

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7330793号

(P7330793)

(45)発行日 令和5年8月22日(2023.8.22)

(24)登録日 令和5年8月14日(2023.8.14)

(51)国際特許分類

F I

C 2 3 C 16/34 (2006.01)

C 2 3 C 16/34

H 0 1 L 21/205 (2006.01)

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/28 (2006.01)

H 0 1 L 21/28 3 0 1 R

H 0 1 L 29/423 (2006.01)

H 0 1 L 29/58 G

H 0 1 L 29/49 (2006.01)

H 0 1 L 21/285 C

請求項の数 18 外国語出願 (全17頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2019-136871(P2019-136871)

(22)出願日 令和1年7月25日(2019.7.25)

(65)公開番号 特開2020-15980(P2020-15980A)

(43)公開日 令和2年1月30日(2020.1.30)

審査請求日 令和4年6月28日(2022.6.28)

(31)優先権主張番号 62/703701

(32)優先日 平成30年7月26日(2018.7.26)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(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 100107766

弁理士 伊東 忠重

(74)代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

(74)代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72)発明者 カンダバラ タビリー

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 , フラー ロード 2

5 5 , スイート 2 1 4 , ナノファブ 3

0 0 サウス

審査官 安齋 美佐子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 (2 0 0) 結晶学的集合組織を有する窒化チタン膜を形成するための方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に第1窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、

前記第1窒化チタン膜をプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップであって、前記第1窒化チタン膜は多結晶であり、前記処理は前記第1窒化チタン膜の(200)結晶学的集合組織を増加させる、ステップと、

前記の処理された第1窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤ上に第2窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、

前記第2窒化チタン膜の前記少なくとも1つのモノレイヤをプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップと、

前記処理された第1窒化チタン膜及び前記処理された第2窒化チタン膜を含む窒化チタン材料を薄くするために原子層エッチングを実行するステップであって、

薄くされた窒化チタン材料は(200)結晶学的集合組織を優性的に有する、ステップをさらに含む、

を含む基板処理方法。

【請求項 2】

窒化チタン材料は、前記処理された第1窒化チタン膜及び前記の処理された第2窒化チタン膜を含み、(200)結晶学的集合組織を優性的に有する、

請求項1記載の方法。

10

20

【請求項 3】

前記第 2 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積によって堆積するステップと、前記第 2 窒化チタン膜の前記少なくとも 1 つのモノレイヤをプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップと、を少なくとも 1 回繰り返すステップをさらに含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

窒化チタン材料は、第 1 窒化チタン膜及び第 2 窒化チタン膜を含み、(200)結晶学的集合組織を優性的に有する、請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップは、第 1 の原子層堆積の複数のサイクルを実行するステップを含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の原子層堆積の複数のサイクルは、 $TiCl_4$ ガスと NH_3 ガスとの交互曝露を含む、請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記第 2 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップは、第 2 の原子層堆積の複数のサイクルを実行するステップを含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 8】

前記第 2 の原子層堆積の複数のサイクルは、 $TiCl_4$ ガスと NH_3 ガスとの交互曝露を含む、請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】

前記プラズマ励起水素含有ガスは、マイクロ波プラズマ源、誘導結合プラズマ(ICP)源、又は、容量結合プラズマ(CCP)源を用いて形成される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】

前記処理するステップは、前記第 1 窒化チタン膜及び前記第 2 窒化チタン膜を含む窒化チタン材料の閾値電圧を正にシフトさせ、前記閾値電圧は、前記第 1 窒化チタン膜及び前記第 2 窒化チタン膜がトランジスタのゲート電極として使用される際の前記トランジスタの閾値電圧である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 11】

前記水素含有ガスは、 H_2 、 NH_3 、 N_2H_4 、Hラジカル、及びそれらの組み合わせから成る群から選択される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 12】

基板上に第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、

前記第 1 窒化チタン膜を、プラズマ励起水素含有ガスで処理するステップであって、前記第 1 窒化チタン膜は多結晶であり、前記処理は前記第 1 窒化チタン膜の(200)結晶学的集合組織を増加させる、ステップと、

前記の処理された第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤ上に第 2 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、

前記第 2 窒化チタン膜の前記少なくとも 1 つのモノレイヤを、前記プラズマ励起水素含有ガスで処理するステップと、

前記処理された第 1 窒化チタン膜及び前記処理された第 2 窒化チタン膜を含む窒化チタ

10

20

30

40

50

ン材料を薄くするためにエッチングを実行するステップであって、

薄くされた窒化チタン材料は、(200)結晶学的集合組織を優性的に有する、ステップと、
を含む基板処理方法。

【請求項13】

前記エッチングするステップは、 CHF_3 とArとのガス混合物又は、 Cl_2 とArとのガス混合物を用いて実行される、

請求項12記載の方法。

【請求項14】

前記プラズマ励起水素含有ガスは、 H_2 、 NH_3 、 N_2H_4 、Hラジカル、及びそれらの組み合わせから成る群から選択される、

請求項12記載の方法。

【請求項15】

基板上に第1窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤを原子層堆積により堆積するステップと、

前記第1窒化チタン膜を、マイクロ波プラズマ源を用いて形成されるプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップであって、前記第1窒化チタン膜は多結晶であり、前記処理は前記第1窒化チタン膜の(200)結晶学的集合組織を増加させる、ステップと、

前記の処理された第1窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤ上に第2窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤを原子層堆積により堆積するステップと、

前記第2窒化チタン膜の前記少なくとも1つのモノレイヤを、前記マイクロ波プラズマ源を用いて形成された前記プラズマ励起水素含有ガスで処理するステップであって、前記処理された第1窒化チタン膜の(200)結晶学的集合組織は、(200)結晶学的集合組織を優性的に有する第2窒化チタン膜の形成を支援し、前記処理された第1窒化チタン膜及び前記処理された第2窒化チタン膜を含む窒化チタン材料は(200)結晶学的集合組織を優性的に有する、ステップと、

前記処理された第1窒化チタン膜及び前記処理された第2窒化チタン膜を含む窒化チタン材料を薄くするためにエッチングを実行するステップであって、薄くされた窒化チタン材料は(200)結晶学的集合組織を優性的に有する、ステップをさらに含む、
を含む基板処理方法。

【請求項16】

前記の堆積するステップは、 TiCl_4 ガスと NH_3 ガスとの交互曝露を含む原子層堆積の複数のサイクルを含む、

請求項15記載の方法。

【請求項17】

前記エッチングするステップは、 CHF_3 とArとのガス混合物又は、 Cl_2 とArとのガス混合物を用いて実行される、

請求項15記載の方法。

【請求項18】

前記プラズマ励起水素含有ガスは、 H_2 、 NH_3 、 N_2H_4 、Hラジカル、及びそれらの組み合わせから成る群から選択される、

請求項15記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2018年7月26日に出願された「(200)結晶学的集合組織を有する窒化チタン膜を形成する方法」と題する米国仮特許出願第62/703,701号の優先権を主張し、その開示は、その全体が参照により本明細書に明示的に組み込まれる。

【0002】

10

20

30

40

50

本発明の実施形態は、半導体処理の分野におけるものであり、特に、(200)結晶学的集合組織(the (200) crystallographic texture)を優性的に有する窒化チタン膜を形成する方法を記載する。窒化チタン膜は、例えば、超伝導及び仕事関数(workfunction)調整用途に使用することができる。

【背景技術】

【0003】

人工知能(AI)、モノのインターネット(IoT)、ビッグデータなどの新しい技術は、ますます多くの計算能力を必要とし、そのため、いくつかの革新的な計算技術が開発されている。例えば、量子コンピューティングは、先進的なコンピューティング技術の一つとして登場しつつある。量子コンピューティングは超伝導金属化部を含むマイクロエレクトロニクス回路を必要とし、超伝導材料を堆積する新しい方法が必要とされる。

