

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6928810号
(P6928810)

(45) 発行日 令和3年9月1日(2021.9.1)

(24) 登録日 令和3年8月12日(2021.8.12)

(51) Int.Cl.

HO 1 L 21/3065 (2006.01)

F I

HO 1 L 21/302 1 O 5 A

HO 1 L 21/302 1 O 1 B

請求項の数 20 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2019-514202 (P2019-514202)	(73) 特許権者	000219967
(86) (22) 出願日	平成29年5月26日 (2017.5.26)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公表番号	特表2019-517743 (P2019-517743A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公表日	令和1年6月24日 (2019.6.24)	(74) 代理人	100107766
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/034868		弁理士 伊東 忠重
(87) 国際公開番号	W02017/210141	(74) 代理人	100070150
(87) 国際公開日	平成29年12月7日 (2017.12.7)		弁理士 伊東 忠彦
審査請求日	令和2年3月18日 (2020.3.18)	(74) 代理人	100091214
(31) 優先権主張番号	62/342,993		弁理士 大貫 進介
(32) 優先日	平成28年5月29日 (2016.5.29)	(72) 発明者	ランジャン, アロック
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		宮城県富谷市明石台7-3-4

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 側壁イメージ転写の方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板処理方法であって、
シリコン (S i) 隆起フィーチャを含んだ基板を用意することと、
前記 S i 隆起フィーチャ上にコンフォーマル膜を堆積させることと、
前記 S i 隆起フィーチャ上に側壁スペーサを形成するよう、前記コンフォーマル膜の垂直部分を実質的に残しながら前記コンフォーマル膜の水平部分を除去するスペーサエッチングプロセスを実行することであり、
a) H₂ ガス及びオプシヨンの不活性ガスからなるプラズマ励起された第1のプロセスガスに前記基板を曝し、且つ
b) i) N F₃、O₂、H₂、及び A r、i i) N F₃、O₂、及び H₂、i i i) N F₃ 及び O₂、i v) N F₃、O₂、及び A r、v) N F₃ 及び H₂、又は、v i) N F₃、H₂、及び A r、を含有するプラズマ励起された第2のプロセスガスに、前記基板を曝す、
ことを含む、実行することと、
前記側壁スペーサを前記基板上に維持しながら前記 S i 隆起フィーチャを除去することであり、
c) H₂ ガス及びオプシヨンの不活性ガスからなるプラズマ励起された第3のプロセスガスに前記基板を曝し、且つ
d) i) N F₃、O₂、H₂、及び A r、i i) N F₃、O₂、及び H₂、i i i)

NF_3 及び O_2 、 $i v)$ NF_3 、 O_2 、及び Ar 、 $v)$ NF_3 及び H_2 、又は、 $v i)$ NF_3 、 H_2 、及び Ar 、を含有するプラズマ励起された第 4 のプロセスガスに、前記基板を曝す、

ことを含む、除去することと、
を有する方法。

【請求項 2】

前記第 1 及び第 3 のプロセスガスは、 H_2 及び Ar からなる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 2 及び第 4 のプロセスガスは、 NF_3 、 O_2 、 H_2 、及び Ar からなる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記 Si 隆起フィーチャは Si 元素からなる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記 Si 元素は、多結晶 Si (ポリ Si) 又は非晶質 Si ($a\text{-Si}$) を含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記コンフォーマル膜は SiN を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

プラズマ励起された前記第 1、第 2、第 3、及び第 4 のプロセスガスは、上部プレート電極と、前記基板を支持する下部プレート電極とを含む容量結合プラズマ源を用いて形成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

プラズマ励起された前記第 1、第 2、第 3、及び第 4 のプロセスガスは、高いラジカル対イオン束比を作り出す遠隔プラズマ源を用いて形成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

a) 及び b) の工程、並びに c) 及び d) の工程を少なくとも一度繰り返すこと、を更に含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

基板処理方法であって、

Si 隆起フィーチャを含んだ基板を用意することと、

前記 Si 隆起フィーチャ上にコンフォーマル膜を堆積させることと、

前記コンフォーマル膜の垂直部分を実質的に改質されないままにしながら前記コンフォーマル膜の水平部分を改質するプラズマプロセスを実行することであり、

a) H_2 ガス及びオプシンの不活性ガスからなるプラズマ励起された第 1 のプロセスガスに前記基板を曝し、且つ

b) i) NF_3 、 O_2 、 H_2 、及び Ar 、ii) NF_3 、 O_2 、及び H_2 、iii) NF_3 及び O_2 、iv) NF_3 、 O_2 、及び Ar 、v) NF_3 及び H_2 、又は、vi) NF_3 、 H_2 、及び Ar 、を含有するプラズマ励起された第 2 のプロセスガスに、前記基板を曝す、

ことを含む、実行することと、

前記コンフォーマル膜の前記改質された水平部分と前記 Si 隆起フィーチャとを除去することであり、

c) H_2 ガス及びオプシンの不活性ガスからなるプラズマ励起された第 3 のプロセスガスに前記基板を曝し、且つ

d) i) NF_3 、 O_2 、 H_2 、及び Ar 、ii) NF_3 、 O_2 、及び H_2 、iii) NF_3 及び O_2 、iv) NF_3 、 O_2 、及び Ar 、v) NF_3 及び H_2 、又は、vi) NF_3 、 H_2 、及び Ar 、を含有するプラズマ励起された第 4 のプロセスガスに、前記基板を曝す、

ことを含む、除去することと、

を有する方法。

10

20

30

40

50

【請求項 11】

前記第 1 及び第 3 のプロセスガスは、 H_2 及び Ar からなる、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記第 2 及び第 4 のプロセスガスは、 NF_3 、 O_2 、 H_2 、及び Ar からなる、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記 Si 隆起フィーチャは、多結晶 Si (ポリ Si) 又は非晶質 Si (a-Si) を含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

前記コンフォーマル膜は SiN を含む、請求項 10 に記載の方法。

10

【請求項 15】

プラズマ励起された前記第 1、第 2、第 3、及び第 4 のプロセスガスは、上部プレート電極と、前記基板を支持する下部プレート電極とを含む容量結合プラズマ源を用いて形成される、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 16】

