

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-21527

(P2010-21527A)

(43) 公開日 平成22年1月28日 (2010.1.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/316 (2006.01)	H O 1 L 21/316 P	4 M 1 0 4
H O 1 L 21/8247 (2006.01)	H O 1 L 29/78 3 7 1	5 F 0 4 5
H O 1 L 29/788 (2006.01)	H O 1 L 27/10 4 3 4	5 F 0 5 8
H O 1 L 29/792 (2006.01)	H O 1 L 21/28 E	5 F 0 8 3
H O 1 L 27/115 (2006.01)	H O 1 L 29/58 G	5 F 1 0 1
審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 21 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2009-104139 (P2009-104139)	(71) 出願人	000001122
(22) 出願日	平成21年4月22日 (2009. 4. 22)		株式会社日立国際電気
(31) 優先権主張番号	特願2008-155488 (P2008-155488)		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(32) 優先日	平成20年6月13日 (2008. 6. 13)	(74) 代理人	100090136
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 油井 透
		(74) 代理人	100091362
			弁理士 阿仁屋 節雄
		(74) 代理人	100105256
			弁理士 清野 仁
		(74) 代理人	100145872
			弁理士 福岡 昌浩
		(72) 発明者	寺崎 正
			富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株
			式会社日立国際電気内
		最終頁に続く	

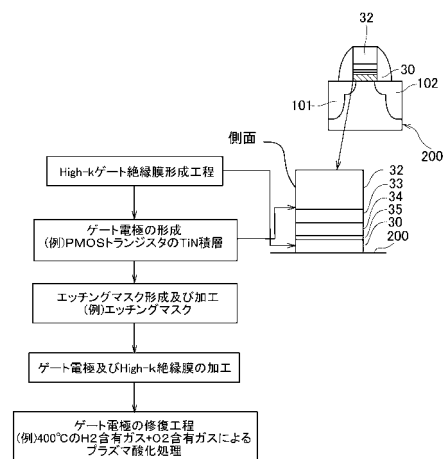
(54) 【発明の名称】 半導体デバイスの製造方法及び基板処理装置

(57) 【要約】

【課題】金属製のゲート電極（メタル電極）のダメージを熱酸化により修復する際の高誘電率ゲート絶縁膜の結晶化を抑制する。

【解決手段】エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板を処理室内に搬入する工程と、処理室内で、基板を高誘電率ゲート絶縁膜が結晶化しない温度に加熱した状態で、基板に対してプラズマで励起した水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す工程と、処理後の基板を処理室内から搬出する工程と、を有する。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板を処理室内に搬入する工程と、

前記処理室内で、前記基板を前記高誘電率ゲート絶縁膜が結晶化しない温度に加熱した状態で、前記基板に対してプラズマで励起した水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す工程と、

処理後の前記基板を前記処理室内から搬出する工程と、
を有する半導体デバイスの製造方法。

【請求項 2】

前記高誘電率ゲート絶縁膜がハフニアであり、前記温度は 25 以上 400 未満である

請求項 1 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 3】

前記高誘電率ゲート絶縁膜がハフニウムシリケートであり、前記温度が 600 未満である

請求項 1 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 4】

前記水素含有ガス中の水素成分の流量が、前記酸素含有ガスの酸素成分の流量に対して 65% 以下である

請求項 1 から 3 のいずれかに記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 5】

エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板が搬入される処理室と、

前記処理室内に搬入された前記基板を加熱する加熱部と、

前記処理室内に水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給するガス供給系と、

前記処理室内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、

前記加熱部、前記ガス供給系、及び前記プラズマ生成部を制御する制御部と、を備え、
前記制御部は、

前記加熱部により前記基板を前記高誘電率ゲート絶縁膜が結晶化しない温度に加熱させ、前記ガス供給系により前記処理室内に前記酸素含有ガスと前記酸素含有ガスとを供給させ、前記プラズマ生成部により前記処理室内にプラズマを生成させて、前記基板に対してプラズマで励起した前記水素含有ガスと前記酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す
基板処理装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板を処理する半導体デバイスの製造方法、及び基板処理装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、半導体デバイスの高集積化高速化に伴い、トランジスタの微細化、薄膜化が進められている。この微細化によりゲート絶縁膜の薄膜化が進むと、これまでゲート絶縁膜として使われてきた酸化シリコン膜（ SiO_2 膜）では、トンネル電流等によるゲート電極のリーク電流が増大してしまう。特に、ゲート絶縁膜は、キャパシタ絶縁膜と違って、リーク電流が増大すると絶縁膜として機能しなくなるため、リーク電流を抑制する必要がある。また、ゲート電極は、電気抵抗値を小さくして導電性を高め、動作特性を高速化させる必要がある。このため、ゲート絶縁膜を高誘電率材料で形成し、ゲート電極を金属で形成する半導体デバイスの検討が進められている。以下、高誘電率材料で形成されたゲート絶縁膜を高誘電率（以下、High-k ともいう）ゲート絶縁膜と呼び、金属で形成され

10

20

30

40

50

たゲート電極をメタル電極と呼ぶ。

【 0 0 0 3 】

図 9 に、M O S トランジスタのプロセスフローの主要な工程と代表的な処理内容を示す。M O S トランジスタを製造するには、まず、シリコン基板上に H f O や H f S i O といった高誘電率材料でゲート絶縁膜を形成する（ゲート絶縁膜形成工程）。次に、ゲート絶縁膜上に、従来のポリシリコンに代えて、タングステン（W）、ルテニウム（R u）、窒化チタン（T i N）、タンタル（T a）、モリブデン（M o）等の金属材料でゲート電極を形成する（ゲート電極形成工程）。続いて、エッチングマスクの形成及び加工を経て、ドライエッチングによりゲート電極及びゲート絶縁膜の加工を行う（エッチング工程）。この後、エッチングによって生じたゲート電極のエッチングダメージ、すなわち、加工面の物理的な荒れを、熱酸化によって修復する（ゲート電極の修復工程）。修復工程が終了したら、シリコン基板表面にイオン打ち込み（インブラ）を施して、ソース、ドレインを形成する。続いて、アニール処理により、ドーパント（チャネル、ソース、ドレインヘインプラされたリン（P）、ヒ素（A s）、ホウ素（B）等）の活性化を行う。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかし、ゲート電極を金属で形成すると、ドライエッチングの修復工程の際に、ゲート電極が過度に酸化されてしまい、酸化によって抵抗値が増加してしまうことがある。ゲート電極の過度の酸化を抑制する方法として、シリコン基板の温度を 8 5 0 以上の所定の温度としつつ、処理雰囲気酸素ガスと水素ガスとを含む混合ガスとし、水素還元を行いつつゲート電極を酸化させる方法も考えられる。しかしながら、ハフニア（H f O）、ハフニウムシリケート（H f S i O_x、以下 H f S i Oともいう）、窒化ハフニウムシリケート（H f S i O N）、酸化アルミニウム（A l O_x）等の高誘電率材料は、例えば 4 0 0 ~ 1 0 0 0 程度の熱履歴によって結晶化してしまうことがある。従って、上述のようにシリコン基板を 8 5 0 以上に加熱すると、高誘電率材料で形成された H i g h - k ゲート絶縁膜が多結晶構造となってしまうことがある。多結晶構造となった H i g h - k ゲート絶縁膜には結晶粒界が存在するため、ゲート電極に電圧を印加したときに結晶粒界の欠陥を通じて電流が流れてしまい、リーク電流が増大してしまうことがある。

20

【 0 0 0 5 】

そこで本発明は、メタル電極、すなわち金属で形成されたゲート電極のエッチングダメージを修復する際に、H i g h - k ゲート絶縁膜の結晶化を抑制し、リーク電流を低減させることが可能な半導体デバイスの製造方法及び基板処理装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一態様によれば、エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板を処理室内に搬入する工程と、前記処理室内で、前記基板を前記高誘電率ゲート絶縁膜が結晶化しない温度に加熱した状態で、前記基板に対してプラズマで励起した水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す工程と、処理後の前記基板を前記処理室内から搬出する工程と、を有する半導体デバイスの製造方法が提供される。

40

【 0 0 0 7 】

本発明の他の態様によれば、エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板が搬入される処理室と、前記処理室内に搬入された前記基板を加熱する加熱部と、前記処理室内に水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給するガス供給系と、前記処理室内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、前記加熱部、前記ガス供給系、及び前記プラズマ生成部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記加熱部により前記基板を前記高誘電率ゲート絶縁膜が結晶化しない温度に加熱させ、前記ガス供給系により前記処理室内に前記酸素含有ガスと前記酸素含有ガスとを供給させ、前記プラズマ

