

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7447004号  
(P7447004)

(45)発行日 令和6年3月11日(2024.3.11)

(24)登録日 令和6年3月1日(2024.3.1)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 21/318 (2006.01)	H 0 1 L 21/318 B
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/31 C
C 2 3 C 16/56 (2006.01)	C 2 3 C 16/56
C 2 3 C 16/42 (2006.01)	C 2 3 C 16/42

請求項の数 15 (全11頁)

(21)出願番号	特願2020-540444(P2020-540444)	(73)特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, バウアーズ アヴェニュー 3050 3050 Bowers Avenue Santa Clara CA 95054 U.S.A.
(86)(22)出願日	平成31年1月17日(2019.1.17)	(74)代理人	110002077 園田・小林弁理士法人
(65)公表番号	特表2021-511672(P2021-511672 A)	(72)発明者	クオ, チンルイ アメリカ合衆国 カリフォルニア 950
(43)公表日	令和3年5月6日(2021.5.6)		最終頁に続く
(86)国際出願番号	PCT/US2019/013968		
(87)国際公開番号	WO2019/147462		
(87)国際公開日	令和1年8月1日(2019.8.1)		
審査請求日	令和3年11月12日(2021.11.12)		
(31)優先権主張番号	62/622,357		
(32)優先日	平成30年1月26日(2018.1.26)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 窒化ケイ素の薄膜のための処理方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を処理する方法であって、  
 処理チャンバの処理容積内に位置する基板支持体上に基板を配置すること、  
 流動性窒化ケイ素層を前記基板上に堆積させること、  
 前記基板上に堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理すること、  
 窒化ケイ素層の厚みが所望の厚みに達するまで、前記流動性窒化ケイ素層を前記基板上に堆積させることと、次いで前記基板上に堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理することとを順次繰り返すこと  
 を含み、前記基板上に堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理することが、  
 NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、He、Ar、又はこれらの組み合わせを含む第1のガスの一種以上のラジカル種を流すこと、及び  
 前記流動性窒化ケイ素層を前記ラジカル種に曝露すること  
 を含む、方法。

【請求項 2】

前記第1のガスの前記一種以上のラジカル種を流すことが、  
 前記第1のガスを前記処理チャンバの処理容積内に流すこと、及び  
 容量性結合エネルギーにより前記第1のガスの遠隔プラズマを形成すること  
 を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

一種以上のシリコン前駆体を前記処理チャンバの処理容積内に流すこと、  
 前記基板を前記一種以上のシリコン前駆体に曝露すること、  
 第 2 のガスのラジカル種を含む一種以上のラジカル共反応物質を流すこと、及び  
 前記基板を前記一種以上のラジカル共反応物質に曝露すること  
 を含む前記流動性窒化ケイ素層を前記基板上に堆積させることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 2 のガスの前記一種以上のラジカル種を流すことが、  
 前記第 2 のガスを前記処理チャンバの処理容積内に流すこと、及び  
 容量性結合エネルギーにより前記第 2 のガスの遠隔プラズマを形成すること  
 を含む、請求項 3 に記載の方法。

10

【請求項 5】

前記一種以上のシリコン前駆体が炭素を含まない、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 6】

前記一種以上のシリコン前駆体がシラザン化合物を含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 2 のガスの前記一種以上のラジカル種が、前記処理チャンバと流体連結する遠隔プラズマ源から前記処理チャンバの処理容積に流れる、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 8】

前記流動性窒化ケイ素層を堆積させた後、堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理する前に、前記処理容積に流入させた不活性パージガスを使用して前記処理容積をパージすることをさらに含む、請求項 7 に記載の方法。

20

【請求項 9】

窒化ケイ素層のラジカルベース処理のための方法であって、  
 処理チャンバの処理容積内に位置する基板支持体上に基板を配置すること、  
 流動性窒化ケイ素層を前記基板上に堆積させること、  
 前記基板上に堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理すること、及び  
 窒化ケイ素層の厚みが所望の厚みに達するまで、前記流動性窒化ケイ素層を前記基板上に堆積させることと、次いで前記基板上に堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理することとを順次繰り返すこと

30

を含み、前記基板上に堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理することが、

$\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ar}$ 、又はこれらの組み合わせを含む第 1 のガスの一種以上のラジカル種を流すこと、及び

