

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4493718号
(P4493718)

(45) 発行日 平成22年6月30日 (2010. 6. 30)

(24) 登録日 平成22年4月16日 (2010. 4. 16)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 3 C 14/14 (2006. 01)

C 2 3 C 14/14 B

H O 1 L 21/285 (2006. 01)

H O 1 L 21/285 S

H O 1 L 21/28 (2006. 01)

H O 1 L 21/28 3 O 1 R

C 2 3 C 14/35 (2006. 01)

C 2 3 C 14/35

C 2 3 C 14/34 (2006. 01)

C 2 3 C 14/34 K

請求項の数 15 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2008-527948 (P2008-527948)
 (86) (22) 出願日 平成18年8月8日 (2006. 8. 8)
 (65) 公表番号 特表2009-506212 (P2009-506212A)
 (43) 公表日 平成21年2月12日 (2009. 2. 12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/030784
 (87) 国際公開番号 W02007/024465
 (87) 国際公開日 平成19年3月1日 (2007. 3. 1)
 審査請求日 平成21年7月29日 (2009. 7. 29)
 (31) 優先権主張番号 11/209, 328
 (32) 優先日 平成17年8月23日 (2005. 8. 23)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

早期審査対象出願

(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, I
 NCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 054 サンタ クララ パウアーズ ア
 ベニュー 3050
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100094318
 弁理士 山田 行一
 (74) 代理人 100107456
 弁理士 池田 成人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ウェーハバイアス中のアルミニウムスパッタリング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上にアルミニウムをスパッタリングするための方法であって、

第1のプラズマスパッタ反応器の内部に面している第1のアルミニウムターゲットが嵌合されている第1のプラズマスパッタ反応器で実行される第1の堆積ステップであって、

前記第1のプラズマスパッタ反応器内で第1のペDESTAL上に前記基板をサポートする工程、

200 mm直径の円形基板の面積に正規化されている1 W ~ 700 WのRF電力レベルを有するRF電力によって前記ペDESTALをバイアスする工程、

前記基板を150 未満の第1の温度に維持する工程、

前記第1のアルミニウムターゲットの中心軸を中心に第1のマグネトロンを回転させる工程であって、前記第1のマグネトロンは、非均衡であり、前記第1のアルミニウムターゲットの15%の第1の小面積未満の包含面積を有している、前記工程

スパッタ動作ガスを前記第1のプラズマスパッタ反応器に許容する工程、

DC電力を前記第1のアルミニウムターゲットに印加することによって前記第1のアルミニウムターゲットをスパッタリングして第1のアルミニウム層を前記基板上に形成する工程であって、前記第1のアルミニウム層が前記基板の上部平面上に第1の厚さで形成される、前記工程

を含む、前記第1の堆積ステップと、

第2のプラズマスパッタ反応器の内部に面しているアルミニウム前面を有する第2のア

10

20

ルミニウムターゲットが嵌合されている第2のプラズマスパッタ反応器で実行される第2の堆積ステップであって、

前記第2のプラズマスパッタ反応器内の第2のペDESTAL上に前記基板をサポートする工程、

250より高い第2の温度に前記基板を維持する工程、

前記第1のマグネトロンとは実質的に異なる磁界分布を生成する第2のマグネトロンの前記第2のアルミニウムターゲットの中心軸を中心に回転させる工程、

スパッタ動作ガスを前記第2のプラズマスパッタ反応器に許容する工程、

前記第2のアルミニウムターゲットにDC電力を印加することによって前記第2のアルミニウムターゲットをスパッタリングして前記基板上の前記第1のアルミニウム層の上部に第2のアルミニウム層を形成する工程であって、前記第2のアルミニウム層が前記基板の前記上部平面に第2の厚さで形成される工程

を含む、前記第2の堆積ステップと、

を備える、方法。

【請求項2】

前記第1のプラズマスパッタ反応器および第2のプラズマスパッタ反応器のいずれもRF誘導コイルを含んでいない、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第2のマグネトロンが、前記第2のアルミニウムターゲットの25%より大きい第2の小面積である包含面積を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記ペDESTALが前記第2の堆積ステップ中に実質的に未バイアスのままである、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記第2の温度が250～550である、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

前記RF電力レベルが100W～500Wである、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

前記基板が少なくとも4のアスペクト比を有するホールを含んでおり、前記第1の堆積ステップおよび第2の堆積ステップが前記ホールを充填する、請求項1に記載の方法。

【請求項8】

前記第1のマグネトロンが、

前記第1のアルミニウムターゲットの前記中心軸に沿って第1の総磁気強度を有する第1の磁気極性の内極と、

前記第1の磁気極性と反対の第2の磁気極性を有し前記内極を囲み、前記第1の総磁気強度の少なくとも150%の第2の総磁気強度を有する外極と、

を備える、請求項1に記載の方法。

【請求項9】

前記堆積ステップのいずれもRF電力を誘導結合するステップを含んでいない、請求項1に記載の方法。

【請求項10】

前記第2の堆積中に、前記基板がバイアスされないか、前記第1の堆積ステップ中に前記バイアスステップで印加された前記RF電力の10%以下にバイアスされる、請求項1に記載の方法。

【請求項11】

前記第1の堆積ステップおよび第2の堆積ステップが真空移送チャンバを介して接続されている異なるプラズマスパッタ反応器で実行されて、前記基板が真空下の前記異なるプラズマスパッタ反応器間に移送されるようにする、請求項1に記載の方法。

【請求項12】

前記RF電力が、円形の200mm基板の面積に正規化されている100W～500W

10

20

30

40

50

の電力レベルで印加される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記電力レベルが 1 0 0 W ~ 3 0 0 W である、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記基板は、内部にホールが形成され、前記第 1 の堆積ステップは、前記ホールを部分的に充填し、前記第 2 の堆積ステップは、前記ホールを完全に充填する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