50

生成部により前記処理室内にプラズマを生成させて、前記基板に対してプラズマで励起した前記水素含有ガスと前記酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す基板処理装置が提供される。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、メタル電極のエッチングダメージを修復する際に、High-kゲート絶縁膜の結晶化を抑制し、リーク電流を低減させることが可能な半導体デバイスの製造方法及び基板処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る基板処理装置であるMMT装置の概略構成図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る半導体デバイスであるMOSトランジスタの断面構造及びその製造工程を示す解説図である。

【図3】水素ガスに対する酸素ガスの流量比と、TiNからなるゲート電極のシート抵抗値との関係を示すグラフ図である。

【図4】処理温度を変化させた場合における、水素ガスに対する酸素ガスの流量比と、TiNからなるゲート電極のシート抵抗値との関係を示すグラフ図である。

【図5】ゲート電極の修復条件を示す表図である。

【図6】ゲート電極の修復工程におけるプロセスガスの供給、停止タイミング、プラズマ処理の開始、停止タイミングを示す図である。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る基板処理装置であるICP方式プラズマ処理装置を示す概略構成図である。

【図8】本発明の第3の実施形態に係る基板処理装置であるECR方式プラズマ処理装置を示す概略構成図である。

【図9】MOSトランジスタの従来のプロセスフローの主要な工程と代表的な処理内容を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

< 本発明の第1の実施形態 >

(1) 基板処理装置の構成

以下に、本発明の第1の実施形態に係る基板処理装置の構成について、図1を参照しながら説明する。

【0011】

なお、本実施形態に係る基板処理装置は、電界と磁界とにより高密度プラズマを生成できる変形マグネトロン型プラズマ源(Modified Magnetron Type Plasma Source)を備えている。変形マグネトロン型プラズマ源は、放電用電極に高周波電力を供給して電界を形成するとともに磁界を形成することで、マグネトロン放電を起こすように構成されている。放電用電極から放出された電子がドリフトしながらサイクロイド運動を続けて周回することにより電離生成率が高まり、長寿命の高密度プラズマを生成される。変形マグネトロン型プラズマ源を備えた基板処理装置を、以下、MMT装置とも称する。MMT装置は、反応ガスを励起分解させて基板表面を酸化または窒化等の拡散処理、または基板表面に薄膜を形成する、または基板表面をエッチングする、酸化ガスを供給して修復する、還元ガスを供給して酸化を抑制する等、基板へ各種のプラズマ処理を施すように構成されている。

【0012】

(処理容器)

MMT装置は、処理容器203を備えている。処理容器203は、第1の容器であるドーム型の上側容器210と、第2の容器である碗型の下側容器211とを備えている。上側容器210は、下側容器211の上に被せられている。上側容器210は、酸化アルミ

10

20

30

40

50

ニウム又は石英等の非金属材料で形成されている。下側容器 2 1 1 は、アルミニウムで形成されている。処理容器 2 0 3 内には、エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板としてのウエハ 2 0 0 が搬入される処理室 2 0 1 が形成されている。なお、上側容器 2 1 0 を非金属材料で形成することによって、基板処理の際におけるウエハ 2 0 0 の金属汚染を抑制できる。

【 0 0 1 3 】

(ガス供給系)

処理室 2 0 1 の上部には、ガス供給部としてのシャワーヘッド 2 3 6 が設けられている。シャワーヘッド 2 3 6 は、キャップ状の蓋体 2 3 3 と、ガス供給口 2 3 4 と、バッファ室 2 3 7 と、開口 2 3 8 と、遮蔽プレート 2 4 0 と、ガス吹出口 2 3 9 とを備えている。バッファ室 2 3 7 は、ガス供給口 2 3 4 より供給されたガスを分散する分散空間として構成されている。

10

【 0 0 1 4 】

ガス供給口 2 3 4 には、水素含有ガス、酸素含有ガス、及び水素含有ガスと酸素含有ガスとの混合ガスであるプロセスガス 2 3 0 を供給することのできるガス供給管 2 3 2 の下流端が接続されている。ガス供給管 2 3 2 の上流端は、開閉弁であるバルブ 2 4 3 a 及び流量制御器 (流量制御部) であるマスフローコントローラ 2 4 1 を介して、プロセスガス 2 3 0 の供給源であるガスボンベ (図示せず) に接続されている。ガス供給管 2 3 2 から供給されるガスは、シャワーヘッド 2 3 6 を介して処理室 2 0 1 内に供給されるように構成されている。主に、シャワーヘッド 2 3 6、ガス供給口 2 3 4、ガス供給管 2 3 2、バルブ 2 4 3 a、マスフローコントローラ 2 4 1、ガス供給源 (図示せず) により、処理室 2 0 1 内に水素含有ガスと酸素含有ガスとの混合ガスであるプロセスガス 2 3 0 を供給するガス供給系が構成されている。

20

【 0 0 1 5 】

(ガス排気系)

処理室 2 0 1 の下方側壁には、処理室 2 0 1 内の雰囲気ガスを排気するガス排気口 2 3 5 が設けられている。処理室 2 0 1 内に供給されたプロセスガス 2 3 0 は、処理室 2 0 1 の底方向へ流れ、ガス排気口 2 3 5 から排気される。ガス排気口 2 3 5 には、ガス排気管 2 3 1 の上流端が接続されている。ガス排気管 2 3 1 には、上流側から順に、圧力調整器である A P C 2 4 2、開閉弁であるバルブ 2 4 3 b、排気装置である真空ポンプ 2 4 6 が設けられている。主に、ガス排気口 2 3 5、ガス排気管 2 3 1、A P C 2 4 2、バルブ 2 4 3 b、真空ポンプ 2 4 6 により、処理室 2 0 1 内の雰囲気ガスを排気するガス排気系が構成されている。

30

【 0 0 1 6 】

(プラズマ生成部)

処理容器 2 0 3 の外周には、処理室 2 0 1 内のプラズマ生成領域 2 2 4 を取り囲むように、第 1 の電極である筒状電極 2 1 5 が設けられている。筒状電極 2 1 5 は、処理室 2 0 1 内にプラズマを生成させ、処理室 2 0 1 内に供給されるプロセスガス 2 3 0 を励起させる放電機構 (放電部) として機能する。筒状電極 2 1 5 は、筒状、例えば円筒状に形成されている。筒状電極 2 1 5 には、高周波電力を印加する高周波電源 2 7 3 が、インピーダンスの整合を行う整合器 2 7 2 を介して接続されている。

40

【 0 0 1 7 】

また、処理容器 2 0 3 (上側容器 2 1 0) の外周には、処理室 2 0 1 内のプラズマ生成領域 2 2 4 を取り囲むように、磁界形成機構 (磁界形成部) である上下一対の筒状磁石 2 1 6 が設けられている。筒状磁石 2 1 6 は、筒状、例えば円筒状に形成された永久磁石として構成されている。上下一対の筒状磁石 2 1 6 は、筒状電極 2 1 5 の外周側の上下端近傍にそれぞれ配置される。上下一対の筒状磁石 2 1 6、2 1 6 は、処理室 2 0 1 の半径方向に沿った両端 (内周端と外周端) に磁極を持ち、上下一対の筒状磁石 2 1 6、2 1 6 の磁極の向きが逆向きになるように設定されている。従って、内周部の磁極同士が異極となっている。これにより、筒状電極 2 1 5 の内周面に沿って円筒軸方向に磁力線が形成され

50

るように構成されている。

【0018】

主に、筒状電極 215、上下一対の筒状磁石 216、高周波電源 273、整合器 272、により、処理室 201 内にプラズマを生成するプラズマ生成部が構成されている。なお、筒状電極 215 及び筒状磁石 216 の周囲には、この筒状電極 215 及び筒状磁石 216 で形成される電界や磁界を外部環境や他処理炉等の装置に悪影響を及ぼさないように、電界や磁界を有効に遮蔽する遮蔽板 223 が設けられている。

【0019】

(サセプタ)