10

【0004】

窒化チタン(TiN)は、その硬さが知られている耐火材料であり、多くの産業で数十年にわたり耐摩耗性コーティングとして使用されてきた。さらに、TiNは、拡散バリア材料及び導電性電極材料として半導体デバイスに使用されている。TiNは、マイクロ波周波数において低損失を有することが知られており、その結果、多くの新進の量子デバイスアーキテクチャにおいて使用できる可能性がある。TiNは6.0KのバルクT_cを有する超伝導体であり、したがって量子コンピューティングに使用するための魅力的な材料である。

【0005】

20

TiN薄膜は、原子層堆積(ALD)、パルスレーザ堆積(PLD)、化学気相堆積(CVD)を含む多くの方法によって成長されてきたが、低損失量子回路用のTiN薄膜成長の最も一般的な方法は、Ar/N₂プラズマをチタンターゲットのスパッタリングに使用する反応性スパッタリング(例えばマグネトロンスパッタリング)である。しかしながら、例えば、超伝導及び仕事関数調整用途に使用するためには、好ましい結晶学的集合組織を有するTiN薄膜を堆積するための新しい方法が必要である。

【発明の概要】

【0006】

超伝導金属化又は仕事関数調整用途のために用いられることができる窒化チタン材料を形成するための基板処理方法が記載されている。基板処理方法は、基板上に第1窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、第1窒化チタン膜をプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップであって、第1窒化チタン膜は多結晶であり、処理は第1窒化チタン膜の(200)結晶学的集合組織を増加させる、ステップと、を含む。方法はさらに、処理された第1窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤ上に第2窒化チタン膜の少なくとも1つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、第2窒化チタンの少なくとも1つのモノレイヤをプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップと、を含む。

30

【0007】

気相堆積により形成され、優性的に又は主として(predominantly)(200)結晶学的集合組織を有する窒化チタン膜を含む半導体デバイスが記載されている。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

本明細書に組み込まれ、本明細書の一部を構成する添付の図面は、本発明の実施形態を示し、上記に与えられた発明の一般的な説明及び以下の詳細な説明と共に、本発明を説明する役割を果たす。

【図1】本発明の一実施形態によるTiN膜を形成するためのプロセスシーケンスを示す図である。

【図2】本発明の一実施形態によるTiN膜のX線回折(XRD)スペクトルを示す図である。

【図3】本発明の一実施形態によるTiN膜を形成するために構成された堆積システムの

50

上面図を示す図である。

【図 4】本発明の一実施形態による T i N 膜を処理するためのマイクロ波プラズマ源を含むプラズマ処理システムの概略を示す図である。

【図 5】図 4 のプラズマ処理システムのガス供給ユニットの平面図を示す図である。

【図 6】図 4 のプラズマ処理システムのアンテナ部分の部分断面図を示す図である。

【図 7 A】超伝導金属化に T i N 膜を形成及び集積化するためのクラスタツールの概略を示す図である。

【図 7 B】仕事関数調整用途に T i N 膜を形成し集積化するためのクラスタツールの概略を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【 0 0 0 9 】

本発明の実施形態は、(2 0 0) 結晶学的集合組織を優性的に有する T i N 膜を形成するための方法を記載する。T i N 膜は、例えば、超伝導及び仕事関数調整用途に使用することができる。優性的に(2 0 0) 結晶学的集合組織を有する T i N 膜は、高い超伝導転移温度を有し、したがって、超伝導用途に使用するために魅力的である。さらに、優性的に(2 0 0) 結晶学的テクスチャを形成するために、堆積中に T i N 膜を処理すると、閾値電圧が約 0 . 2 V から約 0 . 4 V だけ (by between) 正にシフトする。このことにより、仕事関数調整用途のための T i N 膜を使用するための様々な用途が開かれる。例えば、T i N 膜は、トランジスタのゲート電極として使用されることができ、そこでは、T i N 膜は、高 k 誘電体膜の頂部に配置され、T i N 膜は、トランジスタの閾値電圧を設定する特定の有効な仕事関数を有する。

20

【 0 0 1 0 】

一実施形態によれば、基板処理方法が記載される。基板処理方法は、基板上に第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、その後、第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤをプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップであって、第 1 窒化チタン膜は多結晶であり、処理は第 1 窒化チタン膜の (2 0 0) 結晶学的集合組織を増加させる、ステップと、を含む。方法はさらに、処理された第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤ上に第 2 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、その後、第 2 窒化チタンの少なくとも 1 つのモノレイヤをプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップと、を含む。本発明の実施形態によれば、水素含有ガスは、H 2、NH 3、N 2 H 4、H ラジカル、及びそれらの組み合わせから成る群から選択される。気相堆積は、例えば、A L D、C V D 又は物理堆積 (P V D) を含むことができる。処理された第 1 窒化チタン膜は、(2 0 0) の結晶学的集合組織を優性的に有し、これはまた、(2 0 0) の結晶学的集合組織を優性的に有する第 2 の窒化チタン膜の形成を助ける。第 1 窒化チタン膜及び第 2 窒化チタン膜はともに、(2 0 0) 結晶学的集合組織を優性的に有する窒化チタン材料を形成する。

30

【 0 0 1 1 】

図 1 は、本発明の一実施例による T i N 膜を形成するためのプロセス手順を示す。プロセス手順 1 0 0 は、1 0 2 において、基板上に第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、1 0 4 において、第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤをプラズマ励起水素含有ガスで処理するステップであって、第 1 窒化チタン膜は多結晶であり、処理は第 1 窒化チタン膜の (2 0 0) 結晶学的集合組織を増加させる、ステップと、を含む。

40

【 0 0 1 2 】

プロセス手順 1 0 0 は、さらに、1 0 6 において、処理された第 1 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤ上に第 2 窒化チタン膜の少なくとも 1 つのモノレイヤを気相堆積により堆積するステップと、1 0 8 において、プラズマ励起水素含有ガスで第 2 窒化チタンの少なくとも 1 つのモノレイヤを処理するステップと、を含む。

【 0 0 1 3 】

1 0 2 における堆積は、第 1 の、原子層堆積の複数のサイクル (a first plurality of

50

cycles of atomic layer deposition) を実行することによって達成することができ、106における堆積は、第2の、原子層堆積の複数のサイクル(a second plurality of cycles of atomic layer deposition) を実行することによって達成することができる。

【0014】

いくつかの実施形態によれば、プロセス手順は、チタン材料の(200)結晶学的集合組織をさらに増加させるために、第1チタン膜、第2チタン膜、又は、第1チタン膜及び第2のチタン膜の両方をアニールすることをさらに含むことができる。アニールは、第1チタン膜を堆積した後であって第1チタン膜を処理する前、第1チタン膜を処理した後であって第2チタン膜を堆積する前、第2チタン膜を堆積した後であって第2チタン膜を処理する前、第2のチタン膜を処理した後、又はそれらのさらなる組み合わせで行うことができる。

10

【0015】

いくつかの実施形態では、プロセス手順は、窒化チタン材料の厚さを増加させるために、追加の堆積ステップ及び処理ステップを実施することをさらに含むことができる。これは、図1のプロセス矢印110によって概略的に示されている。いくつかの例において、第1の複数のサイクルは、2回と約50回との間、2回と10回との間、10回と30回との間、又は30回と50回との間であり得る。いくつかの実施例において、第2の複数のサイクルは、2回と約50回との間、2回と10回との間、10回と30回との間、30回と50回との間であり得る。