基板上にアルミニウムをスパッタリングするための方法であって、

第 1 の プラズマスパッタ反応器 の内部に面しているアルミニウム前面を有する第 1 のターゲットが嵌合されている第 1 の プラズマスパッタ反応器 で実行される第 1 の堆積ステップであって、

前記 第 1 のプラズマスパッタ反応器 内の第 1 のペDESTAL 上に前記基板をサポートする工程、

前記基板の 2 0 0 mm 直径に正規化されている 1 W ~ 7 0 0 W の R F 電力レベルを有する R F 電力で前記ペDESTAL をバイアスする工程、

1 5 0 未満の第 1 の温度に前記基板を維持する工程、

(1) 前記第 1 のターゲットの前記中心軸に沿って第 1 の総磁気強度を有する第 1 の磁気極性の内極と、(2) 前記第 1 の磁気極性と反対の第 2 の磁気極性を有し前記内極を囲み、前記第 1 の総磁気強度の少なくとも 1 5 0 % の第 2 の総磁気強度を有する外極とを備える第 1 のマグネトロンを前記第 1 のターゲットの中心軸を中心に回転させる工程、

スパッタ動作ガス を前記第 1 の プラズマスパッタ反応器 に許容する工程、

前記第 1 のターゲットに D C 電力を印加することによって前記第 1 のターゲットをスパッタリングして前記基板上に第 1 のアルミニウム層を形成する工程であって、前記 第 1 のアルミニウム層 が前記基板の上部平面に第 1 の厚さで形成される工程

を含む、前記第 1 の堆積ステップと、

前記第 2 の プラズマスパッタ反応器 の内部に面しているアルミニウム前面を有する第 2 のターゲットが嵌合されている第 2 の プラズマスパッタ反応器 で実行される第 2 の堆積ステップであって、

前記 第 2 のプラズマスパッタ反応器 内の第 2 のペDESTAL 上に前記基板をサポートする工程であって、前記第 2 のペDESTAL が実質的に未バイアスのままである工程、

2 5 0 より高い第 2 の温度に前記基板を維持する工程、

前記第 1 のターゲットの中心軸を中心に第 2 の略均衡マグネトロンの回転させる工程、

スパッタ動作ガス を前記第 2 の プラズマスパッタ反応器 に許容する工程、

前記第 2 のターゲットに D C 電力を印加することによって前記第 2 のターゲットをスパッタリングして前記基板上の前記第 1 のアルミニウム層の上部に第 2 のアルミニウム層を形成する工程であって、前記第 2 のアルミニウム層が前記基板の前記上部平面に第 2 の厚さで形成される工程を含む、前記第 2 の堆積ステップと、
を備える、方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の分野】

【0 0 0 1】

本発明は概して、スパッタリングによる材料の堆積に関する。特に、本発明は 2 段階アルミニウムスパッタリングプロセスおよびこれに使用される装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

シリコン集積回路は、きわめて高度な回路の銅メタライゼーションを強く強調するにも拘わらず、マルチレベルメタライゼーション構造における垂直および水平の配線の導電性材料としてしばしばアルミニウムを使用し続ける。アルミニウムはマグネトロンスパッタリングによって最も頻繁に堆積される。しかしながら、垂直配線のアスペクト比が増大し

10

20

30

40

50

続けると、スパッタリングやアルミニウムスパッタリングには概して好ましくない形状は多くの困難に直面する。にもかかわらず、比較的従来のDCマグネトロンスパッタ反応器は、その簡潔さ、低コストおよび長期使用ゆえに好まれ続けている。

【0003】

図1の断面図に概略的に図示されているように、DCマグネトロンスパッタ反応器10は、中心軸14を中心に概して対称的に配列されている真空チャンバ12を含んでいる。真空ポンプシステム16はチャンバ12を、 10^{-8} トールの範囲のきわめて低いベース圧力にポンピングする。しかしながら、質量流コントローラ20を介してチャンバに接続されているガス源18はアルゴンをスパッタ動作ガスとして供給する。チャンバ12内のアルゴン圧は通常低ミリトール範囲に保持されている。中心軸14を中心に配列されているペDESTAL22は、スパッタコーティングされるウェーハ24や他の基板を保持している。図示されていないクランプリングや静電チャックがウェーハ24をペDESTAL22に保持するために使用されてもよく、これは普通温度コントロールされる。シールド26はチャンバ壁およびペDESTAL22の側部をスパッタ堆積から保護する。平らな前面を有するターゲット28がペDESTAL22の反対側に配列されており、これはペDESTAL22近くに延びる実質的な有効部分を有していない。アルミニウムスパッタリングについて、ウェーハ24に面しているターゲット28の少なくとも前面は、元素アルミニウムに加えて1つ以上の合金元素の10原子%以下のアルミニウムまたはアルミニウム合金から構成される。ターゲット28は、アイソレーター30を介してチャンバ12に真空シールされている。

10

20

【0004】

DC電源32は、正帯電アルゴンイオンが負バイアスターゲット28およびスパッタ材料に引き付けられるように、電氣的に接地されていればシールド28に対して、あるいは他のチャンバ部分に対してターゲット28を電氣的に負でバイアスして、アルゴンスパッタ動作ガスをプラズマに放電させる。ターゲット28から放出されたスパッタ材料の一部が層としてウェーハ24上に堆積される。反応イオンスパッタリングにおいて、窒素などの反応ガスが付加的にチャンバに許容されて、金属窒化物などの金属化合物の堆積をもたらす。銅や耐熱バリア金属をスパッタリングする一部の用途において、他のRF周波数も使用可能であるが例えば13.56MHzで動作するRF電源34は、容量結合回路38によってペDESTAL22における電極36をバイアスする。アルミニウムスパッタリングを含む他の用途において、RFバイアス回路は従来省略されており、ペDESTAL22は電氣的に浮遊しているままである。

