

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7561552号
(P7561552)

(45)発行日 令和6年10月4日(2024.10.4)

(24)登録日 令和6年9月26日(2024.9.26)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 1 L	21/768 (2006.01)	H 0 1 L	21/90 C
H 0 1 L	21/3205(2006.01)	H 0 1 L	21/88 R
H 0 1 L	23/532 (2006.01)	H 0 1 L	21/285 C
H 0 1 L	21/285 (2006.01)	H 0 1 L	21/285 3 0 1
H 0 1 L	21/28 (2006.01)	H 0 1 L	21/28 3 0 1 R
請求項の数 3 (全21頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号 特願2020-153710(P2020-153710)		(73)特許権者 000207551	
(22)出願日 令和2年9月14日(2020.9.14)		株式会社S C R E E Nホールディングス	
(65)公開番号 特開2022-47758(P2022-47758A)		京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四	
(43)公開日 令和4年3月25日(2022.3.25)		丁目天神北町 1 番地の 1	
審査請求日 令和5年6月20日(2023.6.20)		(74)代理人 100088672	
特許法第 3 0 条第 2 項適用 第 8 1 回応用物理学会秋季		弁理士 吉竹 英俊	
学術講演会 講演予稿集、第 1 4 3 頁、応用物理学会		(74)代理人 100088845	
		弁理士 有田 貴弘	
		(72)発明者 河原▲崎▼ 光	
		京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天	
		神北町 1 番地の 1 株式会社S C R E E	
		Nセミコンダクターソリューションズ内	
		(72)発明者 谷村 英昭	
		京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天	
		神北町 1 番地の 1 株式会社S C R E E	
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 金属配線形成方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に金属配線を形成する金属配線形成方法であって、

基板上に窒化チタンをバリアメタル層として堆積させる第 1 堆積工程と、

フラッシュランプから前記基板にフラッシュ光を照射して前記バリアメタル層を加熱する第 1 加熱工程と、

前記バリアメタル層上にタングステンを金属配線として堆積させる第 2 堆積工程と、

前記フラッシュランプから前記基板にフラッシュ光を照射して前記金属配線を加熱する第 2 加熱工程と、

を備え、

前記第 2 堆積工程では、フッ化タングステンを原料としてタングステンを堆積させることを特徴とする金属配線形成方法。

【請求項 2】

請求項 1 記載の金属配線形成方法において、

前記第 1 加熱工程および前記第 2 加熱工程は、大気圧未満の減圧下で実行されることを特徴とする金属配線形成方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 記載の金属配線形成方法において、

前記第 1 加熱工程は、アンモニア雰囲気中にて実行され、

前記第 2 加熱工程は、フォーミングガス雰囲気中にて実行されることを特徴とする金属

配線形成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウェハー等の薄板状精密電子基板（以下、単に「基板」と称する）上にタングステン等の金属配線を形成する金属配線形成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年の集積回路は、10億個を超える膨大な数のトランジスタによって構成されている。これら多数のトランジスタを同時に、高速で、かつ相補的に動作させることにより、ロジック機能やメモリ機能を創出している。

10

【0003】

メモリ機能等を実現するために、多数のトランジスタは金属配線によって相互に接続されている。金属配線に用いる金属材料としては段差被膜性に優れたタングステン（W）が採用されることが多い。特許文献1には、コンタクトホールにCVDによってタングステン膜を形成することが開示されている。また、特許文献2には、CVDによってタングステンのコンタクトプラグを形成することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

20

【文献】特開2015-149354号公報

【文献】国際公開第2007/116433号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一般にCVDによってタングステンを堆積するときには原料ガスとしてフッ化タングステン（WF₆）が用いられる。このためCVDによってタングステンを堆積して形成された金属配線中にはフッ素（F）が混入している。

【0006】

また、典型的には、堆積後の金属配線には、堆積時不純物の脱離と高密度化の目的で熱処理が行われる。この熱処理時に金属配線中に混入していたフッ素が拡散して下層のチタン（Ti）やシリコン（Si）と反応してTiF_xやSiF_xを生成し、それらが堆積膨張して膜破壊を生じさせるボルケーノ現象が発生する。

30

【0007】

このような現象を防ぐために、タングステンの金属配線と下層のチタンとの間にバリアメタル層として窒化チタン（TiN）の薄膜を成膜し、それによってフッ素の拡散を防ぐ技術が知られている。

【0008】

デバイスの微細化に伴って、タングステンの金属配線のアスペクト比が増大しているため、より深く狭い領域に窒化チタン膜を成膜する必要がある。このため、CVDよりも段差被膜性に優れたALDによって窒化チタン膜が成膜されることが多い。

40

【0009】

しかしながら、ALDによって成膜された窒化チタン膜は、膜質が良好ではなく、フッ素の拡散を抑制するという機能を十分には果たせていない。その結果、バリアメタル層としての窒化チタン膜を成膜したとしても、ボルケーノ現象を完全に防ぐことはできなかった。

【0010】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、金属配線からのフッ素の拡散を十分に抑制することができる金属配線形成方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 1 1 】

上記課題を解決するため、請求項 1 の発明は、基板上に金属配線を形成する金属配線形成方法において、基板上に窒化チタンをバリアメタル層として堆積させる第 1 堆積工程と、フラッシュランプから前記基板にフラッシュ光を照射して前記バリアメタル層を加熱する第 1 加熱工程と、前記バリアメタル層上にタングステンを金属配線として堆積させる第 2 堆積工程と、前記フラッシュランプから前記基板にフラッシュ光を照射して前記金属配線を加熱する第 2 加熱工程と、を備え、前記第 2 堆積工程では、フッ化タングステンを原料としてタングステンを堆積させることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

また、請求項 2 の発明は、請求項 1 の発明に係る金属配線形成方法において、前記第 1 加熱工程および前記第 2 加熱工程は、大気圧未満の減圧下で実行されることを特徴とする。

10

【 0 0 1 4 】

また、請求項 3 の発明は、請求項 1 または請求項 2 の発明に係る金属配線形成方法において、前記第 1 加熱工程は、アンモニア雰囲気中にて実行され、前記第 2 加熱工程は、フォーミングガス雰囲気中にて実行されることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

請求項 1 から請求項 3 の発明によれば、フラッシュ光を照射して窒化チタンのバリアメタル層を加熱するため、バリアメタル層の膜質を改善して金属配線からのフッ素の拡散を十分に抑制することができる。また、フラッシュ光を照射してタングステンの金属配線を加熱するため、タングステンに混入しているフッ素の拡散をさらに抑制することができる。

20

【 0 0 1 8 】

特に、請求項 2 の発明によれば、第 1 加熱工程および第 2 加熱工程は、大気圧未満の減圧下で実行されるため、バリアメタル層および金属配線の酸化を防止することができる。

【 0 0 1 9 】

特に、請求項 3 の発明によれば、第 1 加熱工程は、アンモニア雰囲気中にて実行され、第 2 加熱工程は、フォーミングガス雰囲気中にて実行されるため、バリアメタル層の窒化を促進するとともに、金属配線に混入している不純物を還元することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