プラズマ励起された前記第 1、第 2、第 3、及び第 4 のプロセスガスは、高いラジカル対イオン束比を作り出す遠隔プラズマ源を用いて形成される、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 17】

a) 及び b) の工程、並びに c) 及び d) の工程を少なくとも一度繰り返すこと、を更に含む請求項 10 に記載の方法。

20

【請求項 18】

基板処理方法であって、

Si 隆起フィーチャ上に SiN 側壁スペーサを含んだ基板を用意することと、

前記 SiN 側壁スペーサを前記基板上に維持しながら前記 Si 隆起フィーチャを除去することであり、

H_2 ガス及びオプションの不活性ガスからなる第 1 のプラズマ励起プロセスガスに前記基板を曝し、且つ

i) NF_3 、 O_2 、 H_2 、及び Ar、ii) NF_3 、 O_2 、及び H_2 、iii) NF_3 及び O_2 、iv) NF_3 、 O_2 、及び Ar、v) NF_3 及び H_2 、又は、vi) NF_3 、 H_2 、及び Ar、を含有する第 2 のプラズマ励起プロセスガスに、前記基板を曝す、ことを含む、除去することと、
を有する方法。

30

【請求項 19】

前記第 1 のプロセスガスは、 H_2 及び Ar からなり、前記第 2 のプロセスガスは、 NF_3 、 O_2 、 H_2 、及び Ar からなる、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記曝す工程を少なくとも一度繰り返すこと、を更に含む請求項 19 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

この出願は、2016 年 5 月 29 日に提出された米国仮特許出願第 62/342993 号に関連するとともに、それへの優先権を主張するものであり、その内容全体をここに援用する。

【0002】

本発明は、基板を処理する方法に関し、より具体的には、シリコン隆起フィーチャ上に側壁スペーサを含む側壁イメージ (像) 転写のための方法に関する。

【背景技術】

【0003】

側壁イメージ転写 (sidewall image transfer; SIT) は、サブリソグラフィ線幅

50

を達成するための、窒化シリコンスペーサ及びシリコンマンドレルのエッチングを伴う間接的なパターニング方法である。窒化シリコンスペーサのエッチングのための現行アプローチは、フットイング（加工残り）及びコーナラウンディング（丸まり）という2つの主な難題に直面している。シリコンマンドレルを抜き取るのに使用される現行方法は、エッチング副生成物の再堆積及びエネルギーイオンによる衝撃を伴う。しかしながら、これらのプロセスはコーナ残渣及び下地材料へのかなりのダメージをもたらす。側壁イメージ転写におけるこれらの問題及びその他の問題を解決する新たな方法が望まれる。

【発明の概要】

【0004】

シリコン隆起フィーチャ上に側壁スペーサを含んだ、側壁イメージ転写のための方法が記述される。一実施形態によれば、当該方法は、シリコン（Si）隆起フィーチャを含んだ基板を用意することと、上記Si隆起フィーチャ上にコンフォーマル膜を堆積させることと、上記Si隆起フィーチャ上に側壁スペーサを形成するよう、上記コンフォーマル膜の垂直部分を実質的に残しながら上記コンフォーマル膜の水平部分を除去するスペーサエッチングプロセスを実行することとを含み、該実行することは、a) H_2 ガス及びオブションの不活性ガスからなるプラズマ励起された第1のプロセスガスに上記基板を曝し、且つb) i) NF_3 、 O_2 、 H_2 、及びAr、ii) NF_3 、 O_2 、及び H_2 、iii) NF_3 及び O_2 、iv) NF_3 、 O_2 、及びAr、v) NF_3 及び H_2 、又は、vi) NF_3 、 H_2 、及びAr、を含有するプラズマ励起された第2のプロセスガスに、上記基板を曝す、ことを含む。当該方法は更に、上記側壁スペーサを上記基板上に維持しながら上記Si隆起フィーチャを除去することを含み、該除去することは、c) H_2 ガス及びオブションの不活性ガスからなるプラズマ励起された第3のプロセスガスに上記基板を曝し、且つd) i) NF_3 、 O_2 、 H_2 、及びAr、ii) NF_3 、 O_2 、及び H_2 、iii) NF_3 及び O_2 、iv) NF_3 、 O_2 、及びAr、v) NF_3 及び H_2 、又は、vi) NF_3 、 H_2 、及びAr、を含有するプラズマ励起された第4のプロセスガスに、上記基板を曝す、ことを含む。

【0005】

他の一実施形態によれば、当該方法は、Si隆起フィーチャ上にSiN側壁スペーサを含んだ基板を用意することと、上記SiN側壁スペーサを上記基板上に維持しながら上記Si隆起フィーチャを除去することとを含み、該除去することは、 H_2 ガス及びオブションの不活性ガスからなる第1のプラズマ励起プロセスガスに上記基板を曝し、且つi) NF_3 、 O_2 、 H_2 、及びAr、ii) NF_3 、 O_2 、及び H_2 、iii) NF_3 及び O_2 、iv) NF_3 、 O_2 、及びAr、v) NF_3 及び H_2 、又は、vi) NF_3 、 H_2 、及びAr、を含有する第2のプラズマ励起プロセスガスに、上記基板を曝す、ことを含む。一例において、上記第1のプロセスガスは、 H_2 及びArからなり、上記第2のプロセスガスは、 NF_3 、 O_2 、 H_2 、及びArからなる。

【図面の簡単な説明】

【0006】

本発明及びそれに付随する利益の多くのいっそう完全なる理解は、添付の図面に関連付けて検討して以下の詳細な説明を参照することによって、いっそう十分に理解されることになり、容易に得られるであろう。

【図1】FIG. 1A - FIG. 1Cは、基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。

【図2】FIG. 2A - FIG. 2Cは、本発明の一実施形態に従った基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。

【図3】FIG. 3A - FIG. 3Cは、基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。

【図4】FIG. 4A - FIG. 4Cは、本発明の一実施形態に従った基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。