30

【0005】

用途に応じて、ウェーハ24はスパッタコーティング中に加熱または冷却される必要がある場合もある。コントロール可能な電源40は、ペDESTAL22に埋め込まれている抵抗ヒーター42に電流を供給することによってウェーハ24を加熱してもよい。他方、コントロール可能な冷却器44は、ペDESTAL22に形成された冷却チャネル46に冷却水や他の冷媒を循環させてもよい。図示されていないが、さらなる熱コントロールが、ペDESTAL22電極36の上部表面に形成された畳み込みチャネルに送出されたアルゴン熱伝達ガスのコントロール可能な供給によって行われて、ウェーハ24をペDESTAL22に熱的に結合させる。

40

【0006】

アルミニウムスパッタリング用のダイオードDCマグネトロンスパッタ反応器は従来、著しくエネルギーをプラズマに結合させるエネルギーのRF誘導またはマイクロ波源を含んでいない。

【0007】

スパッタリング速度は、ターゲット28の背後にマグネatron50を置くことによって大きく増大されることが可能である。マグネatron50は本発明の一態様であり、種々の形状および形態を想定可能である。これは、ターゲット28の前面に隣接した高密度プラズマ(HDP)のリング状領域56を形成するための、反対の垂直磁気極性を帯び、かつ

50

通常はリング状に配列されている磁極 5 2、5 4 の対を含むことがある。H D P 領域 5 6 は、電子をトラップする近接磁極 5 2、5 4 間に水平に延びる磁界から生じることによって、プラズマ密度を増大させる。増大されたプラズマ密度は、ターゲット 2 8 の隣接領域のスパッタリングを大きく増大させる。プラズマ密度はさらに、走査およびスパッタリング中のターゲットの面積よりもかなり小さい、例えば 1 5 % 未満の包含面積を有するマグネトロン 5 0 によって増大され、これによってマグネトロン 5 0 の縮小面積にターゲット電力を集中させる。より均一なターゲットスパッタリングパターンを提供するために、リング状マグネトロン 5 0 は通常中心軸 1 4 からオフセットされている。モーター 6 0 は、中心軸 1 4 に沿って延び、かつ磁極 5 2、5 4 をサポートするプレート 6 4 に固定されている回転シャフト 6 2 を駆動して、中心軸 1 4 を中心にマグネトロン 5 0 を回転させる。オフセットマグネトロン 5 0 を回転させることは、アジマス的に均一な時間平均磁界を生成する。磁極 5 2、5 4 が対向する円筒形永久磁石のそれぞれのリングによって形成される場合、プレート 6 4 は好都合なことに磁気材料から形成されて、磁気ヨークとして作用する。

10

【 0 0 0 8 】

複数の異なる設計のマグネトロンが図 1 に図示されている一般的設計の反応器に適用されてきた。T e p m a n は米国特許第 5 , 3 2 0 , 7 2 8 号において、平坦化されたソラ豆 (kidney) 形状を有するマグネトロンについて説明している。例えば、図 2 の平面図に図示されているように、ソラ豆状のマグネトロン 7 0 は、他方の磁気極性の内極 7 4 を囲む一方の磁気極性の外極 7 2 を含んでいる。2 つの極 7 2、7 4 は通常、極片として作用し、かつ複数の永久磁石によって下敷きにされている軟性磁気ステンレス鋼の連続バンドから形成される。ほぼ一定の幅のギャップ 7 6 は 2 つの極 7 2、7 4 を分離して、平坦化されたソラ豆状の周辺を有している。ギャップ 7 6 は、2 つの極 7 2、7 4 間の磁界がターゲット 2 8 のスパッタリング表面に隣接しておよそ水平である環状バンドを画成する。ソラ豆状のマグネトロン 7 0 はターゲット 2 8 と比べて比較的大きく、例えば、ターゲットの全使用面積の 2 5 % を上回る外極 7 4 の内側周辺内の包含面積、つまりマグネトロン 7 0 によって走査されることによってスパッタリングされる面積を有している。マグネトロン 7 0 の回転中心 1 4 は通常内極 7 4 の内部、またはこの付近にある。P a r k e r はソラ豆状マグネトロンの複数の変形例を米国特許第 5 , 2 4 2 , 5 6 6 号に図示している。

20

30

【 0 0 0 9 】

さらに最近では、自己イオン化プラズマ (S I P) スパッタリングプロセスが、全体が参照して本明細書に組み入れられる米国特許第 6 , 3 0 6 , 2 6 5 号において F u r a によって説明されているように、主に銅スパッタリングで使用するために開発された。S I P スパッタリングは高ターゲット電力、高ウェーハバイアス、および比較的小型の非均衡マグネトロンに左右される。高ターゲット電力および小型マグネトロンは、バイアスされたウェーハが狭いアスペクト比ホール内深くで加速および引き付ける、イオン化されるスパッタ原子のかなりの割合を生成する。通常の S I P マグネトロン 8 0 は図 3 の概略底面図に図示されているが、レーストラック状、円形、楕円形などの他の形状も可能である。S I P マグネトロン 8 0 は、中心軸 1 4 に沿った垂直磁気極性の略三角形の外極 8 2 を含んでいる。外極 8 2 の湾曲側 8 4 は概して、ターゲット 2 8 の隣接する外側周辺に続く。成形された外極 8 2 の頂点 8 6 は S I P マグネトロン 8 0 の回転中心 1 4 近くにある。通常、回転中心 1 4 は外極 8 2 内にあるか、湾曲側 8 4 に向かって外側に極めて近い。外極 8 2 は、外極 8 2 と反対の磁気極性を有し、かつほぼ一定のギャップ 9 0 で分離されている三角形の内極 8 8 を囲んでいる。2 つの極 8 2、8 8 間に生成され、かつ前方に水平に延びている磁界は、最小中心磁界フリーコア以外の図 1 の高密度プラズマ領域 5 6 を作成する。S I P マグネトロンは普通小型であり、ターゲットの使用面積の 2 0 % 未満の外極 8 4 の内側周辺内に包含面積を有している。