20

【0016】

一実施形態によれば、処理ステップ104及び108は、TiN膜の閾値電圧を、例えば約0.2Vと約0.4Vとの間で正にシフトさせる。

【0017】

TiN膜は、Ti含有前駆体と窒素含有前駆体の交互曝露を用いてALDによって堆積させることができる。Ti含有前駆体は、窒化チタン前駆体及びチタン前駆体から選択することができる。窒化チタン前駆体は、同一分子中にチタンと窒素との両方を含有することができるが、別個の窒素前駆体(例えば、NH₃又はプラズマ励起N₂)を、追加の窒素源として追加することができる。「Ti-N」分子内結合を有する窒化チタン前駆体の代表的な例としては、Ti(NEt₂)₄(TDEAT)、Ti(NMeEt)₄(TEMAT)、Ti(NMe₂)₄(TDMAT)が挙げられる。チタン含有前駆体としては、TiF₅及びTiC₅が挙げられ、「Ti-C」分子内結合を含む前駆体としては、例えば、Ti(COCH₃)(⁵-C₅H₅)₂Cl、Ti(⁵-C₅H₅)Cl₂、Ti(⁵-C₅H₅)Cl₃、Ti(⁵-C₅H₅)₂Cl₂、Ti(⁵-C₅(CH₃)₅)Cl₃、Ti(CH₃)(⁵-C₅H₅)₂Cl、Ti(⁵-C₉H₇)₂Cl₂、Ti((⁵-C₅(CH₃)₅)₂Cl、Ti((⁵-C₅(CH₃)₅)₂Cl₂、Ti(⁵-C₅H₅)₂(μ-Cl)₂、Ti(⁵-C₅H₅)₂(CO)₂、Ti(CH₃)₃(⁵-C₅H₅)、Ti(CH₃)₂(⁵-C₅H₅)₂、Ti(CH₃)₄、Ti(⁵-C₅H₅)(⁷-C₇H₇)、Ti(⁵-C₅H₅)(⁸-C₈H₈)、Ti(C₅H₅)₂(⁵-C₅H₅)₂、Ti((C₅H₅)₂)₂(-H)₂、Ti(⁵-C₅(CH₃)₅)₂、Ti(⁵-C₅(CH₃)₅)₂(H)₂、及びTi(CH₃)₂(⁵-C₅(CH₃)₅)₂等が挙げられる。窒素含有前駆体は、NH₃、プラズマ励起NH₃、プラズマ励起N₂、NH(CH₃)₂、N₂H₄、又はN₂H₃CH₃NH₃、又はそれらの2つ以上の組み合わせから選択することができる。

30

40

【0018】

図2は、本発明の一実施形態によるTiN膜のXRDスペクトルを示す。TiN膜は、TiCl₄とNH₃の交互曝露を用いてALDにより堆積された。第1TiN膜1は、堆積したTiN膜をプラズマ励起H₂ガスで処理することなく形成された。第2TiN膜2は、堆積したTiN膜をプラズマ励起H₂ガスで間欠的に(intermittently)処理することにより形成した。XRDスペクトルはTiNについて3つの結晶学的集合組織を示す：

50

約37度の(111)、約42.5度の(200)、約62度の(220)である。第1 TiN膜1は多結晶であり、XRDは顕著な(111)、顕著な(200)及び顕著な(220)結晶学的集合組織を示した。対照的に、第2 TiN膜2は、優性的に又は主として(200)結晶学的集合組織を有し、(111)結晶学的集合組織は測定されなかった。図2の結果は、堆積されたTiN膜をプラズマ励起H₂ガスで間欠処理することを含む、図1のプロセス手順を用いて、優性的に(200)結晶学的集合組織を有するTiN膜が形成され得ることを明確に示す。

【0019】

一実施形態によれば、本方法は、(200)結晶学的集合組織を優性的に有するTiN膜を堆積させるステップと、その後、TiN膜を薄くするために、ドライエッチングプロセス(例えば、原子層エッチング(ALE))を行うステップとを含み、ここで、薄くしたTiN膜も、(200)結晶学的集合組織を優性的に有する。これは、厚いTiN膜を最初に堆積させ、その後、厚いTiN膜を、優性的な(200)結晶学的集合組織を維持しながら、所望の厚さまで薄くする方法を提供する。一実施例では、ドライエッチングプロセスは、ハロゲンガス、又は、例えばフッ素含有ガスを使用することを含む。一実施例では、ドライエッチングプロセスは、プラズマ励起エッチングガスを形成するためにプラズマを使用することを含む。例えば、ドライエッチングプロセスは、反応性ガスとしてCHF₃又はCl₂を含んでもよい。ドライエッチングプロセスは、Ar、N₂などの不活性ガスをさらに含んでもよい。一実施例において、ドライエッチングプロセスは、プラズマ励起CHF₃+Ar又はプラズマ励起Cl₂+Arを使用することができる。他の例において、ALEプロセスは、ホウ素(B)含有ガス又はアルミニウム(Al)含有ガス及びフッ素含有ガスの使用を含み得る。例えば、ALEプロセスは、BCl₃及びHFの使用を含み得る。別の例では、ALEプロセスは、TiN膜を除去する前に、TiN膜の全部又は一部を酸化することを含んでもよい。

【0020】

図3は、本発明の一実施形態によるTiN膜を形成するために構成された堆積システムの上図である。複数の基板200を処理するためのバッチ処理システム210は、入出力ステーション212、ロード/ロックステーション214、プロセスチャンバ216、及びロード/ロックステーション214とプロセスチャンバ216との間に介在する移送チャンバ218を備える。簡略化された方法で示されているバッチ処理システム210は、当業者によって理解されるように、ロード/ロックステーション214を移送チャンバ218に、プロセスチャンバ216を移送チャンバ218に連結する追加の真空隔離壁のような追加の構造を含んでもよい。入出力ステーション212は、大気圧(例えば、760 Torr)又はそれに近い圧力であり、ウエハカセット220、例えば、前面開口一体化ポッド(FOUP)を受け入れるように構成されている。ウエハカセット220は、例えば200又は300ミリメートルの直径を有する半導体ウエハ等の複数の基板200を保持するようにサイズ設定及び成形される。

【0021】

ロード/ロックステーション214は、大気圧から真空圧に排気され、真空圧から大気圧にベントされるように構成され、一方、プロセスチャンバ216及び移送チャンバ218は、隔離され、真空圧力で連続的に維持される。ロード/ロックステーション214は、入出力ステーション212の大気圧環境から導入された複数のウエハカセット220を保持する。ロード/ロックステーション214は、各々がウエハカセット220の1つを支持するプラットフォーム221、223を含み、プラットフォーム221、223は、プロセスチャンバ216へ及びプロセスチャンバ216からのウエハの移送を促進するために垂直方向にインデックス付けされていてもよい。

【0022】

ウエハ移送機構222は、基板200を、真空下で、ロード/ロックステーション214内のウエハカセット220のうちの1つから、移送チャンバ218を介して、プロセスチャンバ216内へと移送する。別のウエハ移送機構224は、真空下で、プロセスチャ