【図5】FIG. 5A 及び FIG. 5Bは、本発明の一実施形態に従ったスペーサエッチ

ングについての実験結果を示している。

【図6】本発明の一実施形態に従った原子層成長（ALD）システムを概略的に示している。

【図7】本発明の一実施形態に従った容量結合プラズマ（CCP）システムを概略的に示している。

【発明を実施するための形態】

【0007】

本発明の実施形態は、側壁イメージ転写のための方法を提供する。本発明の側壁イメージ転写は、異方性として行うことができるが、窒化シリコンスペーサのエッチングに必要とされるイオン衝撃の悪影響を回避するような、非重合化ケミストリを使用する。一実施形態によれば、窒化シリコンスペーサ及びその下の酸化物（例えば、 SiO_2 ）に対して非常に高い選択性を有するシリコンの等方性エッチングが、マンドレルの抜き取りのために提供される。本発明の実施形態は、単一の処理チャンバ内で実行され得る多段階乾式処理方法を記述する。これは、複数の処理チャンバを必要とする乾式及び湿式の処理方法の組み合わせを使用していて先進的なデバイス製造には適合しないことがあり得る多くの従来方法よりも有利である。

【0008】

ここで使用されるとき、“ SiN ”は、主成分としてシリコン及び窒素を含有する層を含み、それらの層はある範囲の Si 及び N の組成を有することができる。 Si_3N_4 は、窒化シリコンの中で最も熱力学的に安定であり、故に、窒化シリコンの中で商業的に最も重要である。しかしながら、本発明の実施形態は、広範囲の Si 及び N の組成を有する SiN 層に適用され得る。また、“ SiO_2 ”なる表記は、主成分としてシリコン及び酸素を含有する層を含むことを意味し、それらの層はある範囲の Si 及び O の組成を有することができる。 SiO_2 は、酸化シリコンの中で最も熱力学的に安定であり、故に、酸化シリコンの中で商業的に最も重要である。

【0009】

本発明の一実施形態は、a) コーナーラウンディング及びフットイングのない SiN 側壁スペーサ層を形成するように SiN スペーサ層をエッチングすること、及びその後の、b) コーナー残渣及び下地材料へのダメージのない Si マンドレルの抜き取り、のためのプロセスを提供する。プロセスa) 及びb) は、同じ又は類似の処理工程を使用することができ、また、単一の処理チャンバ内で実行され得る。

【0010】

図1（FIG. 1A - FIG. 1C）は、基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。FIG. 1Aは、基板100と、 SiO_2 層101と、 Si 隆起フィーチャ102と、 Si 隆起フィーチャ102の水平部分103上及び垂直部分105上にコンフォーマルに形成された SiN スペーサ層104とを示している。FIG. 1Bは、 SiN 側壁スペーサ106を示しており、これは、フッ化炭素含有プラズマを含み得る異方性エッチングプロセスにて水平部分103上の SiN スペーサ層104を優先的にエッチングすることによって、 Si 隆起フィーチャ102の垂直部分105上に形成され得る。フッ化炭素含有エッチングプロセスは、コーナーラウンディングによる SiN 側壁スペーサ106のテーパ状プロファイル110と、 SiO_2 層101上の SiN スペーサ層104の不完全な除去によるフットイング111とを含む欠点を有する。

【0011】

Si 隆起フィーチャ102は、マンドレルと呼ばれることが多く、それらはハロゲン含有エッチングプロセスを用いて除去され得る（すなわち、マンドレル抜き取りプロセス）。FIG. 1Cは、 Si 隆起フィーチャ102を除去するためのハロゲン含有エッチングプロセスの幾つかの欠点を示しており、それらは、 Si と SiO_2 との間の乏しいエッチング選択性による SiO_2 層101内のリセス115と、（ポリマー）コーナー残渣113の存在と、 SiN 側壁スペーサ106の頂部にテーパ状プロファイルを生み出すスペーサ浸食とを含む。本発明の実施形態は、フッ化炭素含有エッチングプロセス及びハロゲ

ン含有エッチングプロセスのこれらの欠点を解決する。

【0012】

図2 (FIG. 2A - FIG. 2C) は、本発明の一実施形態に従った基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。FIG. 1Aが、FIG. 2Aとして再現されており、基板100と、SiO₂層101と、Si隆起フィーチャ102と、Si隆起フィーチャ102の水平部分103上及び垂直部分105上にコンフォーマルに形成されたSiNスペーサ層104とを示している。Si隆起フィーチャ102は、多結晶Si (ポリSi) 又は非晶質Si (a-Si) を含むことができる。

【0013】

FIG. 2Bは、水平部分103上のSiNスペーサ層104を優先的にエッチングすることによって垂直部分105上にSiN側壁スペーサ107を形成するスペーサエッチング後の構造を示している。本発明の一実施形態によれば、このスペーサエッチングは、二段階エッチングプロセスを含み、この二段階エッチングプロセスは、a) H₂ 及びオプションのArガスを含有する第1のプロセスガスをプラズマ励起し、プラズマ励起された第1のプロセスガスにFIG. 2Aの構造を曝すことと、b) NF₃、O₂、H₂、及びオプションのArを含有する第2のプロセスガスをプラズマ励起し、プラズマ励起された第2のプロセスガスに構造を曝すこととを含む。この二段階プロセスが少なくとも一度繰り返されてもよい。一実施形態によれば、第1のプロセスガスはH₂ からなり得る。一実施形態によれば、第1のプロセスガスはH₂ 及びArからなり得る。他の実施形態によれば、第2のプロセスガスは、i) NF₃、O₂、H₂、及びAr、ii) NF₃、O₂、及びH₂、iii) NF₃ 及びO₂、iv) NF₃、O₂、及びAr、v) NF₃ 及びH₂、又は、vi) NF₃、H₂、及びArからなり得る。得られるFIG. 2Bの構造は、SiN側壁スペーサ107を含み、FIG. 1Bにて上述したコーナラウンディング及びフットイングの欠点を有しない。