40

【 0 0 1 0 】

S I P マグネトロン 8 0 は、外極 8 2 の全磁気強度、つまり外極 8 2 の面積全体に集積

50

されている磁気フラックスが例えば少なくとも150%、好ましくは200%または300%の係数だけ内極82より実質的に大きいという意味では非均衡である。通常、非均衡は、内極および外極82、88として作用する2つの極片の下方に、例えばNdBF_eからなる、異なる数の、同様に構築されているが反対向きに配向されている円筒形永久磁石を置くことによって達成される。しかしながら、他の構造も提案されてきた。非均衡によって磁界の非均衡部分がマグネトロン50または80から図1のウェーハ24に投影され、これによってプラズマを延ばし、またイオン化スパッタ原子をウェーハ表面に直交させピアホール深くに案内し、とりわけロングスロー反応器に案内する。

【0011】

上記スパッタリング方法のいずれも、図4の断面図に図示され、下部誘電層106の導電性部材104を被覆する上部誘電層102によって形成される高アスペクト比ピアホール100にアルミニウムを充填するには不適切に思われる。高度な集積回路では、ホール100は、4以上の深さ対幅のアスペクト比を有することがある。通常TiまたはTiNあるいはこれらの組み合わせからなる薄いバリア層108が、アルミニウム層110がその上にスパッタコーティングされる前に、ピアホール100の側部にコーティングされる。好ましくは、バリア層108は、当業界で公知であるように、選択的スパッタリング条件または個別エッチングステップのいずれかによってピアホール100の底部から除去される。

【0012】

しかしながら、図3のTepmanマグネトロンおよび非バイアスウェーハを使用する従来のアルミニウムスパッタコーティングは、高アスペクト比ホールを充填するのに不適切な中性スパッタ原子の概して等方性のフラックスパターンを生成する。特に、オーバーハング112はピアホール100の上部角で展開する傾向があり、また側壁および底部のカバレッジは悪い。特に、オーバーハング112は、ホール100が充填される前にピアホール100を閉じることもあり、これによってアルミニウム充填に間隙を残すことになる。このような間隙はたいいてい、重大な信頼性の問題を除去および作成することが不可能である。

【0013】

オーバーハングの回避方法の1つは、スパッタリング中に300~500 またはこれ以上の温度にウェーハを加熱することによって、アルミニウムがピアホール100の底部に再流入することを含んでいる。しかしながら再流入は、アスペクト比が増大するピアホール100によってさらに効果的でなくなる。また、再流入したアルミニウムは、他の材料の未コーティング表面を濡らすことはない。結果として、アルミニウムは、このような狭いホールを充填するのに必要な平滑層を形成するのではなくピアホール100内に凝集する傾向がある。このような凝集を回避する方法の1つは、第1のスパッタ堆積ステップが比較的冷たいウェーハによって実行されてアルミニウムが酸化物の側壁に付着して薄い第1の層を形成し、また第2のスパッタ堆積がさらに高温で実行されて第1の層を流れてホールの残りの部分を充填するという2段階スパッタリングプロセスを含んでいる。しかしながら、Tepmanマグネトロンを使用する従来のアルミニウムスパッタ反応器によって実践されるこの技術は、第1の層を高アスペクト比ホールにコンフォーマルにコーティングするという問題を解決しない。

【0014】

SIPスパッタリングは通常アルミニウムスパッタリングには使用されない。オーバーハングを排除し、かつ側壁および底部のカバーを改良しやすいとしても、小型SIPマグネトロンは、誘電層102の上部表面上のアルミニウム層のブランケット部分114の厚さにかんがりの放射状不均一を作成すると思われる。ブランケット部分114は比較的に厚いため、この堆積時間は最小化され、この厚さはデバイスの信頼性のために均一にされる必要がある。SIPスパッタリングはこれらの目的には不十分と考えられる。

【0015】

従って、高アスペクト比ホールを均一に充填可能なアルミニウムスパッタリング堆積プ

10

20

30

40

50

ロセスが望まれる。最も好ましくは、このプロセスは平らなダイオードスパッタ反応器のみを使用する。

【発明の概要】

【0016】

本発明の広範な態様は、電氣的にバイアスされる基板上にアルミニウムをスパッタリングすることを含んでおり、該スパッタリングされたアルミニウム原子の実質的部分がイオン化される。該プロセスは好ましくは、低温、例えば150 未満または好ましくは100 未満に保持された基板で実行される。

【0017】

アルミニウムは、例えば狭いピアホールに2段階プロセスによってスパッタ堆積される。第1のシードステップにおいて、比較的厚いアルミニウムシード層が、比較的高い割合のイオン化スパッタアルミニウム原子を有するアルミニウムスパッタリングフラックスからスパッタ堆積され、また該基板は強くバイアスされて、これに該アルミニウムイオンを引き付けかつ加速する。該第1のステップ中、該基板温度は比較的低く保たれる。第2の充填ステップにおいて、水平メタライゼーションのためにホールを充填または過剰充填可能な第2の層が、より中性的なアルミニウムフラックスによって、比較的バイアスされていないウェーハによって、またピアホールへの再流入を促進する高温に保持されたウェーハ基板によってスパッタ堆積される。

【0018】

該第1のステップ時に、該基板バイアスは高い、例えば200 mmの円形ウェーハでは1~700 W、好ましくは100~500 W、より好ましくは250~300 Wに及ぶはずである。該基板温度は低い、例えば150 未満、好ましくは100 未満であるはずである。該第1のステップは、該バイアスが狭いホール内の深くまで該アルミニウム原子を引き込むように、イオン化率の高いスパッタリング済みアルミニウム原子を好むマグネトロンおよびチャンバ条件で実行されるはずである。該低温は誘電体側壁への接着を促進する。