ンバ 2 1 6 内で処理された基板 2 0 0 を、プロセスチャンバ 2 1 6 から移送チャンバ 2 1 8 を介してウエハカセット 2 2 0 へと移送する。バッチ処理システム 2 1 0 のスループットを高めるために互いに独立して動作するウエハ移送機構 2 2 2、2 2 4 は、ピックアンドプレース操作 (pick-and-place operations) に一般的に使用される選択的順応関節 / 組立ロボットアーム (SCARA) ロボット (selective compliant articulated/assembly robot arm (SCARA) robots) であってもよい。ウエハ移送機構 2 2 2、2 2 4 は、移送中に基板 2 0 0 を固定するように構成されたエンドエフェクタを含む。プロセスチャンバ 2 1 6 は、プロセスチャンバ 2 1 6 内のプロセス空間にアクセスするためにウエハ移送機構 2 2 2、2 2 4 によってそれぞれ使用される別個の第 1 シール可能ポート及び第 2 シール可能ポート (図示せず) を含んでもよい。アクセスポートは、堆積又はエッチングプロセスがプロセスチャンバ 2 1 6 内で発生しているときにシールされる。ウエハ移送機構 2 2 2 は、ロード/ロックステーション 2 1 4 のプラットフォーム 2 2 1 上のウエハカセット 2 2 0 から処理チャンバ 2 1 6 へ、処理されていない基板 2 0 0 を移送するものとして図 3 に示されている。ウエハ移送機構 2 2 4 は、プロセスチャンバ 2 1 6 からロード/ロックステーション 2 1 4 のプラットフォーム 2 2 3 上のウエハカセット 2 2 0 へ、処理された基板 2 0 0 を移送するものとして図 3 に示されている。

10

【0023】

ウエハ移送機構 2 2 4 は、プロセスチャンバ 2 1 6 から引き抜かれる処理された基板 2 0 0 を検査のための計測ステーション 2 2 6 に、又は、基板 2 0 0 の後処理低圧冷却のために使用される冷却ステーション 2 2 8 に移送することもできる。計測ステーション 2 2 6 で実行されるプロセスは、例えばエリプソメトリー等の、膜厚及び/又は膜組成を測定するために使用される通常の技術、及び、汚染制御のための粒子測定技術を含んでもよいが、これらに限定されない。

20

【0024】

バッチ処理システム 2 1 0 は、バッチ処理システム 2 1 0 の動作を制御し、調整するようにプログラムされたシステムコントローラ 2 3 6 を備えている。システムコントローラ 2 3 6 は、典型的には、種々のシステム機能、チャンバプロセス及びサポートハードウェア (例えば、検出器、ロボット、モータ、ガス源ハードウェアなど) を制御し、システム及びチャンバプロセス (例えば、チャンバ温度、プロセス手順スループット、チャンバプロセス時間、入出力信号など) を監視するための中央処理ユニット (CPU) を含む。ソフトウェア命令及びデータは、CPU に指示するためにコード化され、メモリ内に記憶されることができる。システムコントローラ 2 3 6 によって実行可能なソフトウェアプログラムは、どのタスクが基板 2 0 0 上で実行されるかを特定し、プロセス手順タスク及び種々のチャンバプロセスレシピステップ (chamber process recipe steps) の監視及び実行に関するタスクを含む。

30

【0025】

サセプタ 2 4 8 は、プロセスチャンバ 2 1 6 の内側に配置されている。サセプタ 2 4 8 は、サセプタ 2 4 8 の頂部表面に画定された複数の円形基板支持体 2 5 2 を含む。基板支持体 2 5 2 の各々は、基板 2 0 0 のうちの少なくとも 1 つをプロセスチャンバ 2 1 6 の周辺側壁 2 4 0 内の半径方向の位置に保持するように構成される。個々の基板支持体 2 5 2 の数は、例えば、2 個 ~ 8 個の範囲であってもよい。しかしながら、当業者であれば、サセプタ 2 4 8 は、基板 2 0 0 の寸法及びサセプタ 2 4 8 の寸法に応じて、任意の所望の数の基板支持体 2 5 2 で構成することができることを理解するであろう。本発明のこの実施形態は、円形又は丸形 (circular or round) の幾何学的形状の基板支持体 2 5 2 を有するものとして示されているが、当業者であれば、基板支持体 2 5 2 は、適切に成形された基板を収容する、任意の所望の形状であってもよいことが理解されよう。

40

【0026】

バッチ処理システム 2 1 0 は、200 mm 基板、300 mm 基板、又はより大きなサイズの丸形基板を処理するように構成することができ、その寸法設定は基板支持体 2 5 2 の寸法に反映される。実際、当業者に理解されるように、バッチ処理システム 2 1 0 は、基

50

板、ウエハ、又は液晶ディスプレイを、そのサイズに関係なく処理するように構成することができると考えられる。したがって、本発明の態様は、半導体基板である基板 200 の処理に関連して説明されるが、本発明は、それに限定されない。

【0027】

基板支持体 252 は、回転軸 254 を中心とした一様な半径周りに (about a uniform radius) サセプタ 248 上に円周方向に分配される。基板支持体 252 は、回転軸 254 の周りにほぼ等角間隔を有し、これは方位軸 242 と (with the azimuthal axis 242) 実質的にコリニアはコアキシャル (collinear or coaxial) であるが、本発明はそれに限定されない。

【0028】

基板 200 がプロセスチャンバ 216 内で処理される場合、サセプタ 248 の回転は連続的であってよく、回転軸 254 の周りの一定の角速度で生じ得る。あるいは、角速度は、任意の基準点に対するサセプタ 248 の角度方向に応じて変化させることができる。

【0029】

パーティション 268、270、272、274 は、サセプタ 248 及び基板支持体 252 が回転軸 254 の周りを自由に回転できるようにしながら、プロセスチャンバ 216 を複数の処理空間 276、278、280、282 に区画化する。パーティション 268、270、272、274 は、回転軸 254 に関して半径方向に周辺側壁 240 に向かって延在する。4つのパーティション 268、270、272、274 が代表的に示されているが、当業者であれば、プロセスチャンバ 216 は、4つの処理スペースとは異なる数を形成するために、任意の適切な複数のパーティションに分割されてもよいことを理解するであろう。あるいは、パーティション 268、270、272、274 は、気体カーテンで置き換えてもよい。

【0030】

バッチ処理システム 210 は、周辺側壁 240 を貫通するガスインジェクタ 230、234 にガス配管によって連結されたパージガス供給システム 284 をさらに含む。パージガス供給システム 284 は、処理空間 276 及び 280 にパージガスの流れを導入するように構成される。処理空間 276 及び 280 に導入されるパージガスは、希ガス (すなわち、ヘリウム、ネオン、アルゴン、キセノン、クリプトン)、窒素、又は水素等の不活性ガスを含むことができる。基板処理中、パージガスを処理空間 276 及び 280 に連続的に導入することができ、処理空間 278、282 間の第 1 プロセス材料及び第 2 プロセス材料の気体移動を防止し、又は少なくとも大幅に制限する、気体カーテン又はバリアを提供することができる。パージガスはまた、処理空間 276、280 内に不活性雰囲気を提供し、基板 200 によって担持された任意のプロセス材料層は、処理空間 276、280 を通してサセプタ 248 上で搬送されたとき、実質的に変化しない。処理空間 278 は、処理空間 276、280 の間に並置 (juxtaposed) され、処理空間 282 は、処理空間 276、280 の間に並置され、その結果、第 1 プロセス材料及び第 2 のプロセス材料のための相互分離を提供するために、処理空間 276、280 は処理空間 278、282 を分離する。

【0031】

バッチ処理システム 210 は、周辺側壁 240 を貫通するガスインジェクタ 232 にガスラインによって結合された第 1 プロセス材料供給システム 290 と、周辺側壁 240 を貫通するガスインジェクタ 238 にガスラインによって結合された第 2 プロセス材料供給システム 292 とをさらに含む。第 1 プロセス材料供給システム 290 は、第 1 プロセス材料を処理空間 278 に導入するように構成され、第 2 プロセス材料供給システム 292 は、第 2 プロセス材料を処理空間 282 に導入するように構成される。第 1 プロセス材料供給システム及び第 2 プロセス材料供給システム 290、292 は、各々、かかるプロセス材料供給システムに従来見られるように、1つ以上の材料源、1つ以上のヒータ、1つ以上の圧力制御デバイス、1つ以上の流量制御デバイス、1つ以上のフィルタ、1つ以上の弁、又は 1つ以上の流量センサを含んでもよい。