堆積された前記流動性窒化ケイ素層を前記ラジカル種に曝露すること  
 を含み、前記流動性窒化ケイ素層が、

一種以上のシリコン前駆体を前記処理チャンバの処理容積内に流すこと、  
 前記基板を前記一種以上のシリコン前駆体に曝露すること、  
 第 2 のガスのラジカル種を含む一種以上のラジカル共反応物質を流すこと、及び  
 前記基板を前記一種以上のラジカル共反応物質に曝露すること  
 を含む方法を使用して堆積させたものである、方法。

40

【請求項 10】

前記第 1 のガスの前記一種以上のラジカル種が、前記処理チャンバと流体連結する遠隔プラズマ源から前記処理チャンバの処理容積に流れる、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記第 2 のガスの前記一種以上のラジカル種が、前記処理チャンバと流体連結する遠隔プラズマ源から前記処理チャンバの処理容積に流れる、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】

前記第 1 のガスの前記一種以上のラジカル種を流すことが、  
 前記第 1 のガスを前記処理チャンバの処理容積内に流すこと、及び  
 容量性結合エネルギーを通して前記第 1 のガスの遠隔プラズマを形成すること、

50

を含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 3】

窒化ケイ素層の形成方法であって、  
基板上に流動性窒化ケイ素層を堆積させることであって、  
 一種以上のシリコン前駆体を第 1 の処理チャンバの処理容積内に流すこと、  
基板を前記一種以上のシリコン前駆体に曝露すること、  
第 1 のガスのラジカル種を含む一種以上のラジカル共反応物質を流すこと、及び  
前記基板を前記一種以上のラジカル共反応物質に曝露すること  
 を含む、基板上に流動性窒化ケイ素層を堆積させること、  
前記流動性窒化ケイ素層を処理することであって、  
NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、He、Ar、又はこれらの組み合わせを含む第 2 のガスの一種以上のラジカル種を流すこと、及び  
堆積された前記流動性窒化ケイ素層を前記第 2 のガスのラジカル種に曝露すること  
 を含む、前記流動性窒化ケイ素層を処理すること、並びに  
 窒化ケイ素層の厚みが所望の厚みに達するまで、前記基板上に前記流動性窒化ケイ素層を堆積させることと、次いで前記基板上に堆積された前記流動性窒化ケイ素層を処理することとを順次繰り返すこと  
 を含む方法。

10

【請求項 1 4】

前記第 1 の処理チャンバから第 2 の処理チャンバへ前記基板を移送することをさらに含み、堆積された前記流動性窒化ケイ素層を前記第 2 のガスのラジカル種に曝露することが、前記第 2 の処理チャンバ内で行われる、請求項 1 3 に記載の方法。

20

【請求項 1 5】

前記第 2 のガスの前記一種以上のラジカル種を流すことが、第 2 の処理チャンバ内に位置する UV 照射源を使用して前記第 2 のガスを前記一種以上のラジカル種に光解離することを含む、請求項 1 3 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の実施態様は、概して半導体装置製造プロセスの分野に関し、具体的には、電子デバイス製造プロセスにおける、基板表面上に堆積させた窒化ケイ素層のラジカルベース処理のための方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

窒化ケイ素は、金属レベル間の絶縁体層、酸化又は他の拡散を防止するバリア層、ハードマスク、安定化処理層、トランジスタに使用されるようなスペーサ材料、反射防止コーティング材料、不揮発性メモリ内の層といった電子デバイス製造プロセスにおける誘電体材料として、及びデバイスフィーチャ間のクロストークを低減するためのそれらの間のトレンチの間隙充填材として、一般的に使用される。多くの場合、窒化ケイ素層は、その堆積後に、所望の膜ストイキオメトリー、エッチング選択性、及びその他の望ましい膜特性を達成するためにさらに処理される。一般的な処理方法は、窒化ケイ素層を高密度プラズマ(HDP)に曝露することを含む。しかしながら、一般的な処理方法は、イオン衝撃に起因して、下に位置するフィーチャ及び基板上的材料に損傷を与えるリスクを生じさせるか、又はそうでないとしても、高アスペクト比の開口内に置かれた窒化ケイ素材料を処理するためには不十分である。