【0019】

該後続の第2のステップ時に、該基板バイアスは比較的低い、例えば該第1のステップの電力レベルの10分の1であるはずであり、好ましくはペDESTAL電極が電氣的に浮遊しているままである。該第2のステップ時に、該基板は、該アルミニウムを該狭いホールに再流入させ、かつこれを充填させるように比較的高温に保たれるはずである。例えば、該基板やこれをサポートする該ペDESTALの温度は250 を上回るはずである。好ましくは該第2のステップのこの温度は550 未満、好ましくは450 未満、最も好ましくは400 未満であるはずである。350 の温度も再流入を効果的に促進する。

【0020】

両ステップは、ターゲットおよびバイアスの電力の適切な調整によって同一のスパッタ反応器で実行可能である。しかしながら、該2つのステップは、例えば共通の真空移送チャンバに接続されている2つの反応器で実行されることが好ましい。該第1の反応器は好ましくは基板冷却と、該ターゲット中心を中心に回転し、かつ高ターゲット電力と組み合わせ高イオン化率を生成する小型非均衡マグネトロンとを含んでいる。該第2の反応器は好ましくは基板加熱と、均衡化可能な大型マグネトロンとを含んでいる。該大型マグネトロンはまた該ウェーハ中心を中心に回転されてもよい。該第2の反応器の配列は、中性であるが放射状により均一なアルミニウムフラックスを生成するために使用されてもよい。

【0021】

該上部平面で測定された該充填層に対する該シード層のブランケット厚は、該充填層未満、好ましくはこの半分以下であるべきである。しかしながら、少なくとも該充填厚の4分の1のブランケット厚を有するシード層は商業的には効果的であることが分かっている。

【好ましい実施形態の詳細な説明】

【 0 0 2 2 】

図 5 のアルミニウムメタライゼーション構造の断面図で図示されている本発明の一態様では、アルミニウムスパッタ充填プロセスが、薄いアルミニウムシード層 1 2 0 のスパッタ堆積と、厚いアルミニウム充填層 1 2 2 の後続のスパッタ堆積とに分割される。著しく異なる特徴を有する、これら 2 つの異なる層 1 2 0、1 2 2 の堆積は、2 つのステップ間の、スパッタリング条件の著しい変化によって達成される。

【 0 0 2 3 】

本発明の広範な態様は、例えば、薄いほぼコンフォーマルなシード層 1 2 0 を狭いホールの深くに形成するためにアルミニウムを堆積するための冷たいバイアススパッタ堆積プロセスを含んでいるのに対して、ウェーハ 2 4 はホール内深くにイオン化アルミニウムスパッタ原子を引き込むように負バイアスされており、またウェーハ 2 4 は比較的低温に維持されることによってアルミニウムスパッタ原子はホール側壁上のバリア層 1 0 8 に付着する。

10

【 0 0 2 4 】

冷たいバイアスアルミニウムスパッタプロセスは、2 段階アルミニウムスパッタ堆積プロセスの第 1 のステップを形成可能である。図 6 のプロセス図に図示されているように、第 1 の冷たいシードステップ 1 3 0 は、実質的な割合のイオン化アルミニウムスパッタ原子を生成するスパッタプロセスで薄いアルミニウムシード層をスパッタ堆積する。

【 0 0 2 5 】

ステップ 1 3 0 において、スパッタ反応器は、比較的高い割合のイオン化アルミニウムスパッタイオンを生成するように動作され、またウェーハがバイアスされて、アルミニウムイオンはピアホール内深くに引き込まれて、底部および側壁のカバレッジを増大させる。強力なウェーハバイアスはさらに、暴露形状ゆえにピアホールの上部の角に暴露されたアルミニウムのアルミニウムイオンまたはイオン化アルゴンスパッタリングのいずれかによって選択的エッチングを促進する。角選択率はオーバーハングの形成を低減する。バイアスはまた、暴露された上部平面部分をエッチングする傾向があり、これによってピアホール内の側壁カバレッジに対するブランケット堆積レートを低減する。ペデスタルは好都合なことに、2 0 0 m m の円形ウェーハに正規化されている面積当たり 1 W ~ 7 0 0 W の範囲の R F 電力で電氣的にバイアスされる。しかしながら、好ましいバイアス電力範囲は 1 0 0 ~ 5 0 0 W であり、より好ましい範囲は 1 0 0 W ~ 3 0 0 W である。

20

30

【 0 0 2 6 】

さらに、ウェーハは第 1 のステップ 1 3 0 中に比較的冷たく保たれるため、シードアルミニウムは、これが衝突する表面に付着しやすい。一般的に、室温付近のスパッタリングが効果的である。約 - 4 0 °C に至るペデスタル温度が使用されることもある。温度は 1 5 0 °C 未満、好ましくは 1 0 0 °C 未満に保たれるべきである。

【 0 0 2 7 】

第 1 の冷たいシードステップで必要とされる高イオン化率を達成するのに使用可能な複数の技術がある。しかしながら、効果的かつ費用効果の高いプロセスは、小型の非均衡マグネトロン、例えば図 2 の S I P マグネトロン 8 0 と関連した図 1 の平らなダイオード反応器 1 0 を使用して、ターゲット 2 8 に印加される比較的高レベルの D C 電力と関連して達成される。小型サイズのマグネトロン 8 0 はターゲット電力を小面積に集中させることによって、プラズマの密度を増大させる。アルミニウムターゲットの自己イオン化プラズマスパッタリングがいくつかあり、また低減圧力はアルミニウムイオンの分散および中性化を減少させるため、高密度のプラズマによってチャンバ圧力は低減される。プラズマをサポートするのに誘導コイルは必要とされない。ターゲット 2 8 とペデスタル 2 2 間の距離は、プラズマ領域 5 6 のサイズを収容するように増大されてもよい。つまり、反応器はロングスローであることを特徴としてもよい。ペデスタル加熱は通常必要とされないためペデスタル加熱要素 4 0、4 2 は排除されてもよいが、むしろペデスタル冷却は通常必要とされる。