【 0 0 3 2 】

第 1 プロセス材料は、例えば、基板 2 0 0 の各々の上に形成される膜中に見出される主要な (principal) 原子又は分子種を有する組成物等の前駆体を含むことができる。例えば、前駆体は、固相、液相、又は気相として発生することができ、キャリアガスの補助の有無にかかわらず、気体又は気相 (a gaseous or vapor phase) のいずれかで処理空間 2 7 8 に分配されることができる。第 2 のプロセス材料は、例えば、反応体を含むことができ、これも、基板 2 0 0 上に形成される膜中に見出される原子又は分子種を有し得る。例えば、反応物は、固相、液相、又は気相として発生することができ、キャリアガスの補助の有無にかかわらず、気体又は気相のいずれかで処理空間 2 8 2 に分配されることができる。

10

【 0 0 3 3 】

第 1 プロセス材料供給システム 2 9 0 によってプロセスチャンバ 2 1 6 に供給される第 1 プロセス材料、及び第 2 プロセス材料供給システム 2 9 2 によってプロセスチャンバ 2 1 6 に供給される第 2 プロセス材料は、基板上に薄膜として堆積される材料の組成及び特性に従って選択される。例えば、第 1 プロセス材料はチタン含有前駆体を含むことができ、第 2 プロセス材料は窒素含有前駆体を含むことができる。第 1 プロセス材料及び第 2 プロセス材料の温度及び圧力もまた、薄膜成長を促進するように選択される。

【 0 0 3 4 】

一実施形態によれば、第 1 プロセス材料供給システム 2 9 0、第 2 プロセス材料供給システム 2 9 2、及びパージガス供給システム 2 8 4 のうちの 1 つ以上は、エッチングガスを処理空間 2 7 6、2 7 8、2 8 0、2 8 2 のうちの 1 つ以上に注入するようにさらに構成されてもよい。

20

【 0 0 3 5 】

サセプタ 2 4 8 が回転軸 2 5 4 周りに回転すると、サセプタ 2 4 8 の周囲まわりの基板支持体 2 5 2 の配置により、各基板 2 0 0 が処理空間 2 7 6、2 7 8、2 8 0、2 8 2 の各々の内部の異なる環境に順次曝露されることが可能になる。例として、サセプタ 2 4 8 が 2 ラジアン (360°) の閉路を通して回転すると、基板 2 0 0 の各々は、第 1 処理空間 2 7 8 内の環境の第 1 プロセス材料に曝され、次いで、順次、第 2 処理空間 2 8 0 内の環境を含むパージガスに曝され、次いで、第 3 処理空間 2 8 2 内の環境の第 2 プロセス材料に曝され、最後に、第 4 の処理空間 2 7 6 内の環境を含むパージガスに曝される。基板 2 0 0 の各々は、基板 2 0 0 の各々の上に堆積されるべき膜の特性によって要求されるように、膜を形成するのに十分なように、それぞれの処理空間 2 7 6、2 7 8、2 8 0、2 8 2 の各々の中で所望の滞留時間を有する。

30

【 0 0 3 6 】

堆積プロセスは、薄膜の各原子層又はその一部の基板 2 0 0 上への堆積が、自己限定的に反応して薄膜を逐次形成又は構築する適切な気相前駆体を交互に順次導入することによって制御される堆積技術である。第 1 処理空間 2 7 8 内で、第 1 処理材料の分子は、(化学的に、吸収、吸着などによって) 基板 2 0 0 の各々の頂部表面に結合し、第 1 処理材料のモノレイヤ又はモノレイヤの一部を形成する。第 3 処理空間 2 8 2 内で、第 2 処理材料は、各連続する基板 2 0 0 上の第 1 処理材料の分子と反応する。基板 2 0 0 が第 1 及び第 3 の処理空間 2 7 8、2 8 2 を通して回転されると、これらのステップが繰り返され、第 1 プロセス材料及び第 2 プロセス材料への連続的な次の曝露が行われる。第 1 処理空間及び第 3 処理空間 2 7 8、2 8 2 における第 1 プロセス材料及び第 2 プロセス材料の環境は、それぞれ、第 2 処理空間及び第 4 処理空間 2 8 0、2 7 6 内の化学的に非反応性のパージガス環境によって互いに隔離される。

40

【 0 0 3 7 】

基板 2 0 0 は、堆積プロセスを促進するためにプロセス温度まで加熱されてもよい。主に熱的に駆動される CVD プロセスと比較して、ALD は主に化学的に駆動される。従って、ALD は、CVD よりもかなり低い基板温度で実施することができる。

【 0 0 3 8 】

50

本発明の一実施形態によれば、第1プロセス材料供給システム290は、イオン、ラジカル、又はそれらの組み合わせを含むプラズマ生成物の形態で、第1プロセス材料を処理空間278に供給するプラズマ源を含む。さらに、第2プロセス材料供給システム292は、イオン、ラジカル、又はそれらの組み合わせを含むプラズマ生成物の形態で第2プロセス材料を処理空間282に供給するプラズマ源を含んでもよい。さらに、異方性エッチングを提供するために、基板支持体252は、電氣的にバイアスされ得る。一実施例では、サセプタ248の回転は、電氣的バイアス中に停止される必要があり得る。

【0039】

本発明の一実施形態によれば、パージガス供給システム284は、プラズマ励起水素含有ガスを処理空間276、280のうちの1つ以上に供給し、図1のプロセス手順に記載されるようにTiN膜を処理するプラズマ源を含んでもよい。

【0040】

一実施例において、第1TiN膜は、第1処理空間278におけるチタン含有前駆体への気相曝露、及び第3処理空間282における窒素含有前駆体への曝露によって、各基板200上に堆積され得る。これらの順次曝露は、A回繰り返されることができる。第1TiN膜を基板200上に堆積させるための複数の曝露サイクルの後、第1TiN膜は、第2又は第4の処理空間280、276においてプラズマ励起水素含有ガスで処理され得る。プラズマ曝露処理は、B回実施することができる。順次曝露及びプラズマ曝露処理は、合計C回繰り返すことができる。換言すれば、第1TiN膜は、 $(A \times (\text{チタン含有前駆体曝露、その後窒素含有前駆体曝露}) + B \times (\text{プラズマ曝露処理})) \times C$ 回を行うことによって形成することができる。ここで、Aは、第1TiN膜を堆積させるために順次曝露が行われた回数を表し、Bは、プラズマ曝露が行われた回数を表し、Cは、順次曝露及びプラズマ曝露処理が繰り返された回数を表す。Cは、スーパーサイクル数とも呼ばれる。その後、処理された第1TiN膜上に第2TiN膜を堆積させるために、複数の曝露サイクルを繰り返すことができる。

【0041】

図4は、本発明の一実施形態によるTiN膜を処理するためのマイクロ波プラズマ源を含むプラズマ処理システムの概略図である。プラズマ処理システム10は、プラズマ処理チャンバ20（真空チャンバ）、アンテナユニット57及び基板ホルダ21を含む。

【0042】

プラズマ処理チャンバ20の内部は、プラズマガス供給ユニット30の下に位置するプラズマ生成領域R1と、基板ホルダ21側部のプラズマ拡散領域R2とに概略的に分割されている。プラズマ生成領域R1で生成されたプラズマは、数エレクトロンボルト(eV)の電子温度を有することができる。プラズマがプラズマ拡散領域R2内に拡散されて、そこで膜形成又は膜処理プロセスが実行されると、基板ホルダ21近傍のプラズマの電子温度は、約2eV未満の値に低下する。基板ホルダ21は、プラズマ処理チャンバ20の底部の中央に配置され、基板Wを取り付けるための取り付けユニットとして機能する。基板ホルダ21内には、基板温度を制御するために、絶縁部材(an insulating member)21a、冷却ジャケット21b、及び図示しない温度制御ユニットが設けられている。