30

【図 1】本発明に係る金属配線形成方法の熱処理工程を実行する熱処理装置の構成を示す縦断面図である。

【図 2】保持部の全体外観を示す斜視図である。

【図 3】サセプタの平面図である。

【図 4】サセプタの断面図である。

【図 5】移載機構の平面図である。

【図 6】移載機構の側面図である。

【図 7】複数のハロゲンランプの配置を示す平面図である。

【図 8】本発明に係る金属配線形成方法の処理手順を示すフローチャートである。

【図 9】半導体ウェハーに窒化チタンが堆積された状態の一例を示す図である。

40

【図 10】半導体ウェハー W に対する熱処理の手順を示すフローチャートである。

【図 11】チャンバー内の圧力変化を示す図である。

【図 12】半導体ウェハーの表面温度の変化を示す図である。

【図 13】半導体ウェハーにタングステンが堆積された状態の一例を示す図である。

【図 14】熱処理時のフッ素の拡散の程度を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【 0 0 2 2 】

図 1 は、本発明に係る金属配線形成方法の熱処理工程を実行する熱処理装置 1 の構成を

50

示す縦断面図である。図 1 の熱処理装置 1 は、基板として円板形状の半導体ウェハ W に対してフラッシュ光照射を行うことによってその半導体ウェハ W を加熱するフラッシュランプアニール装置である。処理対象となる半導体ウェハ W のサイズは特に限定されるものではないが、例えば $\phi 300\text{ mm}$ や $\phi 450\text{ mm}$ である。なお、図 1 および以降の各図においては、理解容易のため、必要に応じて各部の寸法や数を誇張または簡略化して描いている。

【0023】

熱処理装置 1 は、半導体ウェハ W を収容するチャンバー 6 と、複数のフラッシュランプ FL を内蔵するフラッシュ加熱部 5 と、複数のハロゲンランプ HL を内蔵するハロゲン加熱部 4 と、を備える。チャンバー 6 の上側にフラッシュ加熱部 5 が設けられるとともに、下側にハロゲン加熱部 4 が設けられている。また、熱処理装置 1 は、チャンバー 6 の内部に、半導体ウェハ W を水平姿勢に保持する保持部 7 と、保持部 7 と装置外部との間で半導体ウェハ W の受け渡しを行う移載機構 10 と、を備える。さらに、熱処理装置 1 は、ハロゲン加熱部 4、フラッシュ加熱部 5 およびチャンバー 6 に設けられた各動作機構を制御して半導体ウェハ W の熱処理を実行させる制御部 3 を備える。

【0024】

チャンバー 6 は、筒状のチャンバー側部 61 の上下に石英製のチャンバー窓を装着して構成されている。チャンバー側部 61 は上下が開口された概略筒形状を有しており、上側開口には上側チャンバー窓 63 が装着されて閉塞され、下側開口には下側チャンバー窓 64 が装着されて閉塞されている。チャンバー 6 の天井部を構成する上側チャンバー窓 63 は、石英により形成された円板形状部材であり、フラッシュ加熱部 5 から出射されたフラッシュ光をチャンバー 6 内に透過する石英窓として機能する。また、チャンバー 6 の床部を構成する下側チャンバー窓 64 も、石英により形成された円板形状部材であり、ハロゲン加熱部 4 からの光をチャンバー 6 内に透過する石英窓として機能する。

【0025】

また、チャンバー側部 61 の内側の壁面の上部には反射リング 68 が装着され、下部には反射リング 69 が装着されている。反射リング 68、69 は、ともに円環状に形成されている。上側の反射リング 68 は、チャンバー側部 61 の上側から嵌め込むことによって装着される。一方、下側の反射リング 69 は、チャンバー側部 61 の下側から嵌め込んで図示省略のビスで留めることによって装着される。すなわち、反射リング 68、69 は、ともに着脱自在にチャンバー側部 61 に装着されるものである。チャンバー 6 の内側空間、すなわち上側チャンバー窓 63、下側チャンバー窓 64、チャンバー側部 61 および反射リング 68、69 によって囲まれる空間が熱処理空間 65 として規定される。

【0026】

チャンバー側部 61 に反射リング 68、69 が装着されることによって、チャンバー 6 の内壁面に凹部 62 が形成される。すなわち、チャンバー側部 61 の内壁面のうち反射リング 68、69 が装着されていない中央部分と、反射リング 68 の下端面と、反射リング 69 の上端面とで囲まれた凹部 62 が形成される。凹部 62 は、チャンバー 6 の内壁面に水平方向に沿って円環状に形成され、半導体ウェハ W を保持する保持部 7 を囲繞する。チャンバー側部 61 および反射リング 68、69 は、強度と耐熱性に優れた金属材料（例えば、ステンレススチール）にて形成されている。

【0027】

また、チャンバー側部 61 には、チャンバー 6 に対して半導体ウェハ W の搬入および搬出を行うための搬送開口部（炉口）66 が形設されている。搬送開口部 66 は、ゲートバルブ 185 によって開閉可能とされている。搬送開口部 66 は凹部 62 の外周面に連通接続されている。このため、ゲートバルブ 185 が搬送開口部 66 を開放しているときには、搬送開口部 66 から凹部 62 を通過して熱処理空間 65 への半導体ウェハ W の搬入および熱処理空間 65 からの半導体ウェハ W の搬出を行うことができる。また、ゲートバルブ 185 が搬送開口部 66 を閉鎖するとチャンバー 6 内の熱処理空間 65 が密閉空間とされる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

さらに、チャンバー側部 6 1 には、貫通孔 6 1 a が穿設されている。チャンバー側部 6 1 の外壁面の貫通孔 6 1 a が設けられている部位には放射温度計 2 0 が取り付けられている。貫通孔 6 1 a は、後述するサセプタ 7 4 に保持された半導体ウェハ W の下面から放射された赤外光を放射温度計 2 0 に導くための円筒状の孔である。貫通孔 6 1 a は、その貫通方向の軸がサセプタ 7 4 に保持された半導体ウェハ W の主面と交わるように、水平方向に対して傾斜して設けられている。よって、放射温度計 2 0 はサセプタ 7 4 の斜め下方に設けられることとなる。貫通孔 6 1 a の熱処理空間 6 5 に臨む側の端部には、放射温度計 2 0 が測定可能な波長領域の赤外光を透過させるフッ化バリウム材料からなる透明窓 2 1 が装着されている。

10

【 0 0 2 9 】

また、チャンバー 6 の内壁上部には熱処理空間 6 5 に処理ガスを供給するガス供給孔 8 1 が形設されている。ガス供給孔 8 1 は、凹部 6 2 よりも上側位置に形設されており、反射リング 6 8 に設けられていても良い。ガス供給孔 8 1 はチャンバー 6 の側壁内部に円環状に形成された緩衝空間 8 2 を介してガス供給管 8 3 に連通接続されている。ガス供給管 8 3 は処理ガス供給源 8 5 に接続されている。また、ガス供給管 8 3 の経路途中にはバルブ 8 4 が介挿されている。バルブ 8 4 が開放されると、処理ガス供給源 8 5 から緩衝空間 8 2 に処理ガスが送給される。緩衝空間 8 2 に流入した処理ガスは、ガス供給孔 8 1 よりも流体抵抗の小さい緩衝空間 8 2 内を拡がるように流れてガス供給孔 8 1 から熱処理空間 6 5 内へと供給される。処理ガスとしては、例えば窒素 (N_2)、アルゴン (Ar)、ヘリウム (He) 等の不活性ガス、または、水素 (H_2)、アンモニア (NH_3) 等の反応性ガス、或いはそれらを混合した混合ガスを用いることができる。