40

【0003】

したがって、当技術分野において必要とされるのは、所望の窒化ケイ素ストイキオメトリー及びその他所望の材料特性を達成するための、堆積された窒化ケイ素層を処理する方法の改善である。

【発明の概要】

50

## 【 0 0 0 4 】

ここに記載される実施態様は、通常、流動性化学気相堆積（FCVD）プロセスを使用して堆積させた窒化ケイ素層のラジカルベース処理を提供する。いくつかの実施態様では、本方法は、処理前に窒化ケイ素層を堆積させることをさらに含む。

## 【 0 0 0 5 】

一実施態様において、基板処理の方法は、処理チャンバの処理容積内に置かれた基板支持体上に基板を配置すること、及び基板上に堆積された窒化ケイ素層を処理することを含む。窒化ケイ素層を処理することは、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ar}$ 、又はこれらの組み合わせを含む第1のガスの一種以上のラジカル種を流すこと、及び窒化ケイ素層をこのようなラジカル種に曝露することを含む。いくつかの実施態様では、方法は、窒化ケイ素層を堆積させること、一種以上のシリコン前駆体を処理チャンバの処理容積内に流すこと、基板を一種以上のシリコン前駆体に曝露すること、第2のガスのラジカル種を含む一種以上のラジカル共反応物質を提供すること、及び基板を一種以上のラジカル共反応物質に曝露することをさらに含む。

10

## 【 0 0 0 6 】

別の実施態様では、窒化ケイ素層のラジカルベース処理のための方法は、処理チャンバの処理容積内に置かれた基板支持体上に基板を配置すること、及び基板上に堆積された窒化ケイ素層を処理することを含む。窒化ケイ素層を処理することは、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ar}$ 、又はこれらの組み合わせを含む第1のガスの一種以上のラジカル種を流すこと、及び堆積された窒化ケイ素層をこのようなラジカル種に曝露することを含む。ここでは、窒化ケイ素層は、一種以上のシリコン前駆体を処理チャンバの処理容積内に流すこと、基板を一種以上のシリコン前駆体に曝露すること、第2のガスのラジカル種を含む一種以上のラジカル共反応物質を流すこと、及び基板を一種以上のラジカル共反応物質に曝露することを含む方法を使用して堆積された。

20

## 【 0 0 0 7 】

別の実施態様では、窒化ケイ素層を形成する方法は、窒化ケイ素層を堆積させることと、堆積させた窒化ケイ素層のラジカルベース処理とを含む。窒化ケイ素層を堆積させることは、一種以上のシリコン前駆体を第1の処理チャンバの処理容積内に流すこと、基板を一種以上のシリコン前駆体に曝露すること、第1のガスのラジカル種を含む一種以上のラジカル共反応物質を流すこと、及び基板を一種以上のラジカル共反応物質に曝露することを含む。堆積された窒化ケイ素層を処理することは、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ar}$ 、又はこれらの組み合わせを含む第2のガスの一種以上のラジカル種を流すこと、及び堆積された窒化ケイ素層をこのような第2のガスのラジカル種に曝露することを含む。

30

## 【 0 0 0 8 】

本開示の上述のフィーチャを詳細に理解できるように、上記で簡単に要約された本開示のより詳細な説明が、実施態様を参照することによって得られ、それらの実施態様のいくつかは添付図面に示されている。しかしながら、添付図面は例示的な実施態様を示しているにすぎず、したがって本開示の範囲を限定するとみなすべきではなく、その他の等しく有効な実施態様が許容されうることに留意されたい。

## 【 図面の簡単な説明 】

40

## 【 0 0 0 9 】

【 図 1 】ここに記載される方法を実施するために使用されうる例示的処理チャンバの模式的断面図である。

【 図 2 】窒化ケイ素層のラジカルベース処理のための方法を説明するフロー図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 0 】

ここに記載される実施態様は、概して、基板表面上に位置する窒化ケイ素層のラジカルベース処理のための方法に関し、特に、流動性化学気相堆積（FCVD）プロセスを使用して堆積された窒化ケイ素層のラジカルベース処理のための方法に関する。流動性窒化ケイ素プロセス、例えば、（FCVD）プロセスを使用して堆積された窒化ケイ素層は通常