処理室 201 内の底側中央には、ウエハ 200 を保持する基板保持具（基板保持部）としてのサセプタ 217 が配置されている。サセプタ 217 は、例えば窒化アルミニウムやセラミックス、又は石英等の非金属材料で形成され、内部に加熱機構（加熱部）としてのヒータ 217b が一体的に埋め込まれており、ウエハ 200 を加熱できるようになっている。ヒータ 217b は電力が印加されてウエハ 200 を 1000 程度にまで加熱できるようになっている。サセプタ 217 を、窒化アルミニウムやセラミックス又は石英等の非金属材料で構成することによって、基板処理の際におけるウエハ 200 の金属汚染が抑制される。

【0020】

また、サセプタ 217 の内部には、インピーダンスを変化させる電極である第 2 の電極（図示しない）が設けられている。この第 2 の電極は、インピーダンス可変機構 274 を介して接地されている。インピーダンス可変機構 274 は、コイルや可変コンデンサ等から構成され、コイルのパターン数や可変コンデンサの容量値等を制御することによって、上記第 2 の電極（図示しない）及びサセプタ 217 を介してウエハ 200 の電位を制御できるようになっている。

【0021】

サセプタ 217 は、下側容器 211 とは電氣的に絶縁されている。サセプタ 217 は、サセプタ昇降機構（昇降部）268 により下方から支持され、昇降自在に構成されている。サセプタ 217 の少なくとも 3 箇所には、貫通孔 217a が設けられている。処理室 201 床面（下側容器 211 底面）には、ウエハ 200 を突上げるためのウエハ突上げピン 266 が、貫通孔 217a に対応する位置にそれぞれ設けられている。サセプタ昇降機構 268 によりサセプタ 217 が下降させられたときは、ウエハ突上げピン 266 の先端が、サセプタ 217 と非接触の状態で貫通孔 217a を突き抜け、処理室 201 内外に搬送されるウエハ 200 を下方から支持するように構成されている。

【0022】

また、下側容器 211 の側壁には、仕切弁となるゲートバルブ 244 が設けられている。ゲートバルブ 244 が開いている時には、図中省略の搬送機構（搬送部）により処理室 201 内外に対してウエハ 200 を搬送できるように構成されている。また、ゲートバルブ 244 が閉まっている時には、処理室 201 が気密に封止されるように構成されている。

【0023】

また基板処理装置は、制御部としてのコントローラ 121 を備えている。コントローラ 121 は、信号線 A を通じて APC 242、バルブ 243b、真空ポンプ 246 を、信号線 B を通じてサセプタ昇降機構 268 を、信号線 C を通じてゲートバルブ 244 を、信号線 D を通じて整合器 272、高周波電源 273 を、信号線 E を通じてマスフローコントローラ 241、バルブ 243a を、さらに図示しない信号線を通じてサセプタ 217 に埋め込まれたヒータ 217b やインピーダンス可変機構 274 をそれぞれ制御するよう構成されている。

【0024】

(2) 基板処理工程

次に、半導体デバイスの製造工程の一工程として、High-k ゲート絶縁膜の形成か

10

20

30

40

50

らゲート電極の修復までの製造工程を含む半導体デバイスの製造方法を図1、図2、図6を参照して説明する。なお、後述するゲート電極の修復工程は、上記のMMT装置により実施される。図2は、本実施形態に係る半導体デバイスであるMOSトランジスタの断面構造、及びその製造工程を示す解説図である。図6は、ゲート電極の修復工程におけるプロセスガスの供給、停止タイミング、プラズマ処理の開始、停止タイミングを示す図である。

【0025】

図2に示すように、MOSトランジスタは、シリコンからなるウエハ200の表面近傍に形成されたソース101及びドレイン102を備えている。ソース101とドレイン102との間には、チャンネル部が形成されている。チャンネル部が形成されるウエハ200の表面上には、High-kゲート絶縁膜30が形成されている。High-kゲート絶縁膜30上には、SiO₂等からなるトンネル層35、Poly-Si等からなるフローティング層34、ONO層33、及びコントロールゲート層としての金属製のゲート電極(メタル電極)32が、下層から順に積層されている。ONO層は、フローティング層とゲート電極32とを絶縁するように構成されている。

10

【0026】

(High-kゲート絶縁膜形成工程)

図2に示すようなMOSトランジスタを製造する際は、まず、ウエハ200上に、例えばハフニア(HfO)からなるHigh-kゲート絶縁膜30を成膜する。High-kゲート絶縁膜30は、例えば、PLCVD(Poly-atomic Layer CVD)法を用い、成膜に用いるHfやSiを含んだ有機金属材料とリモートプラズマ酸素とをウエハ200の表面に供給することで形成される。なお、High-kゲート絶縁膜30は、ハフニアに限らず、ハフニウムシリケート(HfSiO)、窒化ハフニウムシリケート(HfSiON)、酸化アルミニウム(AlO_x)等の他の高誘電率材料で形成してもよい。

20

【0027】

(ゲート電極形成工程)

High-kゲート絶縁膜30の形成が終了したら、形成したHigh-kゲート絶縁膜30上に、例えば、SiO₂等からなるトンネル層35、Poly-Si等からなるフローティングゲート層34、ONO層33、及びTiNからなるコントロールゲート層としてのゲート電極32を、それぞれ膜状に形成する。コントロールゲート層としてのゲート電極32は、例えばスパッタリングやCVD等の方法を用いて行うことが可能である。なお、ゲート電極32は、TiNに限らず、タングステン(W)、ルテニウム(Ru)、窒化チタン(TiN)、タンタル(Ta)、モリブデン(Mo)、イリジウム(Ir)等の他の金属材料で形成してもよい。ゲート電極32を形成する金属材料を適宜選択することで、MOSトランジスタの閾値電圧をコントロールすることが出来る。

30

【0028】

(エッチングマスク形成及び加工工程)

膜状のトンネル層35、フローティングゲート層34、ONO層33、ゲート電極32の形成が完了したら、ゲート電極32上にレジスト膜(図示せず)を形成する。そして、レジスト膜に露光光を照射し、照射後のレジスト膜を現像し、チャンネル部の形成予定領域を覆うレジストパターン(図示せず)を形成する。その後、レジストパターンをマスクとして、ゲート電極32、ONO層33、フローティングゲート層34、トンネル層35、及びHigh-kゲート絶縁膜30の露出部(ソース101及びドレイン102の形成予定領域)をドライエッチング等により除去する。その後、レジストパターンを除去する。なお、ゲート電極32及びHigh-kゲート絶縁膜30をエッチングする際に、ゲート電極32、ONO層33、フローティングゲート層34、トンネル層35、及びHigh-kゲート絶縁膜30の側壁にダメージ(加工面の物理的な荒れ)が生じる。

40

【0029】

(ゲート電極の修復工程)

50

ゲート電極 32、ONO層 33、フローティングゲート層 34、トンネル層 35、及び High-k ゲート絶縁膜 30のエッチングが完了したら、上述のMMT装置を用い、ゲート電極 32、ONO層 33、フローティングゲート層 34、トンネル層 35、及び High-k ゲート絶縁膜 30の側壁のダメージの修復を行う。なお、以下の説明において、MMT装置を構成する各部の動作はコントローラ 121により制御されるものとする。

【0030】

まず、修復対象のウエハ 200を、搬送機構（図中省略）によって処理室 201内に搬入する。具体的には、まず、ウエハ突上げピン 266の先端がサセプタ 217表面よりも所定の高さ分だけ突き出された状態となるように、サセプタ 217を基板搬送位置まで下降させる。次に、下側容器 211に設けられたゲートバルブ 244を開き、搬送機構（図中せず）によって、ウエハ突上げピン 266の先端上にウエハ 200を載置する。そして、搬送機構を処理室 201外へ退避させ、ゲートバルブ 244を閉じる。この後、サセプタ昇降機構 268によりサセプタ 217を上昇させ、サセプタ 217上面にウエハ 200を移載させる。ウエハ 200を移載させた後は、サセプタ昇降機構 268によりウエハ 200を処理位置までさらに上昇させる。

【0031】

次に、サセプタ 217に埋め込まれたヒータ 217bを加熱して、搬入されたウエハ 200を所定の処理温度に昇温して保持する。具体的には、ウエハ 200の処理温度 Tは、High-k ゲート絶縁膜 30が結晶化しない温度であって、例えば室温（25℃）以上 400℃未満の範囲内の所定の処理温度になるように加熱する。また、真空ポンプ 246、及び APC 242を用いて、処理室 201内を所定の圧力に維持する。なお、High-k ゲート絶縁膜 30をハフニウムシリケートで形成した場合には、ウエハ 200の処理温度 Tは、例えば 600℃未満の範囲内の所定の処理温度になるように加熱する。なお、処理温度 Tは、ゲート電極 32のダメージ度、High-k ゲート絶縁膜 30を構成する高誘電率材料の結晶化温度等に応じて適宜決定される。