20

【 0 0 3 0 】

一方、チャンバー 6 の内壁下部には熱処理空間 6 5 内の気体を排気するガス排気孔 8 6 が形設されている。ガス排気孔 8 6 は、凹部 6 2 よりも下側位置に形設されており、反射リング 6 9 に設けられていても良い。ガス排気孔 8 6 はチャンバー 6 の側壁内部に円環状に形成された緩衝空間 8 7 を介してガス排気管 8 8 に連通接続されている。ガス排気管 8 8 は排気部 1 9 0 に接続されている。また、ガス排気管 8 8 の経路途中にはバルブ 8 9 が介挿されている。バルブ 8 9 が開放されると、熱処理空間 6 5 の気体がガス排気孔 8 6 から緩衝空間 8 7 を経てガス排気管 8 8 へと排出される。なお、ガス供給孔 8 1 およびガス排気孔 8 6 は、チャンバー 6 の周方向に沿って複数設けられていても良いし、スリット状のものであっても良い。

30

【 0 0 3 1 】

排気部 1 9 0 は真空ポンプを備える。バルブ 8 4 を閉止してチャンバー 6 内にガス供給を行うこと無く、排気部 1 9 0 を作動させてチャンバー 6 内の気体を排気することにより、チャンバー 6 内を大気圧未満に減圧することができる。また、ガス排気管 8 8 と並列に管径の異なる複数のバイパス管 (図示省略) を設け、それらを適宜開閉することによってチャンバー 6 からの排気速度を調整するようにしても良い。

【 0 0 3 2 】

図 2 は、保持部 7 の全体外観を示す斜視図である。保持部 7 は、基台リング 7 1、連結部 7 2 およびサセプタ 7 4 を備えて構成される。基台リング 7 1、連結部 7 2 およびサセプタ 7 4 はいずれも石英にて形成されている。すなわち、保持部 7 の全体が石英にて形成されている。

40

【 0 0 3 3 】

基台リング 7 1 は円環形状から一部が欠落した円弧形状の石英部材である。この欠落部分は、後述する移載機構 1 0 の移載アーム 1 1 と基台リング 7 1 との干渉を防ぐために設けられている。基台リング 7 1 は凹部 6 2 の底面に載置されることによって、チャンバー 6 の壁面に支持されることとなる (図 1 参照)。基台リング 7 1 の上面に、その円環形状の周方向に沿って複数の連結部 7 2 (本実施形態では 4 個) が立設される。連結部 7 2 も石英の部材であり、溶接によって基台リング 7 1 に固着される。

50

【 0 0 3 4 】

サセプタ 7 4 は基台リング 7 1 に設けられた 4 個の連結部 7 2 によって支持される。図 3 は、サセプタ 7 4 の平面図である。また、図 4 は、サセプタ 7 4 の断面図である。サセプタ 7 4 は、保持プレート 7 5、ガイドリング 7 6 および複数の基板支持ピン 7 7 を備える。保持プレート 7 5 は、石英にて形成された略円形の平板状部材である。保持プレート 7 5 の直径は半導体ウェハ W の直径よりも大きい。すなわち、保持プレート 7 5 は、半導体ウェハ W よりも大きな平面サイズを有する。

【 0 0 3 5 】

保持プレート 7 5 の上面周縁部にガイドリング 7 6 が設置されている。ガイドリング 7 6 は、半導体ウェハ W の直径よりも大きな内径を有する円環形状の部材である。例えば、半導体ウェハ W の直径が $\phi 300\text{ mm}$ の場合、ガイドリング 7 6 の内径は $\phi 320\text{ mm}$ である。ガイドリング 7 6 の内周は、保持プレート 7 5 から上方に向けて広がるようなテーパ面とされている。ガイドリング 7 6 は、保持プレート 7 5 と同様の石英にて形成される。ガイドリング 7 6 は、保持プレート 7 5 の上面に溶着するようにしても良いし、別途加工したピンなどによって保持プレート 7 5 に固定するようにしても良い。或いは、保持プレート 7 5 とガイドリング 7 6 とを一体の部材として加工するようにしても良い。

【 0 0 3 6 】

保持プレート 7 5 の上面のうちガイドリング 7 6 よりも内側の領域が半導体ウェハ W を保持する平面状の保持面 7 5 a とされる。保持プレート 7 5 の保持面 7 5 a には、複数の基板支持ピン 7 7 が立設されている。本実施形態においては、保持面 7 5 a の外周円（ガイドリング 7 6 の内周円）と同心円の周上に沿って 30° 毎に計 12 個の基板支持ピン 7 7 が立設されている。12 個の基板支持ピン 7 7 を配置した円の径（対向する基板支持ピン 7 7 間の距離）は半導体ウェハ W の径よりも小さく、半導体ウェハ W の径が $\phi 300\text{ mm}$ であれば $\phi 270\text{ mm} \sim \phi 280\text{ mm}$ （本実施形態では $\phi 270\text{ mm}$ ）である。それぞれの基板支持ピン 7 7 は石英にて形成されている。複数の基板支持ピン 7 7 は、保持プレート 7 5 の上面に溶接によって設けるようにしても良いし、保持プレート 7 5 と一体に加工するようにしても良い。

【 0 0 3 7 】

図 2 に戻り、基台リング 7 1 に立設された 4 個の連結部 7 2 とサセプタ 7 4 の保持プレート 7 5 の周縁部とが溶接によって固着される。すなわち、サセプタ 7 4 と基台リング 7 1 とは連結部 7 2 によって固定的に連結されている。このような保持部 7 の基台リング 7 1 がチャンバ 6 の壁面に支持されることによって、保持部 7 がチャンバ 6 に装着される。保持部 7 がチャンバ 6 に装着された状態においては、サセプタ 7 4 の保持プレート 7 5 は水平姿勢（法線が鉛直方向と一致する姿勢）となる。すなわち、保持プレート 7 5 の保持面 7 5 a は水平面となる。

【 0 0 3 8 】

チャンバ 6 に搬入された半導体ウェハ W は、チャンバ 6 に装着された保持部 7 のサセプタ 7 4 の上に水平姿勢にて載置されて保持される。このとき、半導体ウェハ W は保持プレート 7 5 上に立設された 12 個の基板支持ピン 7 7 によって支持されてサセプタ 7 4 に保持される。より厳密には、12 個の基板支持ピン 7 7 の上端部が半導体ウェハ W の下面に接触して当該半導体ウェハ W を支持する。12 個の基板支持ピン 7 7 の高さ（基板支持ピン 7 7 の上端から保持プレート 7 5 の保持面 7 5 a までの距離）は均一であるため、12 個の基板支持ピン 7 7 によって半導体ウェハ W を水平姿勢に支持することができる。

【 0 0 3 9 】

また、半導体ウェハ W は複数の基板支持ピン 7 7 によって保持プレート 7 5 の保持面 7 5 a から所定の間隔を隔てて支持されることとなる。基板支持ピン 7 7 の高さよりもガイドリング 7 6 の厚さの方が大きい。従って、複数の基板支持ピン 7 7 によって支持された半導体ウェハ W の水平方向の位置ずれはガイドリング 7 6 によって防止される。

【 0 0 4 0 】

また、図 2 および図 3 に示すように、サセプタ 7 4 の保持プレート 7 5 には、上下に貫通して開口部 7 8 が形成されている。開口部 7 8 は、放射温度計 2 0 が半導体ウェハー W の下面から放射される放射光（赤外光）を受光するために設けられている。すなわち、放射温度計 2 0 が開口部 7 8 およびチャンバー側部 6 1 の貫通孔 6 1 a に装着された透明窓 2 1 を介して半導体ウェハー W の下面から放射された光を受光して当該半導体ウェハー W の温度を測定する。さらに、サセプタ 7 4 の保持プレート 7 5 には、後述する移載機構 1 0 のリフトピン 1 2 が半導体ウェハー W の受け渡しのために貫通する 4 個の貫通孔 7 9 が穿設されている。