40

【 0 0 2 8 】

50

これらの条件に従って堆積されたアルミニウムシード層 120 の通常のブランケット厚は、上部平面で測定されるように約 200 nm である。この比較的厚い層は、引き続き堆積される温かいアルミニウムをシードするのに適切な実質的な底部カバレッジおよび側壁カバレッジを提供する。

【0029】

高イオン化率を生成するための他のスパッタリング技術も使用可能である。さらなる RF 電力が、しばしばイオン金属めっき (IMP) と称されるプロセスにおいてチャンバに巻かれている誘導コイルによってプラズマ源領域に結合可能である。しかしながら、IMP は概して高アルゴン圧力を必要とし、これは冷たい第 1 のステップの必要性とは反対の熱いプロセスを生成する。より複雑に成形されたターゲットが、低チャンバ圧力で高イオン化圧力を生成するために使用されてきた。例えば、ターゲットは、中空陰極マグネトロンと称される技術で直円柱の形態でウェーハに面する丸天井を有することもあり、あるいはこの丸天井は、自己イオン化プラズマプラス (SIP+) と称される技術で環状リングを形成することもある。成形アルミニウムターゲットを具備するこのようなスパッタ反応器は冷たい第 1 のステップに優れた結果を提供すると予想されるが、このような成形ターゲットは、とりわけここで想定されている比較的厚いシード層に照らして高価である。反対に、図 1 の平らなターゲット 28 は従来の形状を有しており、また合理的なコストで容易に使用可能である。小型 SIP マグネトロンの使用はコストおよび複雑さをほとんど導入せず、またこれによって他の概して従来の反応器は、必要レベルのイオン化アルミニウムをスパッタリング可能な SIP 反応器を形成する。

【0030】

図 6 の第 2 の温かい充填ステップ 132 は、厚いアルミニウム充填層 122 をスパッタ堆積する。アルミニウムイオン化およびウェーハバイアスは第 2 のステップ 132 では重要ではないため、スパッタプロセスはアルミニウムスパッタ原子のほぼ中性のフラックスを生成することもある。一部の DC 自己バイアスが依然として展開可能であるが、ウェーハは未バイアスのままあるいは電氣的に浮遊しているままである場合がある。結果として、スパッタアルミニウムは、例えば中性スパッタリングに典型的なコサイン分布を有するさらなるより近い等方性分布を想定している。大きなプラズマ領域がない場合、ターゲット 28 とペDESTAL 22 間の距離は、第 1 のステップ 130 で使用されるチャンバのものより低減されることもある。結果として、深いピアホール内部のカバレッジが低減されたとしても、ウェーハ全体のスパッタリング均一性は概してとても良好である。第 2 のステップの実質的に未バイアスのペDESTAL 電極は、第 1 のステップで印加される電力の 10 % 未満が印加されるものを含むことが理解される。加えて、ウェーハは第 2 のステップ 132 中温かい温度に保持されるため、アルミニウムは、アルミニウムシード層全体のピアホールに再流入し、ホールを充填する傾向がある。連続アルミニウムシード層の存在は再流入を促進するため、ウェーハ温度は比較的低温、例えば 550 °C 未満、より好ましくは 450 °C 未満、最も好ましくは 400 °C 未満に保たれることが可能である。250 °C と低い温度でも第 2 のステップ中のアルミニウム再流入を促進する。反対に、標準的な 1 段階再流入温度はしばしば 600 °C または 625 °C を超える。高度な集積回路の処理はサーマルバジェットの低減を必要とするため、長期間の温度上昇は回避されるべきである。

【0031】

図 1 のスイッチ 138 をトグルして RF 電源 34 をペDESTAL 22 から接続解除することによって、あるいはペDESTAL 22 に送出される RF 電力量を低減することによって、第 2 のスパッタ堆積ステップ 132 に同じ SIP 反応器を使用することも可能である。イオン化率は、ターゲット 28 に供給される DC 電力を低減することによって低減可能である。しかしながら、この解決策は最適であるとはみなされない。小型 SIP マグネトロンは、とりわけショートスロースパッタ反応器において所望の均一性を生成せず、また低減されたターゲット電力でのスパッタリング速度は非常に低いと感じられる。また、ペDESTAL は、第 2 の温かいステップ 132 が効果的に開始可能になる前に、第 1 の冷たいステップ 130 から加熱する必要がある。

【 0 0 3 2 】

その代わり、多数の商業的用途において、第1のS I Pスパッタ反応器に加えて、図2のT e p m a nマグネトロン70などのより大型かつより均衡のとれたマグネトロンと関連して、図2の反応器10の一般的構成の第2のスパッタ反応器を使用することは概して好ましい。第2の反応器はウェーハペDESTALをバイアスするのにR F電源を必要とせず、またこれはペDESTALヒーター40、42を優先してペDESTAL冷却器44を省略してもよい。電氣的に浮遊しているペDESTALは一部の負D Cバイアスを展開することが理解される。これらの条件に従って堆積されたアルミニウム充填層122の通常のブランケット厚は、上部平面で測定されるように約500nmである。温かい条件下でのこの厚さはホールを充填し、また十分なブランケット厚を提供して、誘電層102上のアルミニウムを水平接続でパターンニングされるようにする。充填層のブランケット厚は好ましくはシード層よりも大きいはずであり、好ましくは少なくともこの厚さの2倍である。

10

【 0 0 3 3 】

結果として、2つの異なるタイプの平らなマグネトロンスパッタ反応器がアルミニウムを充填するのに使用されることが好ましく、考えうる相違点としては、一方は小型非均衡マグネトロンであり、もう一方はより大型かつ均衡のとれたマグネトロンである。このようなプロセス用の集積プラットフォーム140が図7の平面図に概略的に図示されている。これは、E n d u r aシステムとしてカリフォルニア州、サンタクララのA p p l i e d M a t e r i a l s , I n c . から市販されている。これは、チャンバ周辺に配列されている種々のステーション間にウェーハを移動させるためのそれぞれ第1および第2のロボット146、148をその中に含有する第1および第2の移送チャンバ142、144を含んでいる。