【0032】

次に、図 6に示すように、開閉バルブ 243aを開き、マスフローコントローラ 241により流量を調整しつつ、水素含有ガスとしての水素ガスの処理室 201内への供給を開始する。例えば、水素ガスの流量が 950 sccm となるように調節する。

【0033】

処理室 201内への水素ガスの供給開始から所定時間 t1が経過した後、高周波電源 273から筒状電極 215への整合器 272を介した高周波電力の印加を開始する。筒状電極 215へ印加する電力は、300～700 Wの範囲内の所定の出力値となるように設定する。このときインピーダンス可変機構 274は、予め所望のインピーダンス値となるように制御しておく。このバイアス制御により、ウエハ 200に入射するプラズマのエネルギーを調整することができる。筒状電極 215に高周波電力が供給されると、筒状磁石 216、216の磁界の影響を受けて処理室 201内にマグネトロン放電が発生し、ウエハ 200の上方空間に電荷がトラップされ、プラズマ生成領域 224に水素ガスによる高密度プラズマが生成される。

【0034】

筒状電極 215への高周波電力の印加を開始してから所定時間経過後、マスフローコントローラ 241により流量を調整しつつ、酸素含有ガスとしての酸素ガスの処理室 201内への供給をさらに開始する。すなわち、水素含有ガスとしての水素ガスと酸素含有ガスとしての酸素ガスとの混合ガスであるプロセスガス 230の処理室 201内への供給を開始する。プロセスガス 230は、水素ガスの流量に対して酸素ガスの流量の割合が 65%以下となるように調整する。例えば、水素ガスの流量が 950 sccm、酸素ガスの流量が 50 sccm となるように調節する。なお、係る流量比は、ゲート電極 32及び High-k ゲート絶縁膜 30のダメージ度、High-k ゲート絶縁膜 30を構成する高誘電率材料の結晶化温度等に応じて適宜決定される。

【0035】

処理室 201 内に水素ガスと酸素ガスとの混合ガスであるプロセスガス 230 が供給されると、プラズマ生成領域 224 に酸素ガス及び水素ガスによる高密度プラズマが生成される。そして、高密度プラズマで励起した水素ガスと酸素ガスとがウエハ 200 に供給されて酸化処理が施される。すなわち、この高密度プラズマによって酸素活性種と水素活性種が生成され、生成された酸素活性種、水素活性種により、ウエハ 200 上のゲート電極 32 の側面に修復処理が施される。この修復処理では、酸素活性種が、コントロールゲート層としてのゲート電極 32 の側面を酸化させてエッチングダメージ、すなわち物理的な荒れを修復すると共に、水素活性種が、水素還元によってゲート電極 32 の側面の過度の酸化を抑制する。更に、トンネル層 35、フローティングゲート層 34、ONO 層 33、High-k ゲート絶縁膜 30 の側壁が選択的に酸化されることによって、係る側壁におけるリーク電流の発生を抑制することが出来る。

10

【0036】

その後、所定時間（例えば 30 秒）経過後、処理室 201 内への酸素ガスの供給を停止する。その後、更に所定時間 t_2 経過後、筒状電極 215 への高周波電力の印加を停止する。その後、更に所定時間 t_3 経過後、処理室 201 内への水素ガスの供給を停止する。

【0037】

このように、処理室 201 内への水素ガスの供給を開始した後、所定時間 t_1 遅れて筒状電極 215 への高周波電力の印加を開始し、その後、更に所定時間遅れて処理室 201 内への酸素ガスの供給を開始するようにしている。ここで、処理室 201 内への水素ガスの供給開始時期、筒状電極 215 への高周波電力の印加開始時期、処理室 201 内への酸素ガスの供給開始時期は、処理室 201 内に供給された水素ガスの活性化時期と、処理室 201 内に供給された酸素ガスの活性化時期とが互いに一致するようにそれぞれ調整する。これにより、水素活性種の還元作用と酸素活性種の酸化作用とをタイミングよく開始させ、ゲート電極 32 の側面を酸化させて修復すると共に、ゲート電極 32 の側面の過度の酸化を抑制することができる。

20

【0038】

また、処理室 201 内への酸素ガスの供給を停止した後、所定時間 t_2 遅れて筒状電極 215 への高周波電力の印加を停止し、その後、更に所定時間 t_3 遅れて処理室 201 内への水素ガスの供給を停止するようにしている。ここで、処理室 201 内への酸素ガスの供給停止時期、筒状電極 215 への高周波電力の印加停止時期、処理室 201 内への水素ガスの供給停止時期は、処理室 201 内における水素活性種の消滅時期と、処理室 201 内における酸素活性種の消滅時期とが互いに一致するようにそれぞれ調整する。これにより、水素活性種の還元作用と酸素活性種の酸化作用とをタイミングよく終了させ、ゲート電極 32 の側面を酸化させて修復すると共に、ゲート電極 32 の側面の過度の酸化を抑制することができる。

30

【0039】

なお、筒状電極 215 への高周波電力の供給時間である 30 秒は、ドライエッチングにより発生したゲート電極 32 側面のエッチングダメージに応じて適宜調整する。

【0040】

ゲート電極の修復工程が終了したら、修復処理後のウエハ 200 を、搬送機構（図示せず）によりウエハ搬入とは逆の手順で処理室 201 外へ搬送し、イオン注入装置の処理炉内に搬入する。そして、シリコン 200 のソース 101 及びドレイン 102 の形成予定領域にイオン打ち込み（インブラ）を施して、ソース 101、ドレイン 102 を形成する。続いて、アニール処理により、ドーパント（チャネル、ソース、ドレインヘインブラされたリン（P）、ヒ素（As）、ホウ素（B）等）の活性化を行う。

40

【0041】

（3）本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、以下に示す 1 つ又は複数の効果を奏する。

【0042】

（a）本実施形態によれば、ウエハ 200 を High-k ゲート絶縁膜 30 が結晶化しな

50

い温度に加熱した状態で、ウエハ 200 に対してプラズマで励起した水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す。例えば、High-k ゲート絶縁膜 30 をハフニウムシリケートで形成した場合には、ウエハ 200 の温度 T が室温 (25) 以上 400 未満の範囲内の所定の処理温度になるように加熱する。また、High-k ゲート絶縁膜 30 をハフニウムシリケートで形成した場合には、ウエハ 200 の温度 T が 600 未満の範囲内の所定の処理温度になるように加熱する。これにより、High-k ゲート絶縁膜 30 が多結晶構造となってしまうことを抑制し、High-k ゲート絶縁膜 30 中に結晶粒界が生成されてしまうことを抑制できる。そして、ゲート電極 32 に電圧を印加した時に結晶粒界の欠陥を通じて電流が流れてしまうことを抑制でき、リーク電流を低減させることができる。

10

【0043】

(b) 本実施形態によれば、処理室 201 内に供給するプロセスガス 230 は、水素ガスの流量に対して酸素ガスの流量の割合が 65% 以下となるように調整する。例えば、水素ガスの流量が 950 sccm、酸素ガスの流量が 50 sccm となるように調節する。これにより、ゲート電極 32 の側壁をプラズマ酸化して修復させる際に、ゲート電極 32 の過度の酸化を抑制することができる。これにより、ゲート電極 32 の過度の酸化を抑制することができる。酸化によるゲート電極 32 の抵抗値の上昇を抑えることができる。

【0044】

発明者等は、ゲート電極 32 の修復工程のパラメータの一つである水素ガスに対する酸素ガスの好適な流量比を決定するため、TiN からなるゲート電極 32 が形成されたウエハ 200 を用いて、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を 10% ずつ変化させたときのシート抵抗値、すなわち、単位面積当たりの抵抗値の変化を測定した。図 3 は、水素ガスに対する酸素ガスの流量比と、TiN からなるゲート電極のシート抵抗値との関係を示すグラフ図である。図 3 の縦軸はシート抵抗値の変化を示し、横軸は水素ガスに対する酸素ガスの流量比を示す。図 3 において、ウエハ 200 の処理温度は 400 一定とし、水素ガス、酸素ガスの合計流量は 1000 sccm としている。図中「Initial value」とは、修復工程を実施する前のゲート電極 32 のシート抵抗値を示す。修復工程を実施する前のゲート電極 32 のシート抵抗値 (Initial value) は 150 [Ω / sq] であった。