【 0 0 4 1 】

図 5 は、移載機構 1 0 の平面図である。また、図 6 は、移載機構 1 0 の側面図である。移載機構 1 0 は、2 本の移載アーム 1 1 を備える。移載アーム 1 1 は、概ね円環状の凹部 6 2 に沿うような円弧形状とされている。それぞれの移載アーム 1 1 には 2 本のリフトピン 1 2 が立設されている。移載アーム 1 1 およびリフトピン 1 2 は石英にて形成されている。各移載アーム 1 1 は水平移動機構 1 3 によって回動可能とされている。水平移動機構 1 3 は、一对の移載アーム 1 1 を保持部 7 に対して半導体ウェハー W の移載を行う移載動作位置（図 5 の実線位置）と保持部 7 に保持された半導体ウェハー W と平面視で重ならない退避位置（図 5 の二点鎖線位置）との間で水平移動させる。水平移動機構 1 3 としては、個別のモータによって各移載アーム 1 1 をそれぞれ回動させるものであっても良いし、リンク機構を用いて 1 個のモータによって一对の移載アーム 1 1 を連動させて回動させるものであっても良い。

【 0 0 4 2 】

また、一对の移載アーム 1 1 は、昇降機構 1 4 によって水平移動機構 1 3 とともに昇降移動される。昇降機構 1 4 が一对の移載アーム 1 1 を移載動作位置にて上昇させると、計 4 本のリフトピン 1 2 がサセプタ 7 4 に穿設された貫通孔 7 9（図 2，3 参照）を通過し、リフトピン 1 2 の上端がサセプタ 7 4 の上面から突き出る。一方、昇降機構 1 4 が一对の移載アーム 1 1 を移載動作位置にて下降させてリフトピン 1 2 を貫通孔 7 9 から抜き取り、水平移動機構 1 3 が一对の移載アーム 1 1 を開くように移動させると各移載アーム 1 1 が退避位置に移動する。一对の移載アーム 1 1 の退避位置は、保持部 7 の基台リング 7 1 の直上である。基台リング 7 1 は凹部 6 2 の底面に載置されているため、移載アーム 1 1 の退避位置は凹部 6 2 の内側となる。なお、移載機構 1 0 の駆動部（水平移動機構 1 3 および昇降機構 1 4）が設けられている部位の近傍にも図示省略の排気機構が設けられており、移載機構 1 0 の駆動部周辺の雰囲気チャンバー 6 の外部に排出されるように構成されている。

【 0 0 4 3 】

図 1 に戻り、チャンバー 6 の上方に設けられたフラッシュ加熱部 5 は、筐体 5 1 の内側に、複数本（本実施形態では 3 0 本）のキセノンフラッシュランプ FL からなる光源と、その光源の上方を覆うように設けられたリフレクタ 5 2 と、を備えて構成される。また、フラッシュ加熱部 5 の筐体 5 1 の底部にはランプ光放射窓 5 3 が装着されている。フラッシュ加熱部 5 の床部を構成するランプ光放射窓 5 3 は、石英により形成された板状の石英窓である。フラッシュ加熱部 5 がチャンバー 6 の上方に設置されることにより、ランプ光放射窓 5 3 が上側チャンバー窓 6 3 と相対向することとなる。フラッシュランプ FL はチャンバー 6 の上方からランプ光放射窓 5 3 および上側チャンバー窓 6 3 を介して熱処理空間 6 5 にフラッシュ光を照射する。

【 0 0 4 4 】

複数のフラッシュランプ FL は、それぞれが長尺の円筒形状を有する棒状ランプであり、それぞれの長手方向が保持部 7 に保持される半導体ウェハー W の主面に沿って（つまり水平方向に沿って）互いに平行となるように平面状に配列されている。よって、フラッシュランプ FL の配列によって形成される平面も水平面である。複数のフラッシュランプ FL が配列される領域は半導体ウェハー W の平面サイズよりも大きい。

【 0 0 4 5 】

キセノンフラッシュランプFLは、その内部にキセノンガスが封入されその両端部にコンデンサーに接続された陽極および陰極が配設された円筒形状のガラス管（放電管）と、該ガラス管の外周面上に付設されたトリガー電極とを備える。キセノンガスは電気的には絶縁体であることから、コンデンサーに電荷が蓄積されていたとしても通常の状態ではガラス管内に電気は流れない。しかしながら、トリガー電極に高電圧を印加して絶縁を破壊した場合には、コンデンサーに蓄えられた電気がガラス管内に瞬時に流れ、そのときのキセノンの原子あるいは分子の励起によって光が放出される。このようなキセノンフラッシュランプFLにおいては、予めコンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーが0.1ミリ秒でないし100ミリ秒という極めて短い光パルスに変換されることから、ハロゲンランプHLの如き連続点灯の光源に比べて極めて強い光を照射し得るという特徴を有する。すなわち、フラッシュランプFLは、1秒未満の極めて短い時間で瞬間的に発光するパルス発光ランプである。なお、フラッシュランプFLの発光時間は、フラッシュランプFLに電力供給を行うランプ電源のコイル定数によって調整することができる。

10

【0046】

また、リフレクタ52は、複数のフラッシュランプFLの上方にそれら全体を覆うように設けられている。リフレクタ52の基本的な機能は、複数のフラッシュランプFLから出射されたフラッシュ光を熱処理空間65の側に反射するというものである。リフレクタ52はアルミニウム合金板にて形成されており、その表面（フラッシュランプFLに臨む側の面）はブラスト処理により粗面化加工が施されている。

【0047】

20

チャンバー6の下方に設けられたハロゲン加熱部4は、筐体41の内側に複数本（本実施形態では40本）のハロゲンランプHLを内蔵している。ハロゲン加熱部4は、複数のハロゲンランプHLによってチャンバー6の下方から下側チャンバー窓64を介して熱処理空間65への光照射を行って半導体ウェハWを加熱する。

【0048】

図7は、複数のハロゲンランプHLの配置を示す平面図である。40本のハロゲンランプHLは上下2段に分けて配置されている。保持部7に近い上段に20本のハロゲンランプHLが配設されるとともに、上段よりも保持部7から遠い下段にも20本のハロゲンランプHLが配設されている。各ハロゲンランプHLは、長尺の円筒形状を有する棒状ランプである。上段、下段ともに20本のハロゲンランプHLは、それぞれの長手方向が保持部7に保持される半導体ウェハWの主面に沿って（つまり水平方向に沿って）互いに平行となるように配列されている。よって、上段、下段ともにハロゲンランプHLの配列によって形成される平面は水平面である。

30

【0049】

また、図7に示すように、上段、下段ともに保持部7に保持される半導体ウェハWの中央部に対向する領域よりも周縁部に対向する領域におけるハロゲンランプHLの配設密度が高くなっている。すなわち、上下段ともに、ランプ配列の中央部よりも周縁部の方がハロゲンランプHLの配設ピッチが短い。このため、ハロゲン加熱部4からの光照射による加熱時に温度低下が生じやすい半導体ウェハWの周縁部により多い光量の照射を行うことができる。