20

【 0 0 3 4 】

第1の移送チャンバ142は、適度に低い圧力、例えば約1ミリトールに真空ポンピングされるのに対して、第2の移送チャンバ144はかなり低い圧力、例えば1マイクロトールにポンピングされる。第1のロボットは、スリットバルブによって第1の移送チャンバ146から、かつウェーハ含有カセットがロードおよびアンロードされる真空ドアによって外部から選択的に隔離されているロードロックチャンバ150、152にロードされているカセットに対して、ウェーハをシステムに移動させる。より複雑なローディング配列が使用可能である。種々の処理チャンバ154、156、158、160は第1の移送チャンバ142の周辺に配列されており、アクティブ処理がチャンバでなされる場合には、それぞれのスリットバルブがこれらの間に配置される。プラットフォームがスパッタリング専用である場合、第1の移送チャンバ142周辺のチャンバは通常、脱ガス化、配向および事前クリーニングなどのスパッタリング以外の異なるタイプの事前処理を実行する。エッチングおよび、エッチング済み構造への後続のスパッタリング堆積の両方を同一プラットフォームで実行することが代替的に可能である。この場合、プラズマエッチング反応器およびプラズマアッシャーは、パターン化フォトマスクによって誘電体をエッチングしてからこのマスクを除去するために、第1の移送チャンバ142に結合されてもよい。

30

【 0 0 3 5 】

ロボット146、148は、2つの移送チャンバ146、148間の真空隔離を提供する二重ゲート通過チャンバ162、164によって2つの移送チャンバ142、144間にウェーハを移動させる。一部の構成では、ウェーハが一時的に通過チャンバ162、164のうちの一方に存在する間に事前クリーニング、冷却または他の動作が実行されてもよい。

40

【 0 0 3 6 】

第2の移送チャンバ144は通常、層間の堆積膜を酸化しないようにして汚染を少なくするように、スパッタ堆積、および高真空を必要とする他の動作専用である。第2の移送チャンバ144と関連した全てのスパッタ反応器はそれぞれのスリットバルブによってこれから分離される。本発明の一実践では、バリアスパッタ反応器166はバリア層を堆積する。アルミニウムメタライゼーションについて、バリア層は通常T iまたはT i Nや、

50

2つの材料の二層から構成される。TiまたはTiNは、チタンターゲットが嵌合され、かつ図1の反応器10の構成を概して有しているバリアスパッタ反応器166で堆積可能である。窒化チタンの堆積が望まれる場合、チタンターゲットがスパッタリング中に窒素がバリアスパッタ反応器166に許容される。通常耐熱金属やこの窒化物、例えばTa、Ta₂N₅、W、WNおよびこれらのシリサイドから構成される他の公知のバリア材料が、耐熱金属のターゲットが嵌合されているバリアスパッタ反応器166に堆積されてもよい。

【0037】

アルミニウムシードスパッタ反応器168もまた第2の移送チャンバ144に結合されている。上述のように、シードスパッタ反応器168は、アルミニウムターゲットから冷たいバイアスウェーハ上にアルミニウムをスパッタ堆積することができる。小型の入れ子状マグネトロンによって可能にされるように、スパッタアルミニウム原子の大部分がイオン化される。非均衡マグネトロンはさらに、スパッタイオンをウェーハに案内する際に効果的である。

【0038】

第1のアルミニウム充填スパッタ反応器170および好都合なことには第2のアルミニウム充填スパッタ反応器172もまた第2の移送チャンバ144に結合されている。2つの充填スパッタ反応器170、172は同じ設計であり、また同一に操作されてもよい。充填堆積は通常バリア堆積およびシード堆積よりも時間がかかるため、複製が有用である。結果として、単一バリア反応器166および単一シード反応器168が交互に2つの充填反応器170、172を供給することがある。上述のように、アルミニウム充填スパッタ反応器170、172の各々がアルミニウムターゲットを有しており、また加熱ウェーハ上にアルミニウムをスパッタ堆積することができる。充填堆積用のウェーハはバイアスされる必要がなく、またイオン化率は低くてもよい。従って、大型の均衡マグネトロンが均一な堆積を促進するために使用されてもよい。

【0039】

第2のロボット148は、通過チャンバ162、164のうち的一方から最初にバリアスパッタ反応器166に、次にアルミニウムシード反応器168に、次いでアルミニウム充填反応器170、172のうち的一方にウェーハ移送を実行して、そして最終的にウェーハを、好ましくは通過チャンバ162、164のうちのもう一方に戻す。

【0040】

すべてのスパッタリング動作に関係する移送チャンバ内の圧力が1マイクロトル未満に維持され、あるいは一列のシステムが直列接続されたスパッタ反応器間の一方方向経路でウェーハを搬送する他の集積スパッタリングプラットフォームが使用可能である。

【0041】

本発明は従って、現在使用可能な技術と矛盾しない、アルミニウムを狭いホールに充填するための経済的かつ効果的な方法を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】汎用スパッタリング反応器の概略断面図である。