50

、一般的な方法を使用して堆積された窒化ケイ素層と比較したとき、高アスペクト比フィーチャの間隙充填性能を改善する。しかしながら、典型的にFCVDプロセスによって提供される窒化ケイ素層は、望ましくないことに、Si-H結合及びSi-NH結合の一方又は両方の複雑なネットワークを含み、一般的な方法により堆積された（非流動性）窒化ケイ素層と比較したとき、低い窒化ケイ素層膜密度を提供する。窒化ケイ素層の膜の品質を改善するための一般的な処理方法は、堆積された窒化ケイ素層を高密度プラズマ（HDP）に曝露することを含みうる。残念なことに、HDP処理は、層及びそれら処理層の下に位置するフィーチャを、処理層のイオン衝撃に由来する損傷に曝露するので望ましくない。したがって、ここでの実施態様は、さらなるクロスリンキング、高密度化、及び処理される窒化ケイ素層への所望の処理深度における窒素混入（窒化）を促進する、ガスラジカルを用いたFCVD堆積窒化ケイ素層の処理を提供する。ここに提供される方法は、望ましくは、窒化ケイ素層、又はその下に位置するフィーチャ及び材料層を、処理層のイオン衝撃に起因するそれらへの損傷のリスクに曝すことなく、水素不純物を除去し、その中の安定したS-N結合の数を増加させる。

#### 【0011】

図1は、ここに記載される方法を実施するために使用することのできる例示的処理チャンバの模式的断面図である。ここで処理チャンバ100は、チャンバリッドアセンブリ101、一又は複数の側壁102、及びチャンバ基部104を特徴とし、それらはまとめて処理容積120を画定する。チャンバリッドアセンブリ101は、チャンバリッド103、シャワーヘッド112、及びチャンバリッド103とシャワーヘッド112との間に位置する電氣的絶縁リング105を含み、これらはプレナム122を画定している。ガス入口114は、チャンバリッド103を貫通し、ガス源106と流体連結している。いくつかの実施態様では、ガス入口114はさらに、遠隔プラズマ源107と流体連結する。シャワーヘッド112は、それを貫通する複数の開口118を有し、それら複数の開口118を通してプレナム122から処理容積120の中へ処理ガス又はガス状ラジカルを均一に分配するために使用される。

#### 【0012】

いくつかの実施態様では、RF又はVHF電力供給部といった電力供給部142は、スイッチが144第1の位置（図示）にあるとき、このスイッチを介してチャンバリッドに電氣的に連結される。スイッチが第2の位置（図示しない）にあるとき、電力供給部142はシャワーヘッド112に電氣的に連結される。スイッチ144が第1の位置にあるとき、電力供給部142は、基板115から遠隔して位置する第1のプラズマ（例えばプレナム122内に位置する遠隔プラズマ128）に、点火してそれを維持するために使用される。遠隔プラズマ128は、プレナム内に流入する処理ガスから構成され、電力供給部142由来の電力との容量性の連結により、プラズマとして維持される。スイッチ144が第2の位置にあるとき、電力供給部142は、第2のプラズマ（図示しない）に点火し、そのプラズマをシャワーヘッド112と基板支持体127上に位置する基板115との間の処理容積120内に維持するために使用される。

#### 【0013】

処理容積120は、処理容積120を低大気圧条件に維持し、そこから処理ガス及び他のガスを排出する真空出口113を通して一又は複数の専用真空ポンプなどの真空源に流体連結される。処理容積120内に位置する基板支持体127は、チャンバ基部104を密封貫通する支軸124上に位置し、支持軸124は例えば、チャンバ基部104の下の領域内においてベローズ（図示しない）により囲まれる。支軸124は、支軸124とその上に位置する基板支持体127とを上下させるようにモータを制御するコントローラ140に連結されて、基板115の処理の間、基板を支持し、処理チャンバ100まで基板115を往復させる。