【0043】

プラズマ処理チャンバ20の頂部部分は開口している(open-ended)。プラズマガス供給ユニット30は、基板ホルダ21に対向して配置されて、Oリング等の図示しないシール部材を介してプラズマ処理チャンバ20の頂部部分と封止される。プラズマガス供給ユニット30は、誘電体窓としても機能することができ、酸化アルミニウム又は石英等の材料で作られ、仮想ディスク形状(a virtual disk shape)を有し、基板ホルダ21に対向する。複数のガス供給孔31が、基板ホルダ21に対向してプラズマガス供給ユニット30の平面上に設けられている。複数のガス供給孔31は、ガス流路32を介してプラズマガス供給口33と連通する。プラズマガス供給源34は、水素含有ガス、Arガス、又は他の不活性ガス等のプラズマガスをプラズマガス供給口33に供給する。その後、プラズマガスは、複数のガス供給孔31を介してプラズマ発生領域R1に均一に供給される。

【 0 0 4 4 】

プラズマ処理システム 10 は、プラズマ生成領域 R 1 とプラズマ拡散領域 R 2 との間で、プラズマ処理チャンバ 20 の実質的に中心に位置するプロセスガス供給ユニット 40 をさらに含む。プロセスガス供給ユニット 40 は、マグネシウム (M g) 又はステンレス鋼を含有するアルミニウム合金等の導電材料で作られている。プラズマガス供給ユニット 30 と同様に、複数のガス供給孔 41 がプロセスガス供給ユニット 40 の平坦表面に設けられている。プロセスガス供給ユニット 40 の平坦表面は、基板ホルダ 21 と対向して配置され、ディスク形状を有する。

【 0 0 4 5 】

プラズマ処理チャンバ 20 は、プラズマ処理チャンバ 20 の底部に接続された排気ライン 26 と、排気ラインを圧力制御弁 28 及び真空ポンプ 29 に接続する真空ライン 27 とをさらに含む。圧力制御弁 28 は、プラズマ処理チャンバ 20 内の所望のガス圧力を達成するために使用され得る。

【 0 0 4 6 】

図 5 には、プロセスガス供給ユニット 40 の平面図が示されている。この図に示されるように、プロセスガス供給ユニット 40 内には、シャワープレートとも呼ばれるグリッド状ガス流路 42 が形成されている。グリッド状ガス流路 42 は、垂直方向に形成された複数のガス供給孔 41 の上端と連通する。複数のガス供給孔 41 の下端は、基板ホルダ 21 に面する開口部である。複数のガス供給孔 41 は、グリッドパターン化ガス流路 42 を介してプロセスガス供給口 43 と連通する。

【 0 0 4 7 】

さらに、複数の開口 44 がプロセスガス供給ユニット 40 を垂直方向に通過するように、プロセスガス供給ユニット 40 に複数の開口 44 が形成される。複数の開口 44 は、プラズマガス、例えば、水素含有ガス、A r ガス、H e ガス、又は他の不活性ガスを、基板ホルダ 21 側のプラズマ拡散領域 R 2 へと通す。図 4 に示すように、複数の開口 44 は、隣接するガス流路 42 同士の間形成される。プロセスガスは、例えば、別個のプロセスガス供給源 34、45 ~ 47 からプロセスガス供給口 43 へ供給される。プロセスガス供給源 45 及び 46 は、それぞれ O 2 及び N 2 を供給することができる。ガス供給源 47 は、水素含有ガスを供給するために設けられている。いくつかの実施形態によれば、A r (及び / 又は H e) 及び水素含有ガスの任意の組み合わせが、プロセスガス供給ユニット 40 及び / 又はプラズマガス供給口 33 を通って流されてもよい。さらに、例えば、複数の開口部 44 は、基板 W の周縁部を越えて延在するプロセスガス供給ユニット 40 上の領域を占めてもよい。

【 0 0 4 8 】

プロセスガスは、グリッド状ガス流路 42 を通って流れ、複数のガス供給孔 41 を介してプラズマ拡散領域 R 2 に均一に供給される。プラズマ処理システム 10 は、さらに、4 つのバルブ (V 1 - V 4) 及び 4 つの流量コントローラ (M F C 1 - M F C 4) を含み、それぞれ、プラズマ処理チャンバ 20 へのガス供給を制御する。

【 0 0 4 9 】

外部マイクロ波発生器 55 は、所定の周波数、例えば 2 . 4 5 G H z のマイクロ波信号 (又はマイクロ波エネルギー) を、同軸導波路 54 を介してアンテナユニット 57 に供給する。同軸導波路 54 は、内側導体 54 B 及び外側導体 54 A を含んでもよい。マイクロ波発生器 55 からのマイクロ波は、プラズマ発生領域 R 1 において、プラズマガス供給ユニット 30 のすぐ下に電場を生成し、これは、次いでプラズマ処理チャンバ 20 内でプロセスガスの励起を引き起こす。

【 0 0 5 0 】

図 6 は、アンテナユニット 57 の部分断面図を示す。この図に示すように、アンテナユニット 57 は、マイクロ波の波長を短縮するために (to shorten)、フラットアンテナ本体 51 と、半径方向ラインスロットプレート 52 と、誘電体プレート 53 とを含むことができる。フラットアンテナ本体 51 は、開口底面 (an open-ended bottom surfac

10

20

30

40

50

e)を有する円形状を有する。半径方向ラインスロットプレート52は、フラットアンテナ本体51の開口底面を閉じるように形成されている。フラットアンテナ本体51及び半径方向ラインスロットプレート52は、フラットな中空円形状導波路を有する導電材料で構成されている。

【0051】

複数のスロット56が、円形偏波を生成するために半径方向ラインスロットプレート52上に設けられている。複数のスロット56は、それらの間に僅かなギャップを有する実質的にT字形状で、円周に沿った同心円パターン又は螺旋パターンにおいて、配列されている。スロット56a及び56bは互いに垂直であるので、2つの直交偏波成分を含む円形偏波が、平面波として、半径方向ラインスロットプレート52から放射される。

10

【0052】

誘電体プレート53は、低損失誘電体材料、例えば、酸化アルミニウム(Al_2O_3)又は窒化シリコン(Si_3N_4)で作られおり、半径方向ラインスロットプレート52と平坦アンテナ本体51との間に位置する。半径方向ラインスロットプレート52がカバープレート23と密着するように、半径方向ラインスロットプレート52は、シール部材(図示せず)を用いてプラズマ処理チャンバ20上に取り付けられる。カバープレート23は、プラズマガス供給ユニット30の上部表面に配置され、酸化アルミニウム(Al_2O_3)等のマイクロ波透過誘電体材料から形成される。

【0053】

外部高周波電源22は、マッチングネットワーク25を介して基板ホルダ21に電氣的に接続されている。外部高周波電源22は、基板Wに引き込まれるイオンエネルギーを制御するために、所定の周波数、例えば13.56MHzのRFバイアス電力を生成する。電源22は、RFバイアス電力のパルスを任意に提供するようにさらに構成され、パルス周波数は、1Hz以上、例えば2Hz、4Hz、6Hz、8Hz、10Hz、20Hz、30Hz、50Hz、又はそれ以上とすることができる。電源22は、RFバイアス電力を供給するために構成されており、RFバイアス電力は、0Wと100Wとの間、100Wと200Wとの間、200Wと300Wとの間、300Wと400Wとの間、又は400Wと500Wとの間であることができる。当業者は、電源22の電力レベルが処理される基板のサイズに関連することを理解するであろう。例えば、300mmのSiウエハは、処理中に200mmのウエハよりも大きな電力消費を必要とする。プラズマ処理システム10はさらに、約-5kVと約+5kVとの間のDC電圧バイアスを基板ホルダ21に供給することができるDC電圧発生器35を含む。