40

【0050】

また、上段のハロゲンランプHLからなるランプ群と下段のハロゲンランプHLからなるランプ群とが格子状に交差するように配列されている。すなわち、上段に配置された20本のハロゲンランプHLの長手方向と下段に配置された20本のハロゲンランプHLの長手方向とが互いに直交するように計40本のハロゲンランプHLが配設されている。

【0051】

ハロゲンランプHLは、ガラス管内部に配設されたフィラメントに通電することでフィラメントを白熱化させて発光させるフィラメント方式の光源である。ガラス管の内部には、窒素やアルゴン等の不活性ガスにハロゲン元素（ヨウ素、臭素等）を微量導入した気体が封入されている。ハロゲン元素を導入することによって、フィラメントの折損を抑制し

50

つつフィラメントの温度を高温に設定することが可能となる。したがって、ハロゲンランプHLは、通常の白熱電球に比べて寿命が長かつ強い光を連続的に照射できるという特性を有する。すなわち、ハロゲンランプHLは少なくとも1秒以上連続して発光する連続点灯ランプである。また、ハロゲンランプHLは棒状ランプであるため長寿命であり、ハロゲンランプHLを水平方向に沿わせて配置することにより上方の半導体ウェハーWへの放射効率が優れたものとなる。

【0052】

また、ハロゲン加熱部4の筐体41内にも、2段のハロゲンランプHLの下側にリフレクタ43が設けられている(図1)。リフレクタ43は、複数のハロゲンランプHLから出射された光を熱処理空間65の側に反射する。

10

【0053】

制御部3は、熱処理装置1に設けられた上記の種々の動作機構を制御する。制御部3のハードウェアとしての構成は一般的なコンピュータと同様である。すなわち、制御部3は、各種演算処理を行う回路であるCPU、基本プログラムを記憶する読み出し専用のメモリであるROM、各種情報を記憶する読み書き自在のメモリであるRAMおよび制御用ソフトウェアやデータなどを記憶しておく磁気ディスクを備えている。制御部3のCPUが所定の処理プログラムを実行することによって熱処理装置1における処理が進行する。

【0054】

上記の構成以外にも熱処理装置1は、半導体ウェハーWの熱処理時にハロゲンランプHLおよびフラッシュランプFLから発生する熱エネルギーによるハロゲン加熱部4、フラッシュ加熱部5およびチャンバー6の過剰な温度上昇を防止するため、様々な冷却用の構造を備えている。例えば、チャンバー6の壁体には水冷管(図示省略)が設けられている。また、ハロゲン加熱部4およびフラッシュ加熱部5は、内部に気体流を形成して排熱する空冷構造とされている。また、上側チャンバー窓63とランプ光放射窓53との間隙にも空気が供給され、フラッシュ加熱部5および上側チャンバー窓63を冷却する。

20

【0055】

次に、本発明に係る金属配線形成方法の処理手順について説明する。図8は、本発明に係る金属配線形成方法の処理手順を示すフローチャートである。まず、半導体ウェハーWに窒化チタン(TiN)を堆積する(ステップS1)。図9は、半導体ウェハーWに窒化チタンが堆積された状態の一例を示す図である。

30

【0056】

シリコン(Si)の基材101の上にゲート絶縁膜102を挟んでゲート電極103が形成されている。ゲート絶縁膜102は、例えばシリコン酸化膜(SiO₂)である。また、ゲート電極103は例えばポリシリコンで形成されている。なお、ゲート絶縁膜102は、HfO₂等の高誘電率材料を用いた高誘電率膜(high-k膜)であっても良いし、ゲート電極103はTiN等を用いたメタルゲート電極であっても良い。シリコンの基材101には不純物が注入されたソース領域104およびドレイン領域105が形成されている。なお、ゲート電極103の側方にSiNのサイドウォールが形成されていても良い。

【0057】

基材101の上面には、ソース領域104、ドレイン領域105およびゲート電極103等を備えた素子を覆うように二酸化ケイ素(SiO₂)の絶縁膜110が成膜されている。絶縁膜110にはソース領域104およびドレイン領域105の電極を絶縁膜110上に引き上げるためのコンタクトホール112が設けられる。このコンタクトホール112の底部にチタン(Ti)の下地層116が形成されている。その下地層116の上に窒化チタンが堆積されてバリアメタル層117が成膜される。バリアメタル層117は、コンタクトホール112内の深く狭い領域まで成膜されるため、ALD(Atomic Layer Deposition)によって窒化チタンを堆積させることにより成膜される。なお、図9の例では、ソース領域104およびドレイン領域105にコンタクトホール112が設けられているが、ゲート電極103についても同様に構成されていても良い。

40

【0058】

50

A L Dによって成膜されたままの窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 は膜質が良好ではない。このため、次に、窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 が成膜された半導体ウェハー W に対する熱処理が行われる（ステップ S 2）。図 1 0 は、半導体ウェハー W に対する熱処理の手順を示すフローチャートである。半導体ウェハー W に対する熱処理は上記の熱処理装置 1 によって実行される。以下、熱処理装置 1 における処理手順について説明を続ける。熱処理装置 1 における処理は、制御部 3 が熱処理装置 1 の各動作機構を制御することにより進行する。

【 0 0 5 9 】

図 9 に示したような窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 が形成された半導体ウェハー W が熱処理装置 1 のチャンバー 6 内に搬入される（ステップ S 1 1）。半導体ウェハー W の搬入時には、ゲートバルブ 1 8 5 が開いて搬送開口部 6 6 が開放され、装置外部の搬送ロボットにより搬送開口部 6 6 を介して処理対象となる半導体ウェハー W がチャンバー 6 内の熱処理空間 6 5 に搬入される。この際に、半導体ウェハー W の搬入にともなう装置外部の雰囲気チャンバー 6 内に巻き込むおそれがある。そこで、バルブ 8 4 を開放して処理ガス供給源 8 5 からチャンバー 6 内に窒素ガスを供給し続けることによって搬送開口部 6 6 から窒素ガス流を流出させ、装置外部の雰囲気がチャンバー 6 内の流入するのを最小限に抑制するようにしても良い。

【 0 0 6 0 】

搬送ロボットによって搬入された半導体ウェハー W は保持部 7 の直上位置まで進出して停止する。そして、移載機構 1 0 の一対の移載アーム 1 1 が退避位置から移載動作位置に水平移動して上昇することにより、リフトピン 1 2 が貫通孔 7 9 を通ってサセプタ 7 4 の保持プレート 7 5 の上面から突き出て半導体ウェハー W を受け取る。このとき、リフトピン 1 2 は基板支持ピン 7 7 の上端よりも上方にまで上昇する。

【 0 0 6 1 】

半導体ウェハー W がリフトピン 1 2 に載置された後、搬送ロボットが熱処理空間 6 5 から退出し、ゲートバルブ 1 8 5 によって搬送開口部 6 6 が閉鎖される。そして、一対の移載アーム 1 1 が下降することにより、半導体ウェハー W は移載機構 1 0 から保持部 7 のサセプタ 7 4 に受け渡されて水平姿勢にて下方より保持される。半導体ウェハー W は、保持プレート 7 5 上に立設された複数の基板支持ピン 7 7 によって支持されてサセプタ 7 4 に保持される。また、半導体ウェハー W は、バリアメタル層 1 1 7 が形成された表面を上面として保持部 7 に保持される。複数の基板支持ピン 7 7 によって支持された半導体ウェハー W の裏面（表面とは反対側の主面）と保持プレート 7 5 の保持面 7 5 a との間には所定の間隔が形成される。サセプタ 7 4 の下方にまで下降した一対の移載アーム 1 1 は水平移動機構 1 3 によって退避位置、すなわち凹部 6 2 の内側に退避する。