20

【0045】

図 3 に示すように、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を 10 [%]、20 [%]、30 [%]、40 [%]、50 [%]、60 [%] と変化させ、処理温度 400 一定でゲート電極 32 の側面をプラズマ酸化によって修復すると、シート抵抗値は、水素ガスに対する酸素ガスの流量比にほぼ比例して増加していることが分かる。また、水素ガスに対する酸素ガスの流量比が 65 [%] を超えると、シート抵抗値は、Initial value の 150 [Ω / sq] を超えてしまうことが分かる。また、水素ガスに対する酸素ガスの流量比が減少すると、ゲート電極 32 の過度の酸化が抑制されていることが分かり、水素ガスの還元作用が働いていることが分かる。

30

【0046】

従って、水素ガスに対する酸素ガスの流量比、言い換えると、水素ガスに対する酸素ガスの割合を 65% 未満とし、ウエハの温度を 400 とし、プラズマ酸化によりゲート電極 32 の修復を行うと、ゲート電極 32 の過度の酸化を抑制しつつ、TiN のゲート電極 32 を修復できることが分かる。

40

【0047】

また、発明者等は、ゲート電極 32 の修復工程の他のパラメータであるウエハ 200 の好適な処理温度を決定するため、ウエハ 200 の処理温度を 400 一定とした場合、及び 700 一定とした場合のそれぞれにおいて、シート抵抗値の変化を測定した。なお、発明者等は、ウエハ 200 の処理温度を、ウエハ 200 の処理温度を 400 一定とした場合、及び 700 一定とした場合のそれぞれにおいて、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を 10% ずつ変化させたときのシート抵抗値、すなわち、単位面積当たりの抵抗値の

50

変化を測定した。図4は、水素ガスに対する酸素ガスの流量比と、TiNからなるゲート電極のシート抵抗値との関係を示すグラフ図である。図4の縦軸はシート抵抗値の変化を示し、横軸は水素ガスに対する酸素ガスの流量比を示す。図4の□印はウエハ200の処理温度を400一定とした場合を、●印はウエハ200の処理温度を700一定とした場合をそれぞれ示している。評価対象のウエハ200には、TiNからなるゲート電極32が形成されており、水素ガスと酸素ガスの合計流量は1000 sccmとしている。その他の条件は図3の場合と同じである。

【0048】

図4に示すように、水素ガスに対する酸素ガスの流量比が増加すると、ウエハ200の処理温度を400一定とした場合、及び700一定とした場合のいずれにおいても、TiN電極のシート抵抗値がほぼ比例して増加することが分かる。これは図3の結果と同じである。なお、ウエハ200の処理温度を700一定としてゲート電極32の修復工程を行った場合、水素ガスに対する酸素ガスの流量比が40%を超えると、シート抵抗値が修復工程前のシート抵抗値 (Initial value) 150 [Ω / sq] を超えてしまうことが分かる。また、ウエハ200の処理温度を400一定としてゲート電極32の修復工程を行った場合、水素ガスに対する酸素ガスの流量比が65%を超えると、シート抵抗値が修復工程前のシート抵抗値 (Initial value) 150 [Ω / sq] を超えてしまうことが分かる。

【0049】

また、発明者等は、High-kゲート絶縁膜30をハフニア (HfO)、ハフニアシリケート (HfSiO)、窒化ハフニウムシリケート (HfSiON) のそれぞれで構成した場合における、ゲート電極32の修復条件 (温度条件、流量比条件) を測定した。図5は、ゲート電極32の修復条件 (温度条件、流量比条件) を示す表図である。

【0050】

まず、発明者等は、HfOからなるHigh-kゲート絶縁膜30上にTiNからなるゲート電極32が形成されたウエハ200に対し、ゲート電極32の修復工程を室温 (25) 以上400未満の処理温度で行いつつ、水素ガスに対する酸素ガスの好適な流量比を測定した。その結果、ゲート電極32の過度の酸化を抑制することが可能な水素ガスに対する酸素ガスの流量比は、0%より大きく65%未満であることが分かった。すなわち、HfOの場合、ゲート電極32のエッチングダメージの処理温度を室温 (25) 以上400未満とし、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を0%より大きく65%未満としてプラズマ処理を施すと、TiNのゲート電極32を過度に酸化させることなくゲート電極32の側面を修復することができることが分かった。

【0051】

また、発明者等は、HfSiOからなるHigh-kゲート絶縁膜30上に形成されたTiNからなるゲート電極32が形成されたウエハ200に対し、ゲート電極32の修復工程を室温 (25) 以上600未満の処理温度で行いつつ、水素ガスに対する酸素ガスの好適な流量比を測定した。その結果、ゲート電極32の過度の酸化を抑制することが可能な水素ガスに対する酸素ガスの流量比は、0%より大きく40%未満であることが分かった。すなわち、HfSiOの場合、ゲート電極32のエッチングダメージの処理温度を室温 (25) 以上600未満とし、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を0%より大きく65%未満としてプラズマ処理を施すと、TiNのゲート電極32を過度に酸化させることなくゲート電極32の側面を修復することができることが分かった。

【0052】

また、発明者等は、HfSiONからなるHigh-kゲート絶縁膜30上にTiNからなるゲート電極32が形成されたウエハ200に対し、ゲート電極32の修復工程を室温 (25) 以上1000未満の処理温度で行いつつ、水素ガスに対する酸素ガスの好適な流量比を測定した。その結果、ゲート電極32の過度の酸化を抑制することが可能な水素ガスに対する酸素ガスの流量比は、0%より大きく60%未満であることが分かった。すなわち、HfSiONの場合、ゲート電極32のエッチングダメージの処理温度を室

温 (2 5) 以上 1 0 0 0 未満とし、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を 0 % より大きく 4 0 % 未満としてプラズマ処理を施すと、T i N のゲート電極 3 2 を過度に酸化させることなくゲート電極 3 2 の側面を修復することができることが分かった。但し、例えば 1 0 0 0 の処理温度では、H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 が多結晶構造となってしまう、リーク電流が増加してしまう場合があるため、H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 が結晶化しない温度以下とすることが好ましい。

【 0 0 5 3 】

(c) 本実施形態に係るゲート電極 3 2 の修復工程においては、処理室 2 0 1 内への水素ガスの供給を開始した後、所定時間 t 1 遅れて筒状電極 2 1 5 への高周波電力の印加を開始し、その後、更に所定時間遅れて処理室 2 0 1 内への酸素ガスの供給を開始するようにしている。そして、処理室 2 0 1 内への水素ガスの供給開始時期、筒状電極 2 1 5 への高周波電力の印加開始時期、処理室 2 0 1 内への酸素ガスの供給開始時期を、処理室 2 0 1 内に供給された水素ガスの活性化時期と、処理室 2 0 1 内に供給された酸素ガスの活性化時期とを互いに一致させるようにそれぞれ調整している。これにより、水素活性種の還元作用と酸素活性種の酸化作用とをタイミングよく開始させ、ゲート電極 3 2 の側面を酸化させて修復すると共に、ゲート電極 3 2 の側面の過度の酸化を抑制することができる。すなわち、酸素ガスは水素ガスよりもプラズマによって励起されやすいという特性があるが、本実施形態に係るゲート電極の修復工程では、係る特性を考慮して、水素活性種の還元作用と酸素活性種の酸化作用とをタイミングよく開始させるようにしている。

【 0 0 5 4 】

(d) 本実施形態に係るゲート電極の修復工程においては、処理室 2 0 1 内への酸素ガスの供給を停止した後、所定時間 t 2 遅れて筒状電極 2 1 5 への高周波電力の印加を停止し、その後、更に所定時間 t 3 遅れて処理室 2 0 1 内への水素ガスの供給を停止するようにしている。そして、処理室 2 0 1 内への酸素ガスの供給停止時期、筒状電極 2 1 5 への高周波電力の印加停止時期、処理室 2 0 1 内への水素ガスの供給停止時期を、処理室 2 0 1 内における水素活性種の消滅時期と、処理室 2 0 1 内における酸素活性種の消滅時期とを互いに一致させるようにそれぞれ調整している。これにより、水素活性種の還元作用と酸素活性種の酸化作用とをタイミングよく終了させ、ゲート電極 3 2 の側面を酸化させて修復すると共に、ゲート電極 3 2 の側面の過度の酸化を抑制することができる。すなわち、プラズマによって励起された酸素活性種の寿命は、プラズマによって励起された水活性種の寿命よりも長いという特性があるが、本実施形態に係るゲート電極 3 2 の修復工程では、係る特性を考慮して、水素活性種の還元作用と酸素活性種の酸化作用とをタイミングよく終了させるようにしている。