【0014】

FIG. 2Cは、Si隆起フィーチャ102を基板から選択的に除去する更なるプラズマエッチング後の構造を示している。本発明の一実施形態によれば、この更なるプラズマエッチングは、二段階エッチングプロセスを含み、この二段階エッチングプロセスは、H₂ 及びオプションのArガスを含有する第3のプロセスガスをプラズマ励起し、プラズマ励起された第3のプロセスガスにFIG. 2Bの構造を曝すことと、その後、NF₃、O₂、H₂、及びオプションのArを含有する第4のプロセスガスをプラズマ励起し、プラズマ励起された第4のプロセスガスに構造を曝すこととを含む。Si隆起フィーチャ102を完全に除去するために、この二段階プロセスが一回以上繰り返され得る。一実施形態によれば、第3のプロセスガスはH₂ からなり得る。一実施形態によれば、第3のプロセスガスはH₂ 及びArからなり得る。他の実施形態によれば、第4のプロセスガスは、i) NF₃、O₂、H₂、及びAr、ii) NF₃、O₂、及びH₂、iii) NF₃ 及びO₂、iv) NF₃、O₂、及びAr、v) NF₃ 及びH₂、又は、vi) NF₃、H₂、及びArからなり得る。得られるFIG. 2Cの構造は、SiO₂層101上にSiN側壁スペーサ107を含み、FIG. 1Cにて上述した欠点を有しない。Si隆起フィーチャ102を除去する工程は概して、SiN側壁スペーサ107を形成するスペーサエッチング工程より速いエッチングレートをもつ。また、Si隆起フィーチャ102を除去する工程は、SiN側壁スペーサ107に対して選択的であるように最適化され得る。これは、SiN側壁スペーサ107の浸食を抑制する。更なる処理が、SiN側壁スペーサ107によって形成されたパターンをSiO₂層101内に転写することを含むことができる。

【0015】

本発明の実施形態によれば、第1の工程における処理条件は、20 - 100 mTorrのチャンバ圧力、13.56 MHzで75 - 200 Wの下部電極電力、90 - 400 mTorrのチャンバ圧力、60 MHzで200 - 1000 Wの上部電極電力を含み得る。一部の例において、この二段階プロセスが2回から10回繰り返され得る。

【0016】

図3 (FIG. 3A - FIG. 3C) は、基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。FIG. 1Aが、FIG. 3Aとして再現されており、基板100と、SiO₂層101と、Si隆起フィーチャ102と、Si隆起フィーチャ102の水平部分103上及び垂直部分105上にコンフォーマルに形成されたSiNスペーサ層104とを示している。FIG. 3Bは、水平部分103上及びSiO₂層101上のSiNスペーサ層104を改質する異方性プラズマ曝露後の構造を示している。このプラズマ曝露は、H₂含有プロセスガスを使用し得る。水平部分103上及びSiO₂層101上の改質されたSiNスペーサ層109、及びSi隆起フィーチャ102が、その後、ウェットエッチングプロセスを用いて除去され得る。FIG. 3Cは、そのウェットエッチングプロセス後の構造を示している。しかしながら、このウェットエッチングプロセスは、多くの半導体製造プロセスと適合しない。また、乾式及び湿式の処理方法は複数の処理チャンバを必要とし、先進的なデバイス製造と適合しないことがある。本発明の実施形態はこの問題を解決する。

10

【0017】

図4 (FIG. 4A - FIG. 4C) は、本発明の一実施形態に従った基板を処理する方法を断面図により概略的に示している。FIG. 3Aが、FIG. 4Aとして再現されており、基板100と、SiO₂層101と、Si隆起フィーチャ102と、Si隆起フィーチャ102の水平部分103上及び垂直部分105上にコンフォーマルに形成されたSiNスペーサ層104とを示している。

20

【0018】

FIG. 4Bは、水平部分103上及び二酸化シリコン層101上のSiNスペーサ層104を改質するプラズマ曝露後の構造を示している。このプラズマ曝露は、H₂を含有する第1のプロセスガスを使用し得る。一実施形態によれば、このプロセスガスはH₂からなり得る。一実施形態によれば、第1のプロセスガスはH₂及びArからなり得る。

【0019】

水平部分103上及びSiO₂層101上の改質されたSiNスペーサ層109、及びSi隆起フィーチャ102が、その後、ドライエッチングプロセスを用いて除去され得る。FIG. 4Cは、更なるプラズマエッチング後の構造を示している。本発明の一実施形態によれば、この更なるプラズマエッチングは、二段階エッチングプロセスを含み、この二段階エッチングプロセスは、H₂及びオブションのArガスを含有する第2のプロセスガスをプラズマ励起し、プラズマ励起された第2のプロセスガスにFIG. 4Bの構造を曝すことと、その後、NF₃、O₂、H₂、及びオブションのArを含有する第3のプロセスガスをプラズマ励起し、プラズマ励起された第3のプロセスガスに構造を曝すこととを含む。この二段階プロセスが一回以上繰り返され得る。一実施形態によれば、第2のプロセスガスはH₂からなり得る。一実施形態によれば、第2のプロセスガスはH₂及びArからなり得る。他の実施形態によれば、第3のプロセスガスは、i) NF₃、O₂、H₂、及びAr、ii) NF₃、O₂、及びH₂、iii) NF₃及びO₂、iv) NF₃、O₂、及びAr、v) NF₃及びH₂、又は、vi) NF₃、H₂、及びArからなり得る。得られるFIG. 4Cの構造は、SiN側壁スペーサ106を含み、それは、FIG. 3Cにて上述した問題を有しない。

30

40

【0020】

図5 (FIG. 5A及びFIG. 5B) は、本発明の一実施形態に従ったスペーサエッチングについての実験結果を示している。FIG. 5Aの断面走査電子顕微鏡 (SEM) グラフは、SiO₂層の上に位置するSi隆起フィーチャ上にコンフォーマルSiNスペーサ層を含んだ、受け取ったままのサンプルを示している。容量結合プラズマ (CCP) システムにて、二段階プロセスを含んだスペーサエッチングを実行し、その二段階プロセスを一度繰り返した。第1の工程における処理は、H₂及びArからなるプロセスガスの使用を含むものとし、第2の工程における処理は、NF₃及びO₂を含有するプロセスガスを含むものとした。部分的に形成されたSiN側壁スペーサが、FIG. 5Bに示されて

50

いる。

【 0 0 2 1 】

次に、図 6 及び図 2 の F I G . 2 A を参照するに、S i N スペーサ層 1 0 4 をコンフォーマルに堆積させる技術は、モノレイヤ堆積（“ M L D ”）法を含み得る。M L D 法は、例えば、化学吸着による反応性前駆体分子の飽和モノレイヤの形成の原理に基づくものである A L D 法を含み得る。A B 膜を形成するための典型的な M L D プロセスは、例えば、第 1 の前駆体又は反応物質 A（“ R A ”）を、A の飽和モノレイヤが基板上に形成される時間にわたって注入することからなる。次いで、不活性ガス G i を用いて、チャンバから R A がパージされる。次いで、第 2 の前駆体又は反応物質 B（“ R B ”）が、B を A と結合させて層 A B を基板上に形成するために、やはりある時間にわたって注入される。次いで、チャンバから R B がパージされる。所望厚さの A B 膜を達成するために、前駆体又は反応物質を導入し、反応炉をパージし、別の又は同じ前駆体又は反応物質を導入し、そして反応炉反応器をパージするこのプロセスが、ある回数だけ繰り返され得る。各 A L D サイクルで堆積される A B 膜の厚さは、約 0 . 5 オングストロームから約 2 . 5 オングストロームの範囲であり得る。