【 0 0 6 2 】

半導体ウェハー W がチャンバー 6 に収容され、ゲートバルブ 1 8 5 によって搬送開口部 6 6 が閉鎖された後、チャンバー 6 内を大気圧よりも低い気圧に減圧する（ステップ S 1 2）。具体的には、搬送開口部 6 6 が閉鎖されることによって、チャンバー 6 内の熱処理空間 6 5 が密閉空間となる。この状態にて、給気のためのバルブ 8 4 を閉止するとともに、排気部 1 9 0 を作動させつつ排気のためのバルブ 8 9 を開放する。これにより、チャンバー 6 内に対してはガス供給が行われることなく排気が行われることとなり、チャンバー 6 内の熱処理空間 6 5 が大気圧未満に減圧される。

【 0 0 6 3 】

図 1 1 は、チャンバー 6 内の圧力変化を示す図である。同図の横軸には時刻を示し、縦軸にはチャンバー 6 内の圧力を示す。半導体ウェハー W がチャンバー 6 に収容されて搬送開口部 6 6 が閉鎖された時点では、チャンバー 6 内の圧力は大気圧 P_s （= 約 101325 Pa）である。そして、時刻 t_1 にチャンバー 6 内の減圧が開始され、時刻 t_2 にチャンバー 6 の圧力（真空度）が気圧 P_1 に到達する。気圧 P_1 は、例えば約 100 Pa である。チャンバー 6 内を減圧する際に、排気流量を 2 段階に切り替えて排気速度を変化させるようにしても良い。例えば、減圧の初期段階では比較的遅い排気速度とした後に、排気速度を

10

20

30

40

50

高めるようにしても良い。このようにすることより、チャンバー 6 内にパーティクルを巻き上げることなく、迅速にチャンバー 6 内を減圧することができる。

【 0 0 6 4 】

チャンバー 6 内の圧力が気圧 P 1 に到達した時刻 t 2 に、排気のためのバルブ 8 9 を閉止して給気のためのバルブ 8 4 を開放し、処理ガス供給源 8 5 からチャンバー 6 内の熱処理空間 6 5 にアンモニアを供給する（ステップ S 1 3）。アンモニアは窒素との混合ガスとして供給されても良い。チャンバー 6 内にアンモニアが供給されることによって、チャンバー 6 内の半導体ウェハー W の周辺にはアンモニア雰囲気形成される。なお、チャンバー 6 にアンモニアを供給している間も、小流量（アンモニアの供給流量未満）にてチャンバー 6 からの排気を行うようにしても良い。

10

【 0 0 6 5 】

チャンバー 6 内にアンモニアが供給されることによって、チャンバー 6 内の圧力が気圧 P 1 から上昇して時刻 t 3 に気圧 P 2 に復圧する。気圧 P 2 は、気圧 P 1 より高く、かつ、大気圧 P s よりも低く、例えば約 5 0 0 0 P a である。チャンバー 6 内を一旦気圧 P 1 にまで減圧してから気圧 P 2 に復圧しているため、気圧 P 2 に復圧後のチャンバー 6 内のアンモニア雰囲気中における酸素濃度を約 2 0 0 p p b 以下とすることができる。

【 0 0 6 6 】

チャンバー 6 内の圧力が気圧 P 2 に復圧した時刻 t 3 以降は、チャンバー 6 に対するアンモニアの供給流量とチャンバー 6 からの排気流量とを等しくしてチャンバー 6 内の圧力を気圧 P 2 に維持する。

20

【 0 0 6 7 】

図 1 2 は、半導体ウェハー W の表面温度の変化を示す図である。チャンバー 6 内の圧力が気圧 P 2 に到達した時点以降の時刻 t 4 に、ハロゲン加熱部 4 の 4 0 本のハロゲンランプ H L が一斉に点灯して半導体ウェハー W の予備加熱（アシスト加熱）が開始される（ステップ S 1 4）。ハロゲンランプ H L から出射されたハロゲン光は、石英にて形成された下側チャンバー窓 6 4 およびサセプタ 7 4 を透過して半導体ウェハー W の裏面から照射される。ハロゲンランプ H L からの光照射を受けることによって半導体ウェハー W が予備加熱されて温度が上昇する。なお、移載機構 1 0 の移載アーム 1 1 は凹部 6 2 の内側に退避しているため、ハロゲンランプ H L による加熱の障害となることは無い。

【 0 0 6 8 】

30

ハロゲンランプ H L からの光照射によって昇温する半導体ウェハー W の温度は放射温度計 2 0 によって測定される。測定された半導体ウェハー W の温度は制御部 3 に伝達される。制御部 3 は、ハロゲンランプ H L からの光照射によって昇温する半導体ウェハー W の温度が所定の予備加熱温度 T 1 に到達したか否かを監視しつつ、ハロゲンランプ H L の出力を制御する。すなわち、制御部 3 は、放射温度計 2 0 による測定値に基づいて、半導体ウェハー W の温度が予備加熱温度 T 1 となるようにハロゲンランプ H L の出力をフィードバック制御する。予備加熱温度 T 1 は 5 0 0 以上 7 0 0 以下であり、本実施形態では 6 0 0 である。

【 0 0 6 9 】

半導体ウェハー W の温度が予備加熱温度 T 1 に到達した後、制御部 3 は半導体ウェハー W をその予備加熱温度 T 1 に暫時維持する。具体的には、放射温度計 2 0 によって測定される半導体ウェハー W の温度が予備加熱温度 T 1 に到達した時刻 t 5 に制御部 3 がハロゲンランプ H L の出力を調整し、半導体ウェハー W の温度をほぼ予備加熱温度 T 1 に維持している。

40

【 0 0 7 0 】

このようなハロゲンランプ H L による予備加熱を行うことによって、窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 を含む半導体ウェハー W の全体を予備加熱温度 T 1 に均一に昇温している。ハロゲンランプ H L による予備加熱の段階においては、より放熱が生じやすい半導体ウェハー W の周縁部の温度が中央部よりも低下する傾向にあるが、ハロゲン加熱部 4 におけるハロゲンランプ H L の配設密度は、半導体ウェハー W の中央部に対向する領域よりも

50

周縁部に対向する領域の方が高くなっている。このため、放熱が生じやすい半導体ウェハーWの周縁部に照射される光量が多くなり、予備加熱段階における半導体ウェハーWの面内温度分布を均一なものとすることができる。

【0071】

半導体ウェハーWの温度が予備加熱温度T1に到達して所定時間が経過した時刻t6にフラッシュ加熱部5のフラッシュランプFLがサセプタ74に保持された半導体ウェハーWの表面にフラッシュ光照射を行う（ステップS15）。このとき、フラッシュランプFLから放射されるフラッシュ光の一部は直接にチャンバー6内へと向かい、他の一部は一旦リフレクタ52により反射されてからチャンバー6内へと向かい、これらのフラッシュ光の照射により半導体ウェハーWのフラッシュ加熱が行われる。