【 0 0 5 5 】

(e) 本実施形態に係るゲート電極 3 2 の修復工程において、H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 が結晶化しない温度範囲内としつつ、ウエハ 2 0 0 の処理温度をできるだけ高くすると、ゲート電極 3 2 を修復するための酸化膜の品質を向上させることができる。

【 0 0 5 6 】

< 本発明の第 2 の実施形態 >

上述した実施形態では、M M T 装置として構成された基板処理装置を例に挙げて説明したが、本発明は、係る構成に限定されない。例えば、I C P (I n d u c t i v e l y C o u p l e d P l a s m a)、E C R (E l e c t r o n C y c l o t r o n R e s o n a n c e) 装置として構成された基板処理装置に対しても好適に適用である。

【 0 0 5 7 】

図 7 は、本発明の第 2 の実施形態に係る基板処理装置である I C P 方式プラズマ処理装置を示している。本実施形態に係る基板処理装置の各構成要件において、前記第 1 の実施形態と同様の機能を有する構成要件には同一の符号を付することとし、詳細な説明を省略する。

【 0 0 5 8 】

本実施形態に係る I C P 方式プラズマ処理装置 1 0 A は、電力を供給してプラズマを生

成するプラズマ生成部としての誘導コイル 15 A を備えており、誘導コイル 15 A は処理容器 203 の天井壁の外側に敷設されている。また、本実施形態においては、ガス供給管 232 は、処理容器 202 の側壁上方に接続されている。

【0059】

ガス供給管 232 から処理室 201 内にプロセスガス 230 を供給しつつ、プラズマ生成部である誘導コイル 15 A へ高周波電力を流して、電磁誘導により電界を生じさせ、この電界をエネルギーとして、処理室 201 内に供給されたプロセスガス 230 をプラズマ化させる。このプラズマにより、酸素活性種と水素活性種とを生成する。酸素活性種により、ゲート電極 32 のエッチング加工後の側面を酸化させて修復することが出来る。また、水素活性種により、ゲート電極 32 のエッチング加工後の側面の過度の酸化を防止することが出来る。そして、上述の実施形態と同様の効果を奏することができる。

10

【0060】

< 本発明の第 3 の実施形態 >

図 8 は、本発明の第 3 の実施形態に係る基板処理装置である ECR 方式プラズマ処理装置を示している。本実施形態に係る基板処理装置の各構成要件において、前記実施形態と同様の機能を有する構成要件には同一符号を付することとし、詳細な説明を省略する。

【0061】

本実施形態に係る ECR 方式プラズマ処理装置 10 B は、マイクロ波を供給してプラズマを生成するプラズマ生成部としてのマイクロ波導入管 17 B を備えている。また、本実施形態においても、ガス供給管 232 は処理容器 202 の側壁上方に接続されている。

20

【0062】

ガス供給管 232 から処理室 201 内にプロセスガス 230 を供給しつつ、プラズマ生成部であるマイクロ波導入管 17 B へマイクロ波 18 B を導入して、マイクロ波 18 B を処理室 201 へ放射させ、このマイクロ波 18 B により、処理室 201 に供給されたプロセスガス 230 をプラズマ化させる。このプラズマにより、酸素活性種と水素活性種とを生成する。酸素活性種により、ゲート電極 32 のエッチング加工後の側面を酸化させて修復することが出来る。また、水素活性種により、ゲート電極 32 のエッチング加工後の側面の過度の酸化を防止することが出来る。そして、上述の実施形態と同様の効果を奏することができる。

【0063】

30

(付記)

本発明は以下の実施の態様を含む。

【0064】

(付記 1)

エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板を処理室内に搬入する工程と、

前記処理室内で、前記基板を前記高誘電率ゲート絶縁膜が結晶化しない温度に加熱した状態で、前記基板に対してプラズマで励起した水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す工程と、

処理後の前記基板を前記処理室内から搬出する工程と、
を有する半導体デバイスの製造方法。

40

【0065】

好ましくは、前記高誘電率ゲート絶縁膜がハフニアであり、前記温度は 25 以上 400 未満である。

【0066】

また好ましくは、前記高誘電率ゲート絶縁膜がハフニウムシリケートであり、前記温度が 600 未満である。

【0067】

また好ましくは、前記水素含有ガス中の水素成分の流量が、前記酸素含有ガスの酸素成分の流量に対して 65 % 以下である。

50

【 0 0 6 8 】

(付 記 2)

エッチングにより側壁が露出した高誘電率ゲート絶縁膜とメタル電極とを有する基板が搬入される処理室と、

前記処理室内に搬入された前記基板を加熱する加熱部と、

前記処理室内に水素含有ガスと酸素含有ガスとを供給するガス供給系と、

前記処理室内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、

前記加熱部、前記ガス供給系、及び前記プラズマ生成部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、

前記加熱部により前記基板を前記高誘電率ゲート絶縁膜が結晶化しない温度に加熱させ、前記ガス供給系により前記処理室内に前記酸素含有ガスと前記酸素含有ガスとを供給させ、前記プラズマ生成部により前記処理室内にプラズマを生成させて、前記基板に対してプラズマで励起した前記水素含有ガスと前記酸素含有ガスとを供給して酸化処理を施す基板処理装置。

10

【 0 0 6 9 】

(付 記 3)

被処理基板の温度を 6 0 0 未満、処理雰囲気水を水素ガスと酸素ガスとを含み水素ガスに対して酸素ガスの割合が 6 5 % 以下の雰囲気として、処理基板上に形成された H i g h - k ゲート絶縁膜上のメタル電極にプラズマ処理を施す工程を含むことを特徴とする半導体デバイスの製造方法を提供する。ここで、メタル電極とはゲート電極のことである。混合ガスの雰囲気は、酸素を含むプロセスガスと、水素を含むプロセスガスとを同一のガス供給管から処理室に供給することで生成してもよいし、別々のガス供給管から別々に処理室に供給することで生成してもよい。この方法によれば、H i g h - k ゲート絶縁膜の結晶化を防止できるので、リーク電流を抑制することができる。

20

【 0 0 7 0 】

この場合、先に酸素を含むプロセスガスを供給して酸素ガス雰囲気とした後に、水素ガスを含むプロセスガスを供給して酸素ガスと水素ガスとを含む混合ガス雰囲気とするよい。酸素は水素よりも早くプラズマによって活性化するため（活性種（ラジカル））、水素の活性化と酸素の活性化のタイミングを合わせるため、このような順番としている。酸素の活性種が残り、水素の活性種が先に消滅すると、ゲート電極の側壁が過度に酸化され、ゲート電極の電気的な抵抗値が増加するが、このよう順番とすると、ゲート電極の抵抗値の増加を抑制することができる。また、リーク電流に対応することができる。

30

【 0 0 7 1 】

また、酸素ガスを含むプロセスガスの供給を停止した後、水素ガスを含むプロセスガスの供給を停止するとよい。酸素は水素よりも長く活性化され寿命が長いため、水素活性種と酸素活性種が消滅させるタイミングを合致させるためにこのような順番で酸素を含むプロセスガスと水素ガスを含むプロセスガスの供給を停止する。処理室に酸素活性種が残り、水素活性種が消滅した場合、ゲート電極が過度に酸化され、ゲート電極の電気的な抵抗値が増加するが、このようにすると抵抗値の増加を抑制することができる。

【 0 0 7 2 】

(付 記 4)

前記 H i g h - k ゲート絶縁膜が H f O からなり、前記処理温度が 4 0 0 未満である半導体デバイスの製造方法を提供する。

40

この方法によれば、H i g h - k ゲート絶縁膜が H f O である場合に、H f O が結晶化しない温度でゲート電極が修復される。

【 0 0 7 3 】

この場合に、酸素ガスの割合を 6 5 % 未満とするとよい。水素ガスに対する酸素ガスの割合を 6 5 % 未満とすると、H i g h - k ゲート絶縁膜が H f O である場合に、H f O が結晶化しない温度でゲート電極を修復することができ、これにより、ゲート電流に対応することができる。