#### 【0014】

基板115は、一又は複数の側壁102のうちの一つの開口126を通して処理容積120内にローディングされ、開口は、基板115の処理の間ドア又はバルブ（図示しない

10

20

30

40

50

により密封される。ここで基板 115 は、基板支持体を通して可動に位置させた複数のリフトピン（図示しない）を含む一般的なリフトピンシステム（図示しない）を使用して、基板支持体 127 の表面までを往復させられる。典型的には、複数のリフトピンは、リフトピンフープ（図示しない）により下側から接触され、基板支持体 127 の表面の上方に延びるように動き、そこから基板 115 を持ち上げ、ロボットハンドラによるアクセスを可能にする。リフトピンフープ（図示しない）が降下位置にあるとき、複数のリフトピンの頂部は基板支持体 127 の表面と同じ高さ又はそれより下に位置し、基板がその上に載る。基板支持体は、開口 126 の下方の、その上に基板を配置するか又はそこから基板 115 を除去するための降下位置と、基板 115 を処理するための上昇位置との間で可動である。いくつかの実施態様では、基板支持体 127、及びその上に位置する基板 115 は、抵抗加熱要素 129 及び / 又は基板支持体上に位置する一又は複数の冷却チャンネル 137 を使用して所望の処理温度に維持される。典型的には、冷却チャンネル 137 は、比較的高い電気抵抗を有する改訂水源又は冷凍剤源などの冷却剤源 133 に流体連結される。

10

#### 【0015】

いくつかの実施態様では、処理チャンバ 100 はさらに、処理容積 120 にガス状ラジカルを提供する遠隔プラズマ源 107 に連結される。典型的には、遠隔プラズマ源（RPS）は、誘導結合プラズマ（ICP）源、容量結合プラズマ（CCP）源、又はマイクロ波プラズマ源を含む。いくつかの実施態様では、遠隔プラズマ源は、独立型 RPS ユニットである。他の実施態様では、遠隔プラズマ源は、処理チャンバ 100 と流体連結する第 2 の処理チャンバである。他の実施態様では、遠隔プラズマ源は、チャンバリッド 103 とシャワーヘッド 112 との間のプレナム 122 内において点火されて維持される遠隔プラズマ 128 である。いくつかの他の実施態様では、非プラズマベースのラジカル源（例えば、UV 照射を使用して第 1 のガスをそのラジカル種へと光解離する UV 源、又は熱分解を使用して第 1 のガスをそのラジカル種へと解離するためにホットワイヤ CVD（HWCVD）チャンバなどのホットワイヤ源）から、ガス状処理ラジカルが処理チャンバに提供される。

20

#### 【0016】

図 2 は、ガス状ラジカルを使用して窒化ケイ素層を処理する方法のフロー図である。アクティビティ 210 において、方法 200 は基板を基板支持体上に配置することを含み、基板支持体は処理チャンバ（例えば図 1 に記載の処理チャンバ）の処理容積内に置かれる。ここで、基板はその表面上に堆積された窒化ケイ素層を特徴とする。

30

#### 【0017】

いくつかの実施態様では、窒化ケイ素層は、少なくとも部分的に、基板の表面内に形成された複数の開口内に位置する。これら実施態様のいくつかでは、複数の開口は、5 : 1、10 : 1、20 : 1、例えば 25 : 1 を上回るアスペクト比などの、2 : 1 を上回るアスペクト比（深さ対幅比）を有する。いくつかの実施態様では、開口の幅は、約 65 nm 未満、約 45 nm 未満、約 32 nm 未満、約 22 nm 未満、例えば約 16 nm 未満など、約 90 nm 未満であるか、又は約 16 nm と約 90 nm の間など、約 1 nm と約 90 nm の間である。

#### 【0018】

いくつかの実施態様では、窒化ケイ素層、例えばポリシラザン層は、流動性化学気相堆積（FCVD）プロセスを使用して堆積された。いくつかの実施態様では、FCVD プロセスは、窒化ケイ素層のラジカルベース処理のために使用されるものと同じ処理チャンバにおいて実施される。いくつかの実施態様では、FCVD プロセスは、窒化ケイ素層のラジカルベース処理のために使用される処理チャンバとは異なる処理チャンバ内で実施される。

40

#### 【0019】

典型的には、FCVD プロセスは、一種以上のシリコン前駆体を処理容積内へ流すこと、基板を一種以上のシリコン前駆体に曝露すること、一種以上のラジカル共反応物を処理容積内に提供すること、及び基板を一種以上のラジカル共反応物に曝露することを含む。