10

【0072】

フラッシュ加熱は、フラッシュランプFLからのフラッシュ光（閃光）照射により行われるため、半導体ウェハーWの表面温度を短時間で上昇することができる。すなわち、フラッシュランプFLから照射されるフラッシュ光は、予めコンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーが極めて短い光パルスに変換された、照射時間が0.1ミリ秒以上100ミリ秒以下程度の極めて短く強い閃光である。窒化チタンのバリアメタル層117が成膜された半導体ウェハーWの表面にフラッシュランプFLからフラッシュ光を照射することによって、バリアメタル層117を含む半導体ウェハーWの表面は瞬間的に処理温度T2にまで昇温してバリアメタル層117の堆積後熱処理が実行される。フラッシュ光照射によって半導体ウェハーWの表面が到達する最高温度（ピーク温度）である処理温度T2は900 以上1100 以下である。半導体ウェハーWの表面温度はフラッシュランプFLからのフラッシュ光照射によって瞬間的に処理温度T2にまで上昇した後、急速に降温する。

20

【0073】

アンモニア雰囲気中にて半導体ウェハーWにフラッシュランプFLからフラッシュ光を照射して窒化チタンのバリアメタル層117を瞬間的に処理温度T2にまで昇温することにより、ALDによって成膜された窒化チタンのバリアメタル層117が焼き締められてその膜質が改善される。また、アンモニア雰囲気中にてバリアメタル層117のフラッシュ加熱を行うことにより、バリアメタル層117の窒化が促進される。

【0074】

30

また、減圧下で加熱処理が実行されるため、チャンバー6内に存在している酸素等の不純物元素の絶対量が少ない。このため、加熱処理時にチャンバー6内の雰囲気から不純物元素がバリアメタル層117に侵入することが防止され、バリアメタル層117の酸化を抑制して高抵抗化を防ぐことができる。さらに、減圧下でバリアメタル層117を加熱することにより、バリアメタル層117に含まれる不純物を外方拡散によって脱離させることができる。

【0075】

半導体ウェハーWにフラッシュ光を照射した後、給気のためのバルブ84を閉止してチャンバー6内を再び減圧する。チャンバー6内を再び気圧P1にまで減圧することによって、チャンバー6内の熱処理空間65からアンモニアを排出することができる。続いて、チャンバー6内の圧力が気圧P1にまで減圧された時刻t7に排気のためのバルブ89を閉止して給気のためのバルブ84を開放し、処理ガス供給源85からチャンバー6内に窒素ガスを供給して大気圧Psにまで復圧する。

40

【0076】

また、フラッシュ光照射が終了した後、ハロゲンランプHLも消灯する。これにより、半導体ウェハーWが予備加熱温度T1からも急速に降温する。降温中の半導体ウェハーWの温度は放射温度計20によって測定され、その測定結果は制御部3に伝達される。制御部3は、放射温度計20の測定結果より半導体ウェハーWの温度が所定温度にまで降温したか否かを監視する。半導体ウェハーWの温度が所定温度以下にまで降温したことが制御部3によって確認された後、半導体ウェハーWがチャンバー6から搬出される（ステップ

50

S 1 6)。半導体ウェハ－Wの搬出時には、移載機構 1 0 の一対の移載アーム 1 1 が再び退避位置から移載動作位置に水平移動して上昇することにより、リフトピン 1 2 がサセプタ 7 4 の上面から突き出て熱処理後の半導体ウェハ－Wをサセプタ 7 4 から受け取る。続いて、ゲートバルブ 1 8 5 により閉鎖されていた搬送開口部 6 6 が開放され、リフトピン 1 2 上に載置された半導体ウェハ－Wが装置外部の搬送ロボットによりチャンバ－6から搬出される。これにより、熱処理装置 1 におけるバリアメタル層 1 1 7 の堆積後熱処理が完了する。

【 0 0 7 7 】

図 8 に戻り、次に半導体ウェハ－Wにタングステン (W) を堆積する (ステップ S 3)。図 1 3 は、半導体ウェハ－Wにタングステンが堆積された状態の一例を示す図である。コンタクトホール 1 1 2 内にてバリアメタル層 1 1 7 の上にタングステンが堆積されて埋め込まれ、タングステンの金属配線 1 1 5 が形設される。タングステンの金属配線 1 1 5 は、ソース領域 1 0 4 等の電極と上方の金属層 (例えば、銅 (C u) やアルミニウム (A l)) にて形成される) とを接続するためタングステンプラグである。タングstenは、抵抗率が低く、しかも段差被膜性 (ステップカバレッジ) に優れているため、プラグ材料として好適である。

10

【 0 0 7 8 】

タングstenは、A L D (Atomic Layer Deposition) および C V D (Chemical Vapor Deposition) によって堆積される。具体的には、コンタクトホール 1 1 2 内に A L D によって薄くタングstenを堆積させた後に、C V D によってタングstenを埋め込む。C V D によってタングstenを堆積するときには原料ガスとしてフッ化タングsten (W F ₆) を用いている。このため C V D によってタングstenを堆積して形成された金属配線 1 1 5 中にはフッ素 (F) が混入している。

20

【 0 0 7 9 】

タングstenを堆積したままの金属配線 1 1 5 は密度が低くて脆い。従って、堆積したままの金属配線 1 1 5 をそのまま使用することはできず、金属配線 1 1 5 が形成された半導体ウェハ－Wに対する 2 度目の熱処理を実行することにより、金属配線 1 1 5 に堆積後熱処理を施す (ステップ S 4)。

【 0 0 8 0 】

半導体ウェハ－Wに対する 2 度目の熱処理も熱処理装置 1 によって実行される。半導体ウェハ－Wに対する 2 度目の熱処理の処理手順も概ね図 1 0 に示したのと同様である。但し、1 度目の熱処理 (第 1 熱処理) が窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 の堆積後熱処理であったのに対して、2 度目の熱処理 (第 2 熱処理) はタングstenの金属配線 1 1 5 の堆積後熱処理であるため、処理条件が異なる。

30

【 0 0 8 1 】

具体的には、第 1 熱処理では処理ガスとしてアンモニアを供給していたのに対して、第 2 熱処理ではチャンバ－6内にフォーミングガスを供給する。フォーミングガスとは、水素 (H ₂) と窒素 (N ₂) との混合ガスである。すなわち、フォーミングガスは、水素を含む還元性ガスである。チャンバ－6内にフォーミングガスが供給されることによって、チャンバ－6内の半導体ウェハ－Wの周辺には還元雰囲気形成される。供給するフォーミングガス中における水素の濃度 (つまり、水素と窒素との混合比) は、特に限定されるものではなく適宜の値とすることができるが、例えば 4 vol. % である。

40

【 0 0 8 2 】

また、第 2 熱処理におけるハロゲンランプ H L による予備加熱温度 T 1 は 4 5 0 以上 6 0 0 以下である。さらに、第 2 熱処理におけるフラッシュ光照射による半導体ウェハ－Wの表面の処理温度 T 2 は 9 0 0 である。

【 0 0 8 3 】

第 2 熱処理においては、半導体ウェハ－Wが予備加熱されてからさらにフラッシュ加熱されることにより、金属配線 1 1 5 が処理温度 T 2 にまで加熱され、金属配線 1 1 5 を構成するタングstenの結晶粒が粒成長してその粒径が大きくなる。金属配線 1 1 5 中の結

50

晶粒が粒成長して粗大化することにより、金属配線 1 1 5 の抵抗率が下がる。

【 0 0 8 4 】

また、フラッシュ加熱は低熱履歴処理であるため、熱処理によるゲート絶縁膜 1 0 2 の劣化並びにソース領域 1 0 4 およびドレイン領域 1 0 5 におけるドーパントの不活性化を抑制することもできる。