50

【 0 0 7 4 】

(付 記 5)

前記 H i g h - k ゲート絶縁膜が H f S i O からなり、前記処理温度が 6 0 0 未満である半導体デバイスの製造方法を提供する。

この方法によれば、H i g h - k ゲート絶縁膜が H f S i O である場合に、H f S i O が結晶化しない温度でゲート電極が修復される。この場合、酸素ガスの割合を 4 0 % 未満とするとよい。水素ガスに対する酸素ガスの割合を 4 0 % 未満とすると、H i g h - k ゲート絶縁膜が H f S i O である場合に、H f S i O が結晶化しない温度でゲート電極が修復でき、これにより、ゲート電流に対応することができる。

【 0 0 7 5 】

10

なお、H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 とウエハ 2 0 0 との界面に、リーク電流を抑制するため S i O N 膜を形成してもよい。このように、本発明は種々の改変が可能であり、この改変された発明に本発明が及ぶことは当然である。

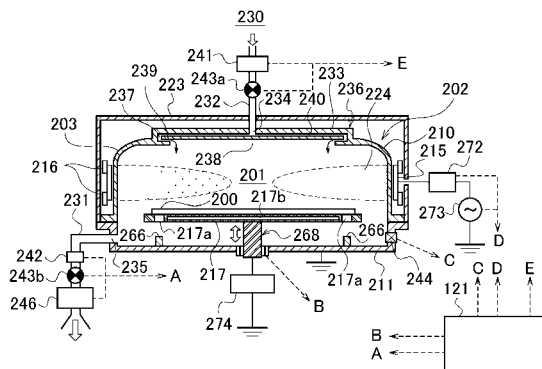
【 符号の説明 】

【 0 0 7 6 】

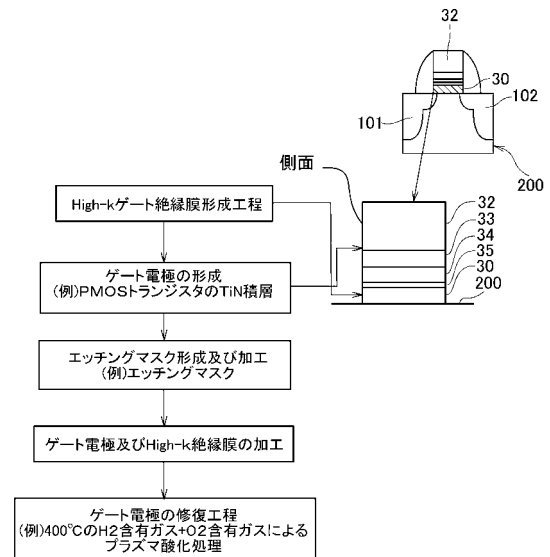
- 3 0 H i g h - k ゲート絶縁膜
- 3 2 ゲート電極（メタル電極）
- 2 0 0 ウエハ（基板）
- 2 0 1 処理室
- 2 0 2 処理炉
- 2 3 0 プロセスガス

20

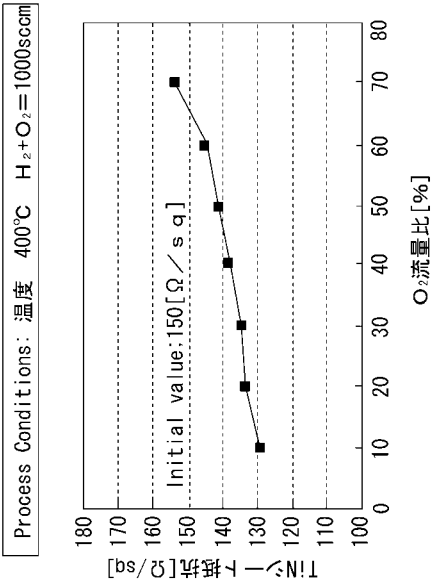
【 図 1 】



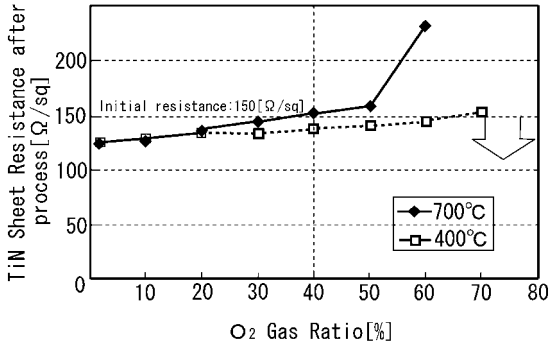
【 図 2 】



【 図 3 】



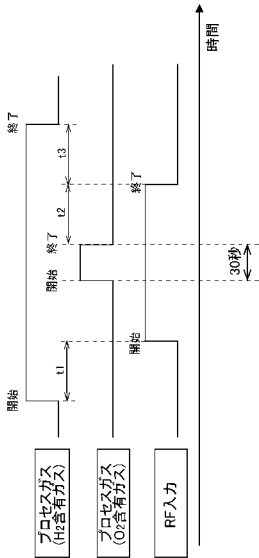
【 図 4 】



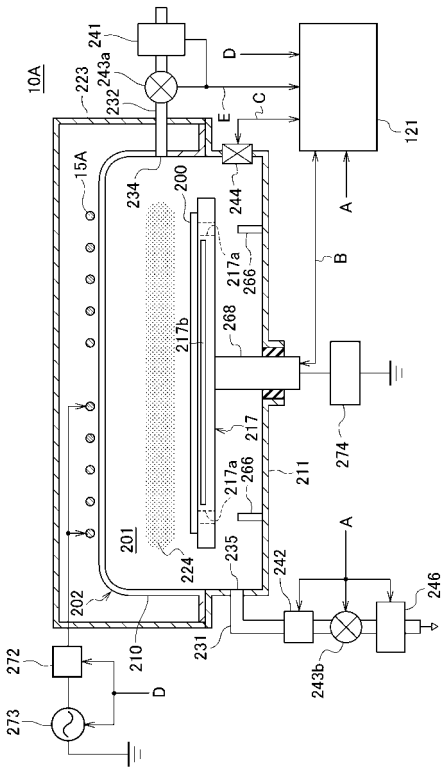
【 図 5 】

H i - k	温度	電極	酸素の割合 (対水素比)
H f O	< 4 0 0 °C	T i N	< 6 5 %
H f S i O	< 6 0 0 °C	T i N	< 4 0 %
H f S i O N	< 1 0 0 0 °C	T i N	< 6 0 %

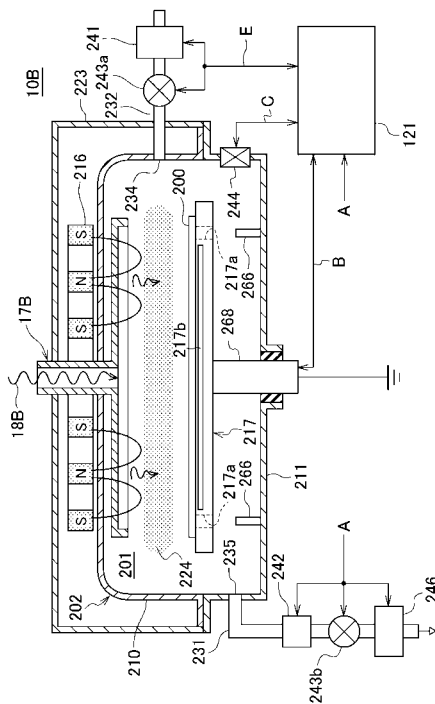
【 図 6 】



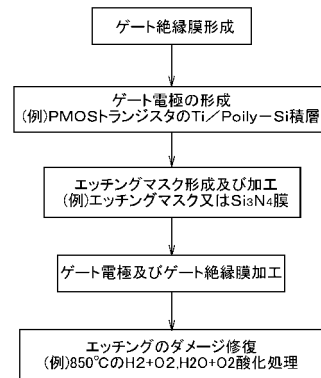
【 図 7 】



【図 8】



【図 9】



【手続補正書】

【提出日】平成21年6月10日(2009.6.10)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0027】

(ゲート電極形成工程)