20

30

【0054】

TiN膜の処理中に、プラズマガス、例えば水素含有ガスが、プラズマガス供給ユニット30を使用してプラズマ処理チャンバ20に導入されてもよい。さらに、又は、あるいは、水素含有ガスが、プロセスガス供給ユニット40を使用してプラズマ処理チャンバ20に導入されてもよい。

【0055】

図7Aは、超伝導金属化にTiN膜を形成及び集積化するためのクラスタツールの概略を示す図である。クラスタツールは、TiN堆積チャンバと、プラズマ処理(例えば、プラズマ励起水素含有ガス処理)チャンバとを含み、(200)結晶学的集合組織を優性的に有するTiN膜を形成し、TiN膜を空気に曝すことなくPVDプロセスチャンバ内の超伝導金属化デバイス内にTiN膜を集積化する。PVDプロセスチャンバは、TiN膜と組み合わせて使用する金属又は金属含有材料を堆積するために使用され得る。

40

【0056】

クラスタツール700は、カセットモジュール701A及び701Bと、基板アライメントモジュール701Cと、を含む基板(ウエハ)移送システム701を含む。ロード/ロックチャンバ702A及び702Bは、基板移送システム701に結合される。基板移送システム701は大気圧に維持されるが、不活性ガスでパージすることによって清浄な環境が提供される。

50

【0057】

ロード/ロックチャンバ702A及び702Bは、基板移送システム703に結合される。基板移送システム703は、ターボ分子ポンプ（図示せず）を用いて、非常に低いベース圧力（例えば、 5×10^{-8} Torr、又はより低い圧力）で維持され得る。基板移送システム703は、基板移送ロボットを含み、TiN膜を処理するために構成されたTiN堆積システム704B及び704C（例えば、図3のバッチ処理システム210）、並びにプラズマ処理システム704A及び704D（例えば、図4乃至6の、マイクロ波プラズマ源を含むプラズマ処理システム10）に結合される。他の実施形態によれば、1つ以上のプラズマ処理システム704A及び704Dは、誘導結合プラズマ（ICP）源又は容量結合プラズマ（CCP）源を含むことができる。

10

【0058】

さらに、基板移送システム703は、基板ハンドリングチャンバ704Eを介して基板移送システム705に結合される。基板移送システム703と同様に、基板移送システム705は、ターボ分子ポンプ（図示せず）を用いて、非常に低いベース圧力（例えば、 5×10^{-8} Torr、又はより低い圧力）に維持され得る。基板移送システム705は、基板移送ロボットを含む。基板移送システム705には、TiN膜と組み合わせて使用する金属又は金属含有材料を堆積するために構成された処理システム706A～706Dが結合される。

【0059】

上述のように、クラスタツール700は、同一又は類似の処理を実行するように構成された2つ以上の処理システムを含んでもよい。これは、クラスタツール700のウエハスループットを増加させるために行うことができる。従って、本発明のいくつかの実施形態は、図7に示される全ての処理システムよりも少ない使用を含んでもよい。

20

【0060】

クラスタツール700は、集積基板処理中に図7に示される処理システム及び処理要素のいずれか又は全てに結合され、制御し得るコントローラ710を含む。あるいは、又は、さらに、コントローラ710は、1つ以上の追加のコントローラ/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710は、追加のコントローラ/コンピュータからセットアップ及び/又は構成情報を得ることができる。コントローラ710は、処理システム及び処理要素のいずれか又は全てを構成するために使用することができ、コントローラ710は、処理システム及び処理要素のいずれか又は全てからデータを収集し、提供し、処理し、記憶し、表示することができる。コントローラ710は、処理システム及び処理要素のいずれか又は全てを制御するための多数のアプリケーションを備えることができる。例えば、コントローラ710は、ユーザが1つ以上の処理システム及び処理要素を監視及び/又は制御することを可能にする、使いやすいインターフェースを提供することができるグラフィックユーザインターフェース（GUI）コンポーネント（図示せず）を含むことができる。

30

【0061】

図7Bは、TiN膜を形成し、仕事関数調整用途に統合するためのクラスタツールの概略図である。クラスタツール720は、図7Aのクラスタツール700に類似しており、TiN膜を空気に曝すことなく、(200)結晶学的集合組織を優性的に有するTiN膜を形成するためのTiN堆積チャンバ及びプラズマ処理（例えば、プラズマ励起水素含有ガス処理）チャンバを含む。

40

【0062】

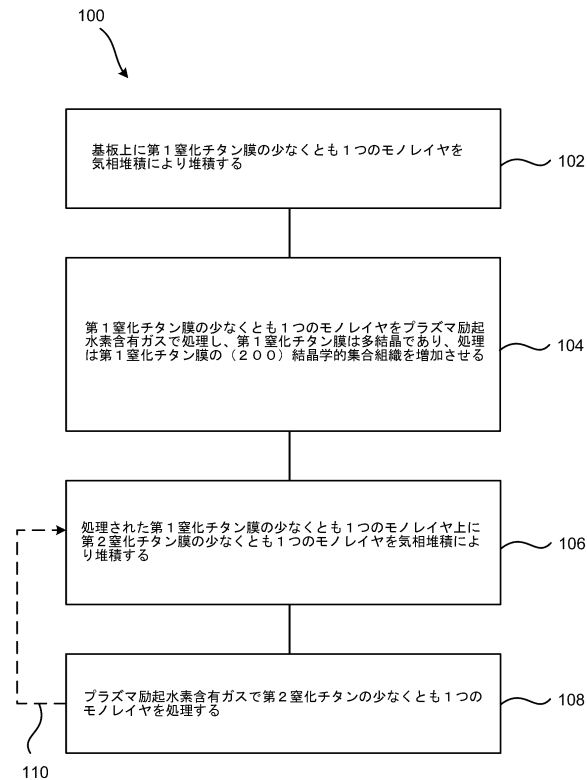
(200)結晶学的集合組織を優性的に有するTiN膜を形成する方法のための複数の実施形態が記載されている。本発明の実施形態の前述の説明は、例示及び説明のために提示されたものである。開示された正確な形態を網羅すること又は本発明を開示された正確な形態に限定することを意図するものではない。この説明及び以下の特許請求の範囲は、説明のためだけに使用される用語を含み、限定するものとして解釈されるべきではない。当業者は、上記教示に照らして多くの改変及び変形が可能であることを理解することがで

50

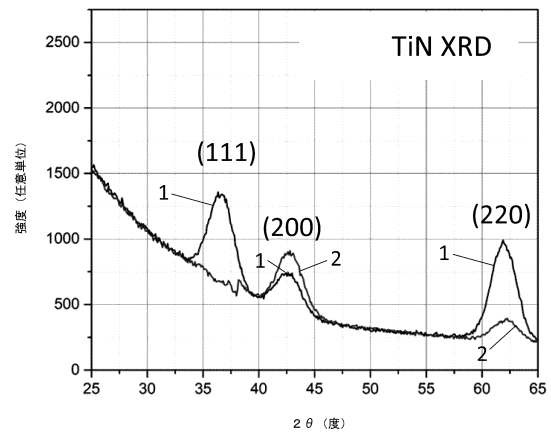
きる。したがって、本発明の範囲は、この詳細な説明によってではなく、添付の特許請求の範囲によって限定されることが意図される。