【図2】従来の大型均衡マグネトロンの底面図である。

【図3】従来の小型非均衡マグネトロンの底面図である。

【図4】従来技術に従ってアルミニウムで充填されたピアホールの断面図である。

【図5】本発明の一実施形態に従った2段階スパッタリング動作で充填されたピアホールの断面図である。

【図6】本発明の一実施形態に従ったアルミニウム充填プロセスのフロー図である。

【図7】異なる設計の複数のアルミニウムスパッタリング反応器を含む集積プラットフォームの概略平面図である。

【符号の説明】

【0043】

10 ... DCマグネトロンスパッタ反応器、12 ... 真空チャンバ、14 ... 中心軸、18 ... ガ

10

20

30

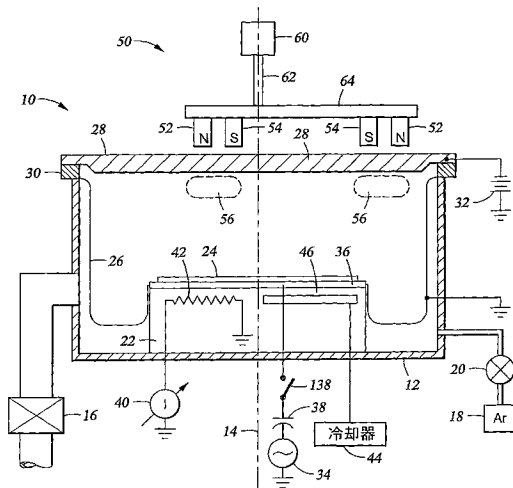
40

50

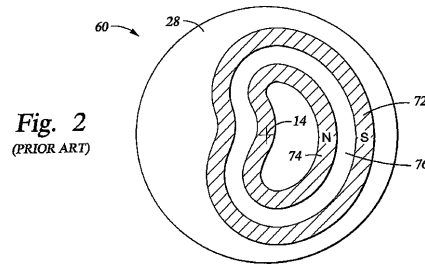
10 ... 質量流コントローラ、22 ... ペDESTAL、24 ... ウェーハ、26 ... シールド、
 28 ... ターゲット、30 ... アイソレータ、32 ... DC電源、34 ... RF電源、38 ...
 容量結合回路、40 ... 電源、44 ... 冷却器、50 ... マグネトロン、52、54 ... 磁極、60 ...
 モーター、62 ... シャフト、64 ... プラズマ、70 ... マグネトロン、72、74 ... 極、
 76 ... ギャップ、80 ... SIPマグネトロン、82 ... 極、84 ... 湾曲側、86 ... 頂点、
 88 ... 極、90 ... ギャップ、100 ... ビアホール、102 ... 上部誘電層、104 ... 導電性
 部材、106 ... 下部誘電層、108 ... バリア層、110 ... ビアホール、112 ... オーバー
 ハング、114 ... プランケット部分、122 ... アルミニウム充填層、130 ... 第1の堆積
 ステップ、132 ... 第2のスパッタ堆積ステップ、138 ... スイッチ、140 ... 集積プラ
 ットフォーム、142 ... 第1の移送チャンバ、144 ... 第2の移送チャンバ、146 ... 第
 1のロボット、148 ... 第2のロボット150、152 ... ロードロックチャンバ、154
 、156、158、160 ... 処理チャンバ、162、164 ... 通過チャンバ、166 ... バ
 リアスパッタ反応器、168 ... シードスパッタ反応器、170 ... 第1のアルミニウム充填
 スパッタ反応器、172 ... 第2のアルミニウム充填スパッタ反応器

10

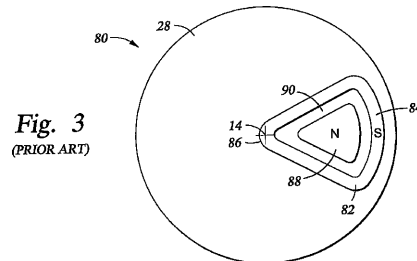
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

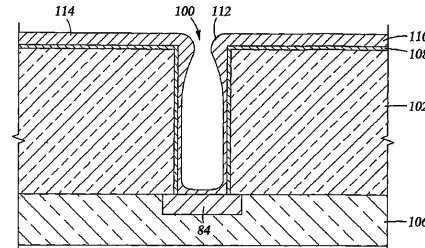


Fig. 4
(PRIOR ART)

【図 5】

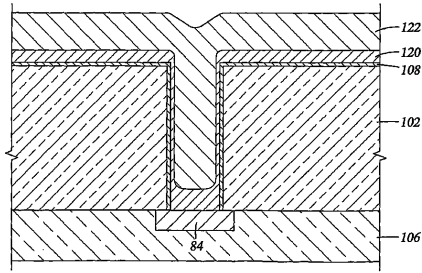
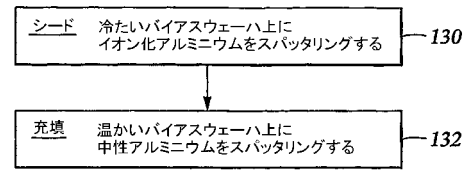
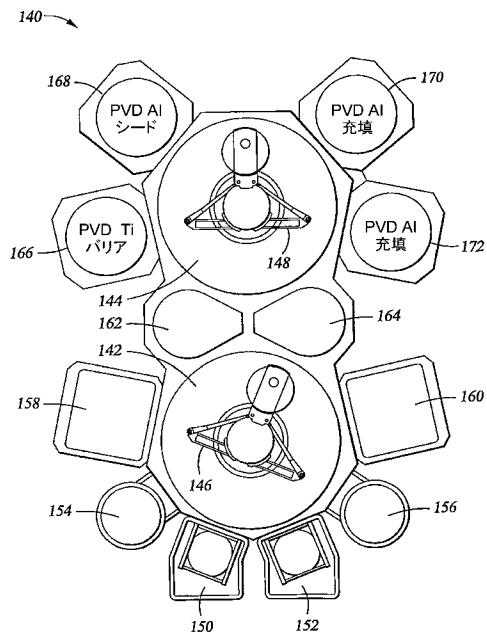


Fig. 5

【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 リー, ウェイ, ティ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ホゼ, ルピノ サークル 2841
- (72)発明者 グオ, テッド
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, パロ アルト, ナンバー37, サン アントニオ
ロード 777
- (72)発明者 ヨ, サン - ホ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, クーパチーノ, パーム スプリング コート 116
76

審査官 田中 則充

(56)参考文献 特開平08-264487(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 14/00-14/58

H01L 21/28

H01L 21/285