50

ここでは、基板を一種以上のシリコン前駆体に曝露することと、基板を一種以上のラジカル共反応物に曝露することは、連続的に、同時に、又はそれらの組み合わせで行われる。例えば、いくつかの実施態様では、基板を一種以上のシリコン前駆体に曝露することの少なくとも一部は、基板を一種以上のラジカル共反応物質に曝露することの少なくとも一部と重複する。

**【0020】**

いくつかの実施態様では、処理容積は、基板を一種以上のシリコン前駆体に曝露することと、基板を一種以上のラジカル共反応物質に曝露することとの間にパージされる。処理容積をパージすることは、そこからのシリコン前駆体、ラジカル化共反応物質、及び処理ガス副産物の一部又は全部の除去を促進するために、処理容積内に不活性ガスを流すことを含む。典型的には、処理容積の圧力は、望ましくは、約10mTorrと約10Torrの間、例えば約6Torr未満、例えば約5Torr未満、又は約0.1Torrと約4Torrの間、例えば約0.5Torrと約3Torrの間に維持される。いくつかの実施態様では、基板は、望ましくは、約0 と約400 の間に、又は約150 未満、約100 未満、例えば約75 など約200 未満に、又は約20 と約75 °Cの間など約-10 と約75 の間の温度に維持される。

10

**【0021】**

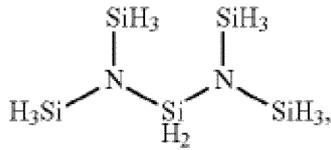
いくつかの実施態様では、一種以上のシリコン前駆体は、シラン( $\text{SiH}_4$ )、ジシラン( $\text{Si}_2\text{H}_6$ )、トリシラン( $\text{Si}_3\text{H}_8$ )、及びテトラシラン( $\text{Si}_4\text{H}_{10}$ )などのシラン化合物、又はこれらの組み合わせを含む。いくつかの他の実施態様では、シリコン前駆体は、N, N'ジシリルトリシラザン(A)などの少なくとも一つのSi-N-Si官能基を有するシラザン化合物、以下のシラザン化合物(A)-(E)などのその他のシラザン化合物、例えば以下の(E)に示すトリシリルアミン(TSA)、又はこれらの組み合わせを含む。いくつかの実施態様では、シリコン前駆体は、一種以上のシラン化合物と一種以上のシラザン化合物との組み合わせを含む。いくつかの実施態様では、シリコン前駆体は、実質的に炭素を含まず、実質的に炭素を含まないとは、シリコン前駆体がその中に炭素部分を含まないことを意味する。

20

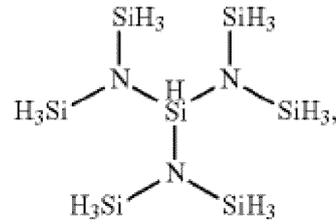
30

40

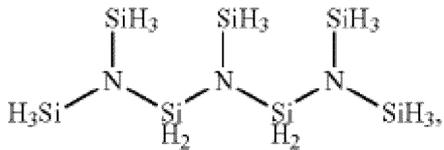
50



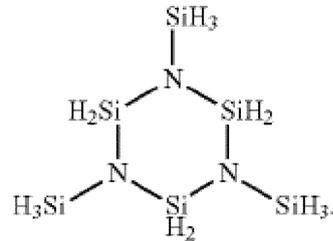
(A)



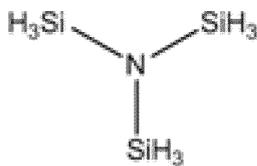
(B)



(C)



(D)



(E)

## 【 0 0 2 2 】

いくつかの実施態様では、一種以上のラジカル共反応物は、第2のガスを含む窒素などの第2のガスのラジカル種、例えばNH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>、又はこれらの組み合わせを含む。例えば、いくつかの実施態様では、第2のガスのラジカル種は、NH<sub>2</sub>、NH、N、及びHラジカル、又はこれらの組み合わせを含む。いくつかの実施態様では、第2のガスは、実質的に酸素を含まない。ここでは、ラジカル共反応物質は、遠隔プラズマ源(RPS)を使用して又は容量結合プラズマ(CCP)によって処理容積に提供される。