【 0 0 8 5 】

また、第 1 熱処理と同じく減圧下で加熱処理が実行されるため、チャンバー 6 内に存在している酸素等の不純物元素の絶対量が少ない。このため、加熱処理時にチャンバー 6 内の雰囲気から不純物元素が金属配線 1 1 5 に侵入することが効果的に防止され、金属配線 1 1 5 の抵抗率の上昇を抑制することができる。減圧下で金属配線 1 1 5 の加熱処理を行えば、金属配線 1 1 5 に含まれる不純物を外方拡散によって脱離させることもできる。

10

【 0 0 8 6 】

さらに、還元雰囲気中にて金属配線 1 1 5 の加熱処理が実行されるため、堆積時に金属配線 1 1 5 中に混入した酸素等の不純物を還元することができる。これにより、金属配線 1 1 5 の抵抗率をより低下させることができる。

【 0 0 8 7 】

上述した通り、CVDによってタングステンを堆積して形成された金属配線 1 1 5 中にはフッ素が混入している。金属配線 1 1 5 を加熱したときには、混入しているフッ素が拡散する。本実施形態においては、照射時間が 0 . 1 ミリセカンド以上 1 0 0 ミリセカンド以下程度の極めて短いフラッシュ光を半導体ウェハー W に照射して金属配線 1 1 5 を瞬間的にフラッシュ加熱しているため、フッ素の拡散を抑制することができる。

20

【 0 0 8 8 】

図 1 4 は、熱処理時のフッ素の拡散の程度を示す図である。同図において、縦軸にはフッ素濃度を示し、横軸には深さ位置を示している。深さ D 1 よりも浅い領域はタングステンの金属配線 1 1 5 であり、深さ D 1 よりも深い領域は窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7、チタンの下地層 1 1 6 およびシリコンの基材 1 0 1 である。

【 0 0 8 9 】

図 1 4 において、実線で示すのは本実施形態のように半導体ウェハー W にフラッシュ加熱を行ったときのフッ素の濃度分布である。図 1 4 には、比較例として、いわゆる RTP (Rapid thermal processing) によって半導体ウェハー W の加熱処理を行った場合のフッ素の濃度分布を点線で示す。

30

【 0 0 9 0 】

RTP は、数秒程度をかけて半導体ウェハー W を加熱する処理であるため、フッ素が長距離を拡散する。その結果、フッ素はチタンの下地層 1 1 6 およびシリコンの基材 1 0 1 にまで拡散することとなる。フッ素が下地層 1 1 6 および基材 1 0 1 にまで拡散すると、TiF_x や SiF_x を生成し、それらが堆積膨張して膜破壊を生じさせるボルケーノ現象が発生する。

【 0 0 9 1 】

本実施形態においては、加熱時間が 1 秒以下で低熱履歴処理であるフラッシュ加熱によって半導体ウェハー W を加熱しているため、フッ素が長距離を拡散することは抑制される。その結果、図 1 4 に示すように、フッ素が下地層 1 1 6 および基材 1 0 1 にまで拡散することはほとんどなく、ボルケーノ現象を防止することができる。

40

【 0 0 9 2 】

また、第 1 熱処理によって、窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 の膜質を改善しているため、バリアメタル層 1 1 7 がその機能を十分に発揮する。これにより、金属配線 1 1 5 中のフッ素がバリアメタル層 1 1 7 を超えて下地層 1 1 6 および基材 1 0 1 にまで拡散することが防がれる。

【 0 0 9 3 】

本実施形態においては、まず半導体ウェハー W に窒化チタンをバリアメタル層 1 1 7 として堆積し、その半導体ウェハー W にフラッシュ加熱を含む第 1 熱処理を施してバリアメ

50

タル層 1 1 7 を加熱している。続いて、バリアメタル層 1 1 7 の上にタングステンを金属配線 1 1 5 として堆積し、半導体ウェハー W にフラッシュ加熱を含む第 2 熱処理を施して金属配線 1 1 5 を加熱している。

【 0 0 9 4 】

タングステンの金属配線 1 1 5 を加熱する前に、窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 にフラッシュ加熱を施してその膜質を改善している。このため、金属配線 1 1 5 を加熱したときに、金属配線 1 1 5 からフッ素がバリアメタル層 1 1 7 を超えて拡散することを十分に抑制することができる。

【 0 0 9 5 】

また、第 2 熱処理では、照射時間が短く低熱履歴処理であるフラッシュ光照射によって金属配線 1 1 5 を瞬間的に加熱しているため、金属配線 1 1 5 からのフッ素の拡散を十分に抑制できるとともに、ゲート絶縁膜 1 0 2 等の劣化を防止することもできる。

10

【 0 0 9 6 】

また、第 1 熱処理および第 2 熱処理ともに減圧下で実行しているため、バリアメタル層 1 1 7 および金属配線 1 1 5 の酸化を防止するとともに、それらに含まれる不純物を外方拡散によって脱離させやすくすることができる。

【 0 0 9 7 】

また、アンモニア雰囲気中にて第 1 熱処理を実行しているため、窒化チタンのバリアメタル層 1 1 7 の窒化を促進することができる。さらに、フォーミングガスの還元雰囲気中にて第 2 熱処理を実行しているため、金属配線 1 1 5 中に混入している酸素等の不純物を還元して除去することができる。

20

【 0 0 9 8 】

以上、本発明の実施の形態について説明したが、この発明はその趣旨を逸脱しない限りにおいて上述したもの以外に種々の変更を行うことが可能である。例えば、上記実施形態の第 2 熱処理においては、チャンバー 6 内にフォーミングガスを供給して還元雰囲気を形成していたが、これに限定されるものではなく、アルゴン (A r) と水素との混合ガスまたはヘリウム (H e) と水素との混合ガスを供給して還元雰囲気を形成するようにしても良い。双方ともに水素を含む還元性ガスである。アルゴンと水素との混合ガスまたはヘリウムと水素の混合ガスであれば、チャンバー 6 内雰囲気から金属配線 1 1 5 にガス元素が侵入するのをより効果的に防止することができる。特に、ヘリウムと水素との混合ガスを使用した場合には、ヘリウムの冷却効果によって加熱処理後の半導体ウェハー W を迅速に冷却することができる。

30

【 0 0 9 9 】

また、上記実施形態においては、大気圧未満の約 5 0 0 0 P a の減圧下で第 1 熱処理および第 2 熱処理を実行していたが、圧力はこれに限定されるものではなく、大気圧未満であれば 1 0 0 P a ~ 1 0 0 k P a で第 1 熱処理および第 2 熱処理を行うようにしても良い。

【 0 1 0 0 】

また、上記実施形態においては、タングステンを堆積して金属配線 1 1 5 を形成していたが、これに限定されるものではなく、フッ化物を原料として堆積される金属によって金属配線 1 1 5 を形成する形態であれば、本発明に係る技術を適用することが可能である。

40

【 0 1 0 1 】

また、上記実施形態においては、フラッシュ加熱部 5 に 3 0 本のフラッシュランプ F L を備えるようにしていたが、これに限定されるものではなく、フラッシュランプ F L の本数は任意の数とすることができる。また、フラッシュランプ F L はキセノンフラッシュランプに限定されるものではなく、クリプトンフラッシュランプであっても良い。また、ハロゲン加熱部 4 に備えるハロゲンランプ H L の本数も 4 0 本に限定されるものではなく、任意の数とすることができる。

【