10

【 0 0 2 2 】

一部の実施形態において、A B 膜を形成するときの M L D プロセスは、A B C を含む前駆体を注入することであり、それが第 1 の工程中に基板上に吸着されることと、次いで、第 2 の工程中に C を除去することとを含んでいてもよい。

20

【 0 0 2 3 】

本発明の一実施形態によれば、S i N スペーサ層 1 0 4 は、A L D システムでの A L D 堆積プロセスによって堆積されることができ、A L D システムの一例を図 6 に A L D システム 4 4 として示す。A L D システム 4 4 は、その上で基板 1 4 を支持するように構成された基板ホルダ 4 8 を有する処理チャンバ 4 6 を含んでいる。処理チャンバ 4 6 は更に、（シリコン含有ガスを含み得る）第 1 の材料供給システム 5 2 と、（窒素含有ガスを含み得る）第 2 の材料供給システム 5 4 と、パージガス供給システム 5 6 と、（希釈ガス、又は所望のスペーサ層材料を堆積させるための必要に応じてその他のものを含み得る）1 つ以上の補助ガス供給システム 5 8 と、に結合された上部アセンブリ 5 0（例えばシャワーヘッド）、及び基板温度制御システム 6 0 を含んでいる。

30

【 0 0 2 4 】

それに代えて、あるいは加えて、コントローラ 6 2 が、1 つ以上の更なるコントローラ / コンピュータ（図示せず）に結合されることができ、コントローラ 6 2 は、それら更なるコントローラ / コンピュータからセットアップ及び / 又は設定の情報を取得することができる。コントローラ 6 2 は、数ある処理要素 5 2、5 4、5 6、5 8、6 0 を設定するために使用されることができ、また、これらからのデータを収集、提供、処理、格納、及び / 又は表示し得る。コントローラ 6 2 は、処理要素 5 2、5 4、5 6、5 8、6 0 のうちの 1 つ以上を制御するための多数のアプリケーションを有することができ、所望に応じて、処理要素 5 2、5 4、5 6、5 8、6 0 のうちの 1 つ以上をユーザが監視及び / 又は制御するための使いやすいインタフェースを提供し得るグラフィックユーザインタフェース（“ G U I ”、図示せず）を含むことができる。

40

【 0 0 2 5 】

処理チャンバ 4 6 は更に、ダクト 7 0 を介して、真空ポンプシステム 6 6 及びバルブ 6 8 を含んだ圧力制御システム 6 4 に結合されており、圧力制御システム 6 4 は、S i N スペーサ層 1 0 4 を形成することに適した圧力、並びに第 1 及び第 2 のプロセス材料の使用に適した圧力まで、処理チャンバ 4 6 を制御可能に排気するように構成されている。真空ポンプシステム 6 6 は、毎秒約 5 0 0 0 リットル（以上）に至るポンプ速度が可能なターボ分子真空ポンプ（“ T M P ”）を含むことができ、バルブ 6 8 は、チャンバ圧力を絞るための仕切り弁を含み得る。また、チャンバプロセスを監視する装置（図示せず）が処理チャンバ 4 6 に結合され得る。圧力制御システム 6 4 は、例えば、A L D プロセス中に処理チャンバ圧力を約 0 . 1 T o r r と約 1 0 0 T o r r との間に制御するように構成され

50

得る。

【 0 0 2 6 】

第 1 の材料供給システム 5 2、第 2 の材料供給システム 5 4、パージガス供給システム 5 6、及び上記 1 つ以上の補助ガス供給システム 5 8 の各々は、1 つ以上の圧力制御装置、1 つ以上の流量制御装置、1 つ以上のフィルタ、1 つ以上のバルブ、及び / 又は 1 つ以上の流量センサを含み得る。流量制御装置は、空気駆動バルブ、電気機械（ソレノイド）バルブ、及び / 又は高速パルス式ガス注入バルブを含み得る。本発明の実施形態によれば、ガスは、処理チャンバ 4 6 内に順次交互にパルス駆動されることができ、各ガスパルスの長さは、例えば、約 0 . 1 秒と約 1 0 0 秒との間とし得る。それに代えて、各ガスパルスの長さは、約 1 秒と約 1 0 秒との間としてもよい。シリコン含有ガス及び窒素含有ガスの例示的なガスパルス長は、約 0 . 3 秒と約 3 秒との間、例えば約 1 秒とし得る。例示的なパージガスパルスは、約 1 秒と約 2 0 秒との間、例えば約 3 秒とし得る。なおも図 6 を参照するに、コントローラ 6 2 は、マイクロプロセッサと、メモリと、A L D システム 4 4 からの出力を監視するとともに A L D システム 4 4 への入力を伝達し且つアクティブにするのに十分な制御電圧を生成可能なデジタル I / O ポートとを含む。また、コントローラ 6 2 は、処理チャンバ 4 6、基板ホルダ 4 8、上部アセンブリ 5 0、処理要素 5 2、5 4、5 6、5 8、基板温度制御システム 6 0、及び圧力制御システム 6 4 に結合され、それらと情報を交換し得る。例えば、堆積プロセスを実行するため、プロセスレシピに従って A L D システム 4 4 の上述のコンポーネントへの入力をアクティブにするように、コントローラ 6 2 のメモリに格納されたプログラムが使用され得る。

【 0 0 2 7 】

コントローラ 6 2 は、メモリに格納された 1 つ以上の命令の 1 つ以上のシーケンスをプロセッサが実行することに応答して、本発明のマイクロプロセッサベースの処理ステップ群の一部又は全てを実行する汎用コンピュータシステムとして実装され得る。このような命令は、例えばハードディスク又はリムーバブルメディアドライブなどの別のコンピュータ読み取り可能媒体からコントローラメモリに読み込まれてもよい。また、マルチプロセッシング構成の 1 つ以上のプロセッサが、メインメモリに格納された命令のシーケンスを実行するコントローラマイクロプロセッサとして用いられてもよい。他の実施形態においては、ソフトウェア命令に代えて、あるいは組み合わせて、配線接続された回路が用いられてもよい。故に、実施形態は、ハードウェア回路とソフトウェア回路との如何なる特定の組み合わせにも限定されない。