## 【 0 0 2 3 】

いくつかの実施態様では、容量結合プラズマは、シャワーヘッドとチャンバリッドとの間の処理容積内において点火されて維持される第2のガス、例えば、図1に記載のプレナム122内において点火されて維持される遠隔プラズマ128で形成される。典型的には、上記FCVDプロセスは、望ましくは、基板の表面内に形成された高アスペクト比の開口のボトムアップ充填を可能にする流動性窒化ケイ素膜を提供する。例えば、FCVDプロセスが、90nm未満の幅と約10:1を上回るアスペクト比とを有する開口を充填するために使用される。いくつかの実施態様では、基板は、約200 未満の温度に維持される。

## 【 0 0 2 4 】

アクティビティ220では、方法200は、ガス状処理ラジカルを処理チャンバの処理容積に提供することを含む。ここでは、ガス状処理ラジカルは、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、He、Ar、又はこれらの組み合わせからなる群より選択される第1のガスのプラズマ活性化ラジカル種を含む。いくつかの実施態様では、第1のガスの分子は、処理容積に流体連結された遠隔プラズマ源(RPS)(例えば、図1に記載の遠隔プラズマ源107)を使用して活性化されて処理ラジカルを形成する。他の実施態様では、第1のガスを、シャワー

10

20

30

40

50

ヘッドとチャンバリッドとの間に位置するプレナム（例えば、図 1 に記載のプレナム 1 2 2）内に流す。これら実施態様のいくつかにおいては、処理ラジカルは、容量性結合エネルギーを通して第 1 のガスの遠隔プラズマ（例えば遠隔プラズマ 1 2 8）に点火してそれを維持することにより形成される。

#### 【 0 0 2 5 】

アクティビティ 2 3 0 では、方法 2 0 0 は、処理された窒化ケイ素層を形成するために、F C V D で堆積された窒化ケイ素層をガス状処理ラジカルに曝露することを含む。いくつかの実施態様では、窒化ケイ素層を F C V D で堆積させることと、F C V D で堆積された窒化ケイ素層をガス状処理ラジカルに曝露することとが、同じ処理チャンバ内で行われる。これら実施態様のいくつかにおいては、処理チャンバの処理容積は、窒化ケイ素層を堆積させた後、窒化ケイ素層をガス状処理ラジカルに曝露する前に、Ar、N<sub>2</sub>、又はこれらの組み合わせといった不活性パージガスを使用してパージされる。処理容積をパージすることにより、未反応シリコン前駆体の一部又は全部、未反応ラジカル化共反応物質、及びその他の処理ガス副産物が処理容積から除去される。他の実施態様では、F C V D で堆積された窒化ケイ素層をガス状処理ラジカルに曝露することは異なる処理チャンバ内で行われ、ここでは、処理チャンバ、例えば第 1 の処理チャンバではない第 2 の処理チャンバが、窒化ケイ素層を堆積させるために使用される。それらその他実施態様のいくつかでは、窒化ケイ素層のラジカルベース処理に使用される第 2 の処理チャンバと窒化ケイ素層を堆積させるための第 1 の処理チャンバとは、移送チャンバにより連結される。典型的には、移送チャンバは、基板が第 1 の処理チャンバと第 2 の処理チャンバとの間で大気条件に曝露されないように、継続的に減圧下に維持される。

10

20

#### 【 0 0 2 6 】

いくつかの実施態様では、第 2 の処理チャンバは紫外照射（UV）チャンバである。それら実施態様では、処理ラジカルを形成するために使用される第 1 のガスを、処理チャンバの処理容積内に流入させ、UV 照射源からの UV 照射に曝露させ、ラジカル前駆体の UV 照射への曝露は、第 1 のガスをその所望の処理ラジカルへと光解離する。典型的には、UV チャンバは約 1 0 m T o r r と約 5 0 0 T o r r の間の圧力に維持され、基板は約 0 と約 4 0 0 ° C の間に維持される。いくつかの実施態様では、第 2 の処理チャンバは、ホットワイヤ C V D（H W C V D）チャンバの加熱フィラメントなどの複数の加熱要素を含む。加熱要素は、第 1 のガスをその所望の処理ラジカルへと熱分解するために十分な温度に維持される。