【図面】

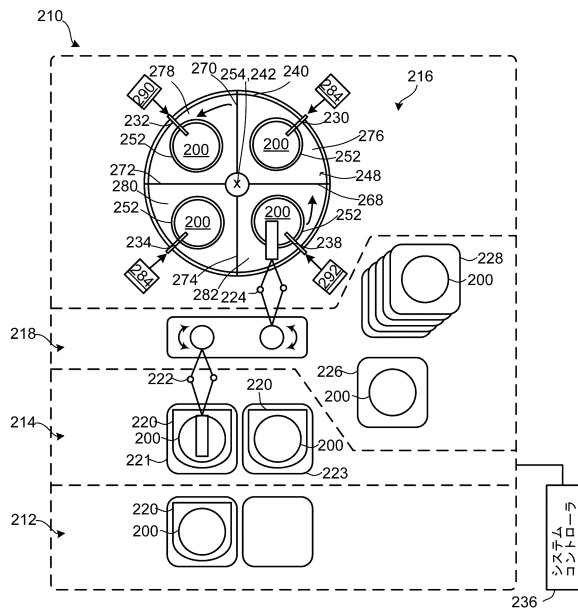
【図 1】



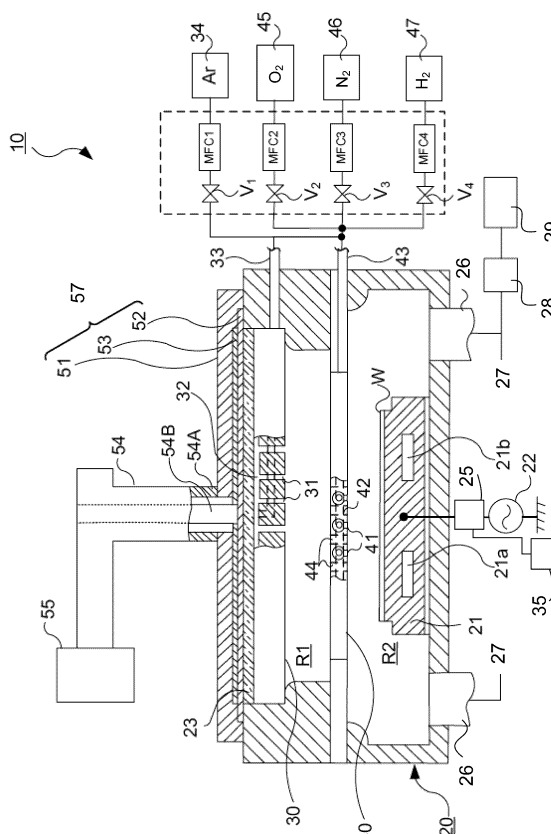
【図 2】



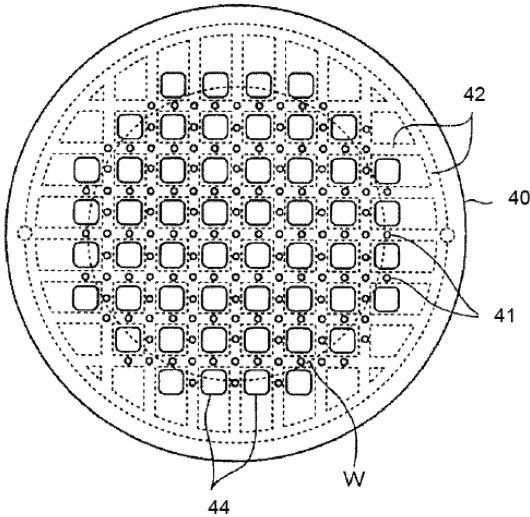
【図 3】



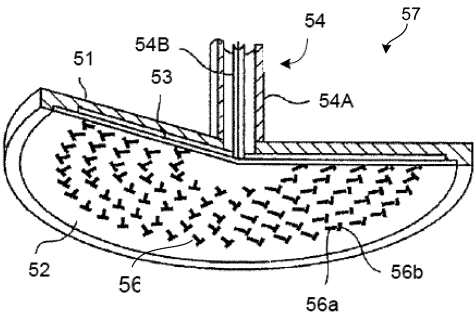
【図 4】



【図 5】

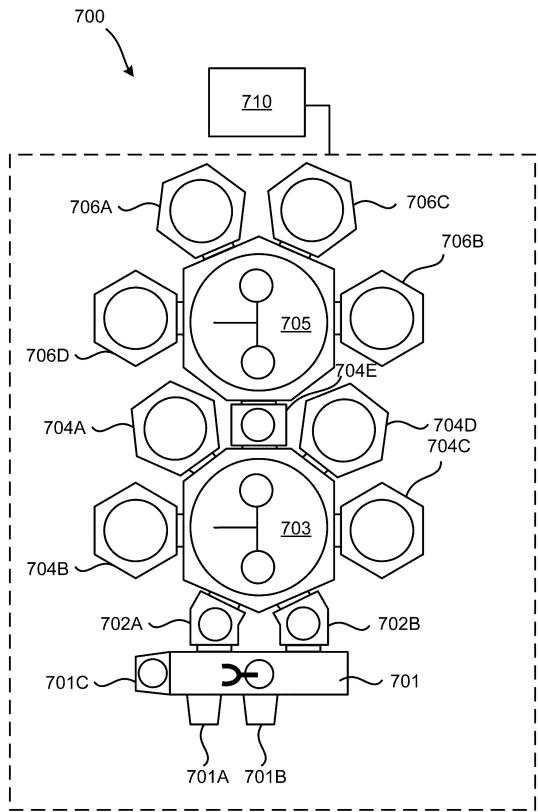


【図 6】

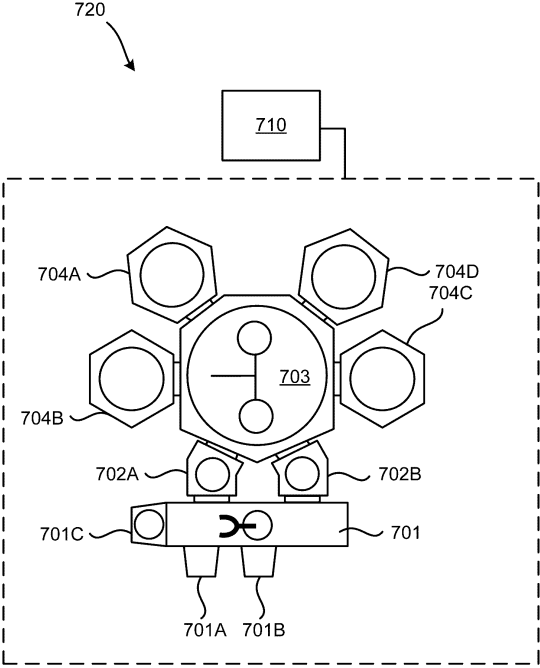


10

【図 7 A】



【図 7 B】



20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

| | | | | |
|----------------|-------------------------|----------------|-------|---|
| <i>H 0 1 L</i> | <i>21/285 (2006.01)</i> | <i>H 0 1 L</i> | 21/28 | B |
| <i>H 1 0 N</i> | <i>60/85 (2023.01)</i> | <i>H 1 0 N</i> | 60/85 | A |
| <i>C 2 3 C</i> | <i>16/56 (2006.01)</i> | <i>C 2 3 C</i> | 16/56 | |

(56)参考文献

特開 2 0 0 9 - 0 7 1 2 9 3 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 2 5 1 0 4 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 9 1 6 8 2 (J P , A)
特開平 1 1 - 1 4 5 1 4 4 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 1 0 4 5 5 1 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 1 8 6 6 9 3 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

C 2 3 C 1 6 / 0 0 - 1 6 / 5 6
H 0 1 L 2 1 / 2 0 5 , 2 1 / 2 8 - 2 1 / 2 8 5 , 2 1 / 3 1
2 1 / 3 6 5 , 2 1 / 4 4 - 2 1 / 4 4 3 , 2 1 / 4 6 9
2 9 / 4 0 - 2 9 / 5 1
H 1 0 N 6 0 / 8 5