High-kゲート絶縁膜30の形成が終了したら、形成したHigh-kゲート絶縁膜30上に、例えば、 SiO_2 等からなるトンネル層35、Poly-Si等からなるフローティングゲート層34、ONO層33、及びTiNからなるコントロールゲート層としてのゲート電極32を、それぞれ膜状に形成する。コントロールゲート層としてのゲート電極32は、例えばスパッタリングやCVD等の方法を用いて行うことが可能である。なお、ゲート電極32は、TiNに限らず、タンゲステン(W)、ルテニウム(Ru)、タンタル(Ta)、モリブデン(Mo)、イリジウム(Ir)等の他の金属材料で形成してもよい。ゲート電極32を形成する金属材料を適宜選択することで、MOSトランジスタの閾値電圧をコントロールすることが出来る。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0034】

筒状電極215への高周波電力の印加を開始してから所定時間経過後、マスフローコン

トローラ 2 4 1 により流量を調整しつつ、酸素含有ガスとしての酸素ガスの処理室 2 0 1 内への供給をさらに開始する。すなわち、水素含有ガスとしての水素ガスと酸素含有ガスとしての酸素ガスとの混合ガスであるプロセスガス 2 3 0 の処理室 2 0 1 内への供給を開始する。プロセスガス 2 3 0 は、水素ガスの流量に対して酸素ガスの流量の割合が 6 5 % 以下となるように調整する。例えば、水素ガスの流量が 9 5 0 s c c m のとき、酸素ガスの流量が 6 1 7 . 5 s c c m 以下であって好ましくは 5 0 s c c m となるように調節する。なお、係る流量比は、ゲート電極 3 2 及び H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 のダメージ度、H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 を構成する高誘電率材料の結晶化温度等に応じて適宜決定される。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 3 9

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 3 9】

なお、処理室 2 0 1 内への酸素含有ガスや水素含有ガスの供給時間や、筒状電極 2 1 5 への高周波電力の供給時間は、ドライエッチングにより発生したゲート電極 3 2 側面のエッチングダメージに応じて適宜調整する。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 5 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 5 1】

また、発明者等は、H f S i O からなる H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 上に形成された T i N からなるゲート電極 3 2 が形成されたウエハ 2 0 0 に対し、ゲート電極 3 2 の修復工程を室温 (2 5) 以上 6 0 0 未満の処理温度で行いつつ、水素ガスに対する酸素ガスの好適な流量比を測定した。その結果、ゲート電極 3 2 の過度の酸化を抑制することが可能な水素ガスに対する酸素ガスの流量比は、0 % より大きく 4 0 % 未満であることが分かった。すなわち、H f S i O の場合、ゲート電極 3 2 のエッチングダメージの処理温度を室温 (2 5) 以上 6 0 0 未満とし、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を 0 % より大きく 4 0 % 未満としてプラズマ処理を施すと、T i N のゲート電極 3 2 を過度に酸化させることなくゲート電極 3 2 の側面を修復することができることが分かった。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 5 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 5 2】

また、発明者等は、H f S i O N からなる H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 上に T i N からなるゲート電極 3 2 が形成されたウエハ 2 0 0 に対し、ゲート電極 3 2 の修復工程を室温 (2 5) 以上 1 0 0 0 未満の処理温度で行いつつ、水素ガスに対する酸素ガスの好適な流量比を測定した。その結果、ゲート電極 3 2 の過度の酸化を抑制することが可能な水素ガスに対する酸素ガスの流量比は、0 % より大きく 6 0 % 未満であることが分かった。すなわち、H f S i O N の場合、ゲート電極 3 2 のエッチングダメージの処理温度を室温 (2 5) 以上 1 0 0 0 未満とし、水素ガスに対する酸素ガスの流量比を 0 % より大きく 6 0 % 未満としてプラズマ処理を施すと、T i N のゲート電極 3 2 を過度に酸化させることなくゲート電極 3 2 の側面を修復することができることが分かった。但し、例えば 1 0 0 0 の処理温度では、H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 が多結晶構造となってしまう、リーク電流が増加してしまう場合があるため、H i g h - k ゲート絶縁膜 3 0 が結晶化

しない温度以下とすることが好ましい。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0067

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0067】

また好ましくは、前記酸素含有ガス中の酸素成分の流量が、前記水素含有ガスの水素成分の流量に対して65%以下である。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0070

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0070】

この場合、先に水素を含むプロセスガスを供給して水素ガス雰囲気とした後に、酸素ガスを含むプロセスガスを供給して酸素ガスと水素ガスとを含む混合ガス雰囲気とするとよい。酸素は水素よりも早くプラズマによって活性化するため（活性種（ラジカル））、水素の活性化と酸素の活性化のタイミングを合わせるため、このような順番としている。酸素の活性種が残り、水素の活性種が先に消滅すると、ゲート電極の側壁が過度に酸化され、ゲート電極の電気的な抵抗値が増加するが、このよう順番とすると、ゲート電極の抵抗値の増加を抑制することができる。また、リーク電流に対応することができる。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 4】

前記酸素含有ガス中の酸素成分の流量が、前記水素含有ガスの水素成分の流量に対して65%以下である請求項 1 から 3 のいずれかに記載の半導体デバイスの製造方法。

【手続補正 9】

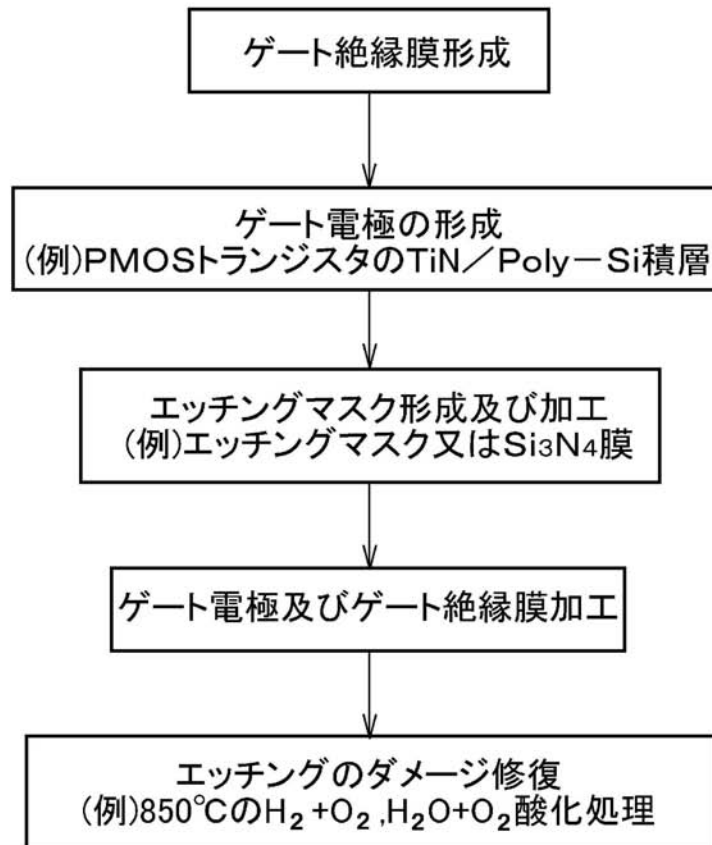
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 9

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 図 9 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I			テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/28 (2006.01)	H 0 1 L	21/31	C	5 F 1 4 0
H 0 1 L 29/423 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	3 0 1 G	
H 0 1 L 29/49 (2006.01)				
H 0 1 L 21/31 (2006.01)				
H 0 1 L 29/78 (2006.01)				

Fターム(参考)	4M104	BB01	BB04	BB16	BB17	BB18	BB30	CC05	DD65	DD86	EE03
		EE14	EE16	GG16	HH20						
	5F045	AA06	AA20	AB31	AC07	AC11	AD08	AF03	BB16	CA05	DP02
		DQ10	EH11	EH13	EH16	EK07	HA13	HA16			
	5F058	BA20	BC03	BC04	BC09	BC10	BF04	BF07	BF27	BF29	BH03
		BH16	BJ01	BJ07							
	5F083	EP02	EP23	EP43	EP44	EP55	EP56	GA06	GA27	JA02	JA04
		JA12	JA38	JA39	JA40	PR33					
	5F101	BA01	BA26	BA29	BA35	BA36	BB05	BD07	BF09	BH16	BH17
	5F140	AC32	BA01	BD04	BD11	BD13	BE10	BF01	BF04	BF05	BF07
		BF10	BG28	BG30	BG38	BG44	BK13	BK21			