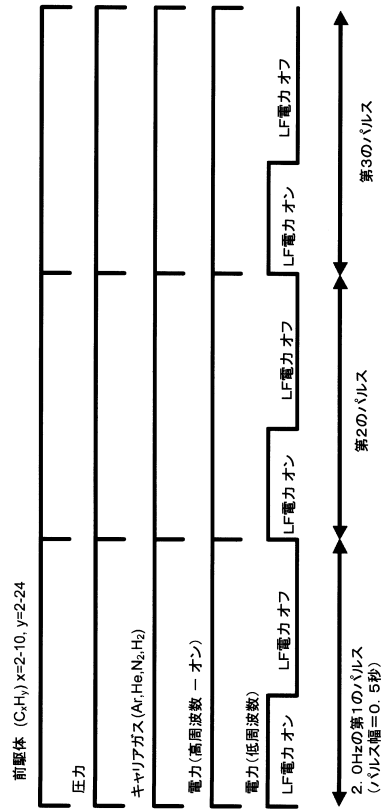


FIG. 3

【図 4】

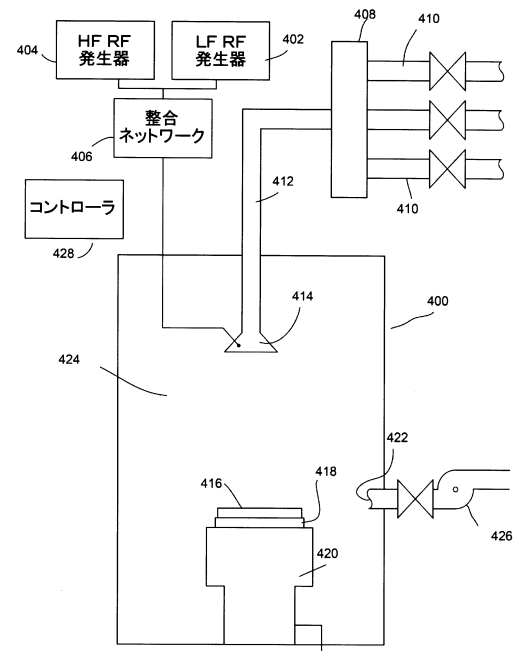


FIG. 4

【図 5】

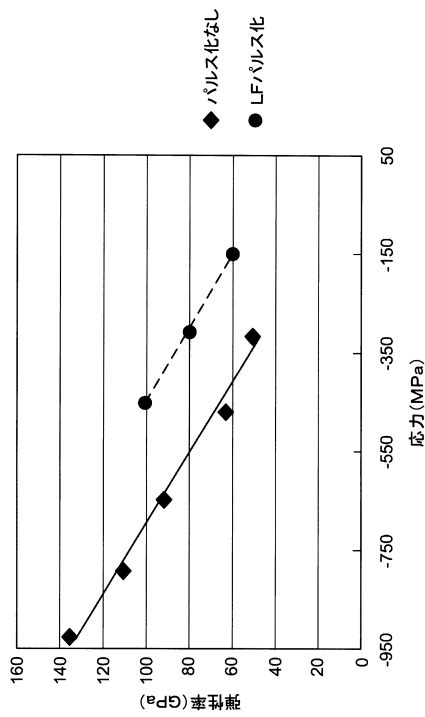


FIG. 5

【図 6】

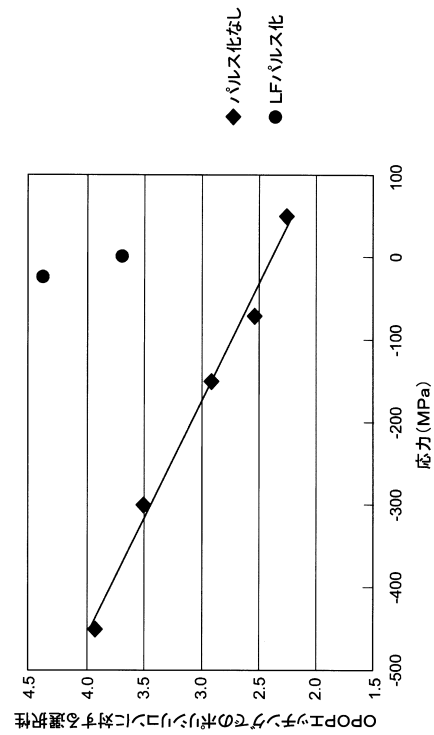


FIG. 6

【図 7】

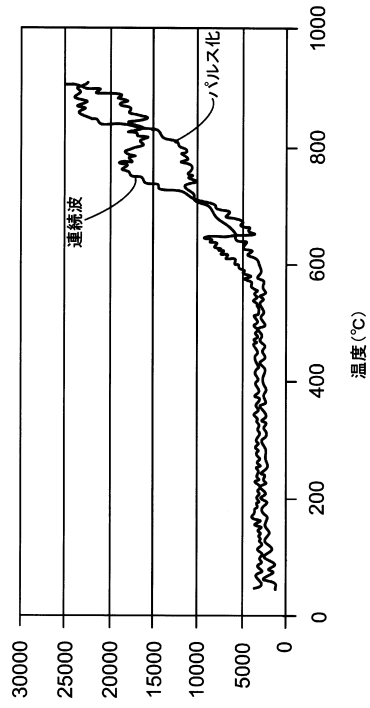


FIG. 7

フロントページの続き

- (72)発明者 チュンハイ・ジー
アメリカ合衆国 オレゴン州 97229 ポートランド, ノースウェスト・トレビーノ・ストリート, 13637
- (72)発明者 チェン・シンイー
アメリカ合衆国 オレゴン州 97062 チュラチン, サウスウェスト・チュラチン・ロード, 11865, アpartment 146
- (72)発明者 プラモド・スプラモニウム
アメリカ合衆国 オレゴン州 97005 ビューバートン, サウスウェスト・マレイ・ブルバード, 5660, アpartment 27

審査官 長谷川 直也

- (56)参考文献 特開2004-238649(JP, A)
特表2013-526061(JP, A)
米国特許第07981777(US, B1)
米国特許出願公開第2009/0294062(US, A1)
特開2001-148382(JP, A)
特開2008-291344(JP, A)
特開2001-234340(JP, A)
特開平07-278822(JP, A)
特開平04-359515(JP, A)
特開平08-020874(JP, A)
特開2009-135439(JP, A)
特開2011-021256(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205、21/302、21/3065、21/31、
21/365、21/461、21/469、21/86、
H05H 1/00 - 1/54、
C23C 16/00 - 16/56