【 0 0 2 8 】

コントローラ 6 2 は、本発明の教示に従ってプログラムされた命令を保持し、且つ本発明を実施するために必要となり得るデータ構造、テーブル、記録、又はその他のデータを格納するために、例えばコントローラメモリなどの少なくとも 1 つのコンピュータ読み取り可能媒体又はメモリを含む。コンピュータ読み取り可能媒体の例は、ハードディスク、フロッピーディスク（登録商標）、テープ、磁気光ディスク、PROM（EPROM、EEPROM、フラッシュ EPROM）、DRAM、SRAM、SDRAM、その他の何らかの磁気媒体、コンパクトディスク（例えば、CD-ROM）、その他の何らかの光学媒体、パンチカード、紙テープ、穴パターンを有するその他の物理媒体、搬送波（後述）、又はコンピュータが読み取り可能なその他の何らかの媒体である。

【 0 0 2 9 】

コントローラ 6 2 を制御し、本発明を実施するように 1 つ以上の装置を駆動し、且つ / 或いはコントローラ 6 2 が人間のユーザと相互作用することを可能にするためのソフトウェアが、コンピュータ読み取り可能媒体の何れか 1 つ又は組み合わせて格納される。このようなソフトウェアは、以下に限られないが、デバイスドライバ、オペレーティングシステム、開発ツール、及びアプリケーションソフトウェアを含み得る。このようなコンピュータ読み取り可能媒体は更に、本発明を実施する際に実行される処理の全て又は一部（処理が分散される場合）を実行するための本発明に係るコンピュータプログラムプロダクトを含む。

【0030】

コンピュータコードデバイスは、以下に限られないが、スクリプト、インタープリタ型プログラム、動的リンクライブラリ（“DLL”）、Java（登録商標）クラス、及び完全実行型プログラム、を含む如何なるインタープリタコード機構又は実行コード機構であってもよい。また、本発明の処理の一部は、より良好な性能、信頼性、及び／又はコストのために分散されてもよい。

【0031】

用語“コンピュータ読み取り可能媒体”は、ここで使用されるとき、実行のためにコントローラ62のプロセッサに命令を提供することに関与する如何なる媒体をも指す。故に、コンピュータ読み取り可能媒体は、以下に限られないが、不揮発性媒体、揮発性媒体、及び伝送媒体を含む数多くの形態をとり得る。不揮発性媒体は例えば、ハードディスク又はリムーバブルメディアドライブなどの、光ディスク、磁気ディスク、及び磁気光ディスクを含む。揮発性媒体は、例えばメインメモリなどのダイナミックメモリを含む。また、コンピュータ読み取り可能媒体の様々な形態は、実行のためにコントローラ62のプロセッサに1つ以上の命令の1つ以上のシーケンスを搬出することに関与し得る。例えば、命令は当初、遠隔コンピュータの磁気ディスク上に担持されていてもよい。遠隔コンピュータは、本発明の全て又は一部を実施するための命令をダイナミックメモリにロードし、その命令をコントローラ62にネットワーク上で送ることができる。

【0032】

コントローラ62は、ALDシステム44に対してローカルに配置されていてもよいし、ALDシステム44に対して遠隔に配置されていてもよい。例えば、コントローラ62は、直接接続、イントラネット、インターネット、及び無線接続のうちの少なくとも1つを用いて、ALDシステム44とデータを交換し得る。コントローラ62は、例えば、顧客側（すなわち、デバイスメーカーなど）のイントラネットに結合されていてもよいし、製造供給元（すなわち、装置製造者）のイントラネットに結合されていてもよい。また、例えば、コントローラ62はインターネットに結合されていてもよい。さらに、他のコンピュータ（すなわち、コントローラ、サーバなど）が、例えば、直接接続、イントラネット及びインターネットのうちの少なくとも1つを介して、データを交換するためにコントローラ62にアクセスしてもよい。これまた当業者に理解されるように、コントローラ62は無線接続を介してALDシステム44とデータを交換してもよい。

【0033】

SiNスペーサ層104の堆積は、SiNスペーサ層104材料の複数の異なる成分（ここでは、例えば、シリコン及び窒素）を堆積させる順次及び交互のパルスシーケンスによって進められ得る。ALDプロセスは典型的にガスパルス当たりモノレイヤ未満の成分を堆積させるので、膜の異なる成分の別々の堆積シーケンスを使用して均質な材料を形成することが可能である。各ガスパルスは、未反応ガス又は副生成物を処理チャンバ46から除去するためのそれぞれのパージ又は排気ステップを含み得る。本発明の他の実施形態によれば、それらパージ又は排気ステップのうちの1つ以上が省略されてもよい。

【0034】

従って、そして例示的な一実施形態として、Si隆起フィーチャ102を備えた基板14が、ALDシステム44の処理チャンバ46内に配置され、そして、シリコンを含有するガスパルスと窒素含有ガスのガスパルスとに順次に曝される。これらのうち後者は、NH₃、プラズマ励起窒素（例えばPEALDシステムで使用されるためなど）、又はこれらの組み合わせを含むことができるとともに、オプションで例えばアルゴン（Ar）などの不活性ガスを含むことができる。

【0035】

シリコンが、Si隆起フィーチャ102の表面上で反応して、モノレイヤ厚未満の化学吸着層を形成し得る。そして、窒素含有ガスのガスパルスからの窒素が、化学吸着された表面層と反応し得る。この順次のガス曝露を繰り返すことにより、すなわち、これら2つの曝露を複数回交互に行うことにより、所望厚さが達成されるまで、サイクル当たり約1