30

#### 【 0 0 2 7 】

いくつかの実施態様では、方法 2 0 0 は、所望の窒化ケイ素層厚に到達するまで、窒化ケイ素層の少なくとも一部を堆積させ、次いでその少なくとも部分的に堆積された窒化ケイ素層をラジカルベース処理することを連続して繰り返すことを含む。典型的には、上記連続的繰り返しにより、窒化ケイ素層を所望の厚さに堆積させた後にそれをラジカルベース処理することと比較したとき、得られる処理済み窒化ケイ素層の高密度化及びストイキオメトリーがより均一になる。

#### 【 0 0 2 8 】

ここに記載の方法の利点には、窒化物層を高密度プラズマに曝露するなどの一般的な処理方法と比較したとき、処理済み窒化ケイ素の高密度化及びストイキオメトリーの改善が含まれる。いずれか特定の理論に拘束されることを望むものではないが、ここに記載の方法によって提供される N H<sub>x</sub> ラジカルは、堆積されたままの窒化ケイ素層と反応して N をそのポリマーマトリックスに挿入し、それにより膜ストイキオメトリーを改善し、さらに、そこから H を除去することによりポリマー膜をクロスリンクし、その高密度化をもたらすと考えられる。

40

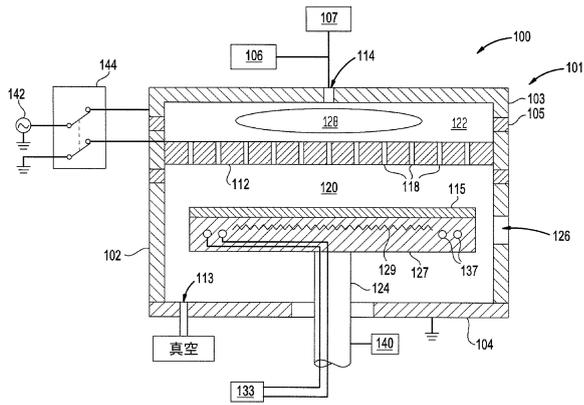
#### 【 0 0 2 9 】

以上の説明は本開示の実施態様を対象としているが、本開示の基本的な範囲から逸脱することなく本開示の他の実施態様及びさらなる実施態様が考案可能であり、本開示の範囲は特許請求の範囲によって決定される。

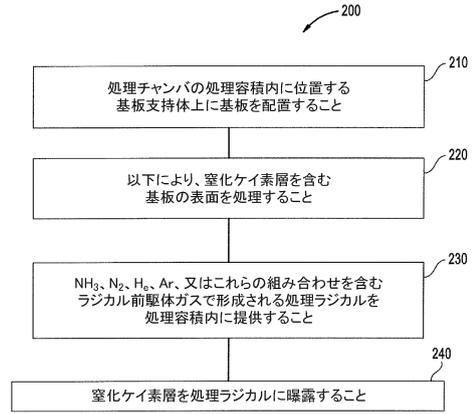
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- 51, サンタ クララ, モンロー ストリート 3539, アpartment 401  
(72)発明者 リャン, チンメイ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95120, サン ノゼ, マウンテン クウェイル サークル  
1256
- (72)発明者 ジャー, プラケット ピー.  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95129, サン ノゼ, ノーウォーク ドライブ 4241,  
アpartment ズィー - 209
- (72)発明者 アショク, テジャスビ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95133, サン ノゼ, ニューベリー パーク ドライブ 1896
- (72)発明者 ゲン, ツァ - ジン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95125, サン ノゼ, サンボネット ループ 933
- 審査官 小 高 孔 頌
- (56)参考文献 特表2016-510507(JP, A)  
国際公開第2017/070192(WO, A1)  
国際公開第2006/088062(WO, A1)  
特表2007-520056(JP, A)  
特表2015-510263(JP, A)  
米国特許出願公開第2014/0213070(US, A1)  
米国特許出願公開第2017/0114465(US, A1)  
米国特許出願公開第2004/0121085(US, A1)  
米国特許出願公開第2012/0077350(US, A1)  
特開2009-135450(JP, A)  
米国特許出願公開第2009/0104790(US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01L 21/318  
H01L 21/31  
C23C 16/56  
C23C 16/42