10

20

30

40

50

オングストローム (10^{-10} メートル) のレイヤ・バイ・レイヤ成長を達成することが可能である。

【0036】

本発明の実施形態によれば、プロセスガスは、多様な異なるプラズマ源を用いてプラズマ励起され得る。一実施形態によれば、プラズマ源は、上部プレート電極と、基板を支持する下部プレート電極とを含むCCP源を含むことができる。RF発生器及びインピーダンス網を用いて、上部プレート電極、下部プレート電極、又は上部プレートと下部プレート電極との双方に、無線周波数(RF)電力が供給され得る。上部電極へのRF電力の印加に関する典型的な周波数は、10MHzから200MHzの範囲であり、60MHzとし得る。加えて、下部電極へのRF電力の印加に関する典型的な周波数は、0.1MHzから100MHzの範囲であり、13.56MHzとし得る。一実施形態によれば、プラズマ励起されたプロセスガスを形成することは、高いラジカル対イオン束比(イオン束に対するラジカル束の比)を生み出す遠隔プラズマ源を使用してプラズマを生成することを含む。遠隔プラズマ源は、プラズマ処理チャンバの外側に配置されることができ、基板を処理するために、プラズマ励起されたガスがプラズマ処理チャンバに流し込まれ得る。

【0037】

図7に示す例示的なプラズマ処理システム500は、チャンバ510と、処理される基板525が上に添えられる基板ホルダ520と、ガス注入システム540と、真空ポンプシステム550とを含んでいる。チャンバ510は、基板525の表面に隣接する処理領域545におけるプラズマの生成を容易にするように構成され、加熱された電子と電離可能ガスとの間の衝突を介してプラズマが形成される。ガス注入システム540を介して、電離可能なガス又は複数のガスの混合物が導入され、プロセス圧力が調節される。例えば、真空ポンプシステム550をスロットル調整するために仕切り弁(図示せず)が使用される。

【0038】

基板525は、ロボット式基板搬送システムにより、スロットバルブ(図示せず)及びチャンバフィードスルー(図示せず)を介してチャンバ510の中に及び外に搬送され、基板ホルダ520内に収容された基板リフトピン(図示せず)によって受け取られ、且つその中に収容された装置によって機械的に平行移動される。基板525が基板搬送システムから受け取られると、基板525は、基板ホルダ520の上面まで下げられる。

【0039】

それに代わる一実施形態において、基板525は、静電クランプ(図示せず)によって基板ホルダ520に貼り付けられる。また、基板ホルダ520は更に、再循環冷却剤流を含む冷却システムを含み、この冷却剤流が、基板ホルダ520から熱を受け取って熱交換器システム(図示せず)まで熱を伝達し、あるいは加熱時に熱交換器システムから熱を伝達する。さらに、基板525と基板ホルダ520との間のガスギャップの熱伝導率を改善するために、基板の裏面側にガスが供給されてもよい。このようなシステムは、上昇又は低下された温度での基板の温度制御が要求されるときに利用される。例えば、基板の温度制御は、プラズマから基板525に送達される熱流束と、基板ホルダ520への伝導によって基板525から除去される熱流束とのバランスによって達成される定常温度を超えた温度で有用であり得る。他の実施形態では、例えば抵抗加熱素子などの加熱素子、又は熱電加熱器/冷却器が含まれる。

【0040】

第1の実施形態において、基板ホルダ520は更に、それを介して処理領域545内のプラズマに無線周波数(RF)電力が結合される電極としての役割を果たす。例えば、基板ホルダ520は、RF発生器530から当該基板ホルダ520へのインピーダンス整合回路網532を介したRF電力の伝送によって、あるRF電圧に電氣的にバイアスされる。このRFバイアスは電子を加熱し、それによってプラズマを形成して維持するように作用する。この構成において、システムは反応性イオンエッチング(RIE)炉として動作し、チャンバ及び上部ガス供給電極は接地面として作用する。このRFバイアスの典型的

な周波数は、 0.1 MHz から 100 MHz の範囲であり、 13.56 MHz とし得る。それに代わる一実施形態では、複数の周波数で RF 電力が基板ホルダ電極に印加される。また、インピーダンス整合回路網 532 は、反射される電力を最小化することによって、処理チャンバ 510 内のプラズマへの RF 電力の移送を最大化するように作用する。整合回路網トポロジー（例えば、L 型、型、T 型など）及び自動制御方法は技術的に知られている。

【0041】

引き続き図 7 を参照するに、ガス注入システム 540 を介して処理領域 545 にプロセスガス 542（例えば、 H_2 及びオプションの Ar を含有する、又は $\text{NF}_3 / \text{O}_2 / \text{H}_2$ 及びオプションの Ar を含有する）が導入される。ガス注入システム 540 はシャワーヘッドを含むことができ、プロセスガス 542 は、ガス搬送系（図示せず）から処理領域 545 に、ガス注入プレナム（図示せず）、一連のバッフル板（図示せず）及びマルチ開口シャワーヘッド型ガス注入板（図示せず）を介して供給される。

10

【0042】

真空ポンプシステム 550 は好ましくは、毎秒 5000 リットル（以上）に至るポンピング速度が可能なターボ分子真空ポンプ（TMP）と、チャンバ圧力を絞るための仕切り弁とを含む。ドライプラズマエッチングに利用される従来のプラズマ処理装置においては、毎秒 1000 から 3000 リットルの TMP が使用される。TMP は、典型的には 50 mTorr 未満の、低圧処理に有用である。より高い圧力では、TMP ポンピング速度が急激に低下する。高圧処理（すなわち、100 mTorr より高い）の場合には、機械的な増圧ポンプ及びドライ式の粗引きポンプが使用される。

20

【0043】

コンピュータ 555 が、マイクロプロセッサと、メモリと、プラズマ処理システム 500 からの出力を監視するとともにプラズマ処理システム 500 への入力を伝達し且つアクティブにするに十分な制御電圧を生成可能なデジタル入／出力ポートとを含む。さらに、コンピュータ 555 は、RF 発生器 530、インピーダンス整合回路網 532、ガス注入システム 540、及び真空ポンプシステム 550 に結合されて、それらと情報を交換する。メモリ内に格納されたプログラムが、格納されたプロセスレシピに従ってプラズマ処理システム 500 の上述のコンポーネントへの入力をアクティブにするために使用される。

【0044】

30

プラズマ処理システム 500 は更に、RF 発生器 572 からインピーダンス整合回路網 574 を介して RF 電力が結合される上部プレート電極 570 を含んでいる。この上部電極への RF 電力の印加の典型的な周波数は、 10 MHz から 200 MHz の範囲であり、好ましくは 60 MHz である。加えて、下部電極への電力の印加の典型的な周波数は、 0.1 MHz から 30 MHz の範囲である。また、上部プレート電極 570 への RF 電力の印加を制御するため、コンピュータ 555 は RF 発生器 572 及びインピーダンス整合回路網 574 に結合される。

【0045】

側壁イメージ転写のための方法を、様々な実施形態にて開示した。以上の本発明の実施形態の説明は、例示及び説明の目的で提示されている。網羅的であること、又は開示されたそのものの形態に本発明を限定することは意図されていない。この説明及び以下の請求項は、単に説明目的で使用される用語を含んでおり、限定するものとして解釈されるべきではない。当業者は、以上の教示に照らして数多くの変更及び変形が可能であることを理解することができる。当業者は、図面に示された様々な構成要素についての様々な等価な組み合わせ及び代用を認識することになる。故に、本発明の範囲は、この詳細な説明によってではなく、ここに添付される請求項によって限定されることが意図される。

40

【図 1】

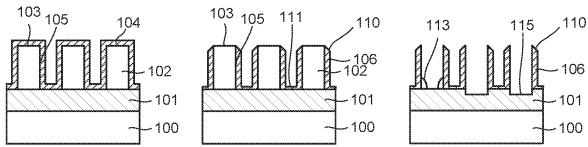


FIG. 1A

FIG. 1B

FIG. 1C

(従来技術)

【図 2 B】

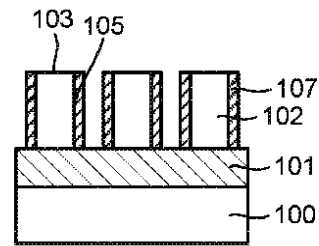


FIG. 2B

【図 2 A】

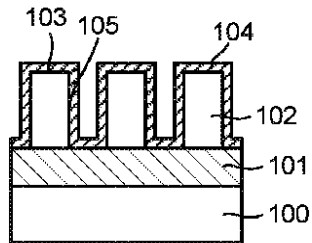


FIG. 2A

【図 2 C】

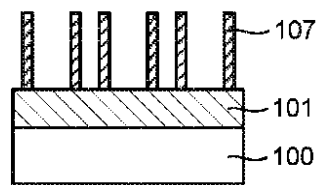


FIG. 2C

【図 3】

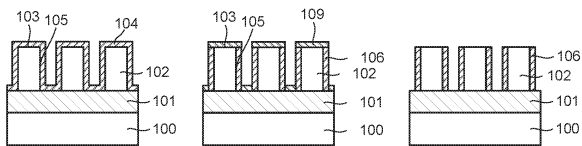


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

(従来技術)

【図 4 B】

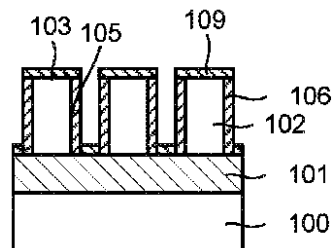


FIG. 4B

【図 4 A】

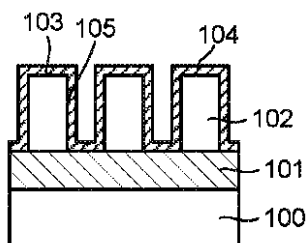


FIG. 4A

【図 4 C】

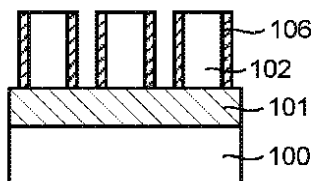


FIG. 4C

【図 5 A】

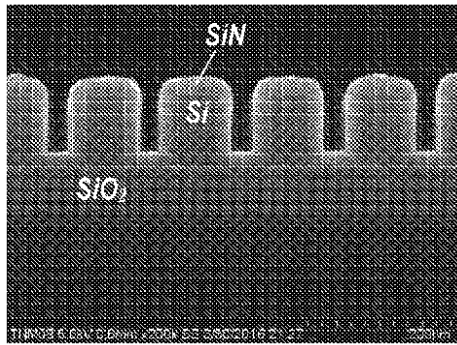


FIG. 5A

【図 5 B】

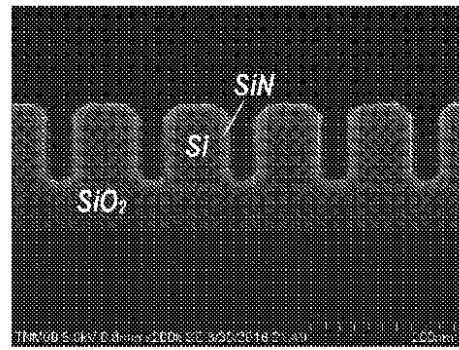


FIG. 5B

【図 6】

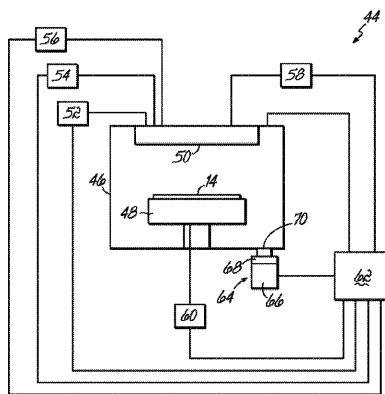


FIG. 6

【図 7】

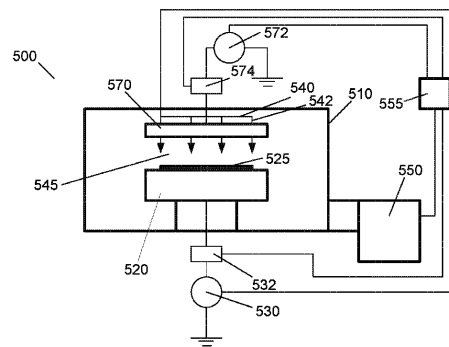


FIG. 7

フロントページの続き

(72)発明者 シェルバ, ソナム ディー .
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 2 2 0 3 オールバニー ジョンストン ロード 6 2 1 1
マンチェスター ハウス アpartment 1 1

審査官 田中 崇大

(56)参考文献 特開2016-027594(JP, A)
特表2016-503243(JP, A)
特開2013-110414(JP, A)
特開平05-109760(JP, A)
特開平06-338478(JP, A)
特開2000-236021(JP, A)
米国特許出願公開第2015/0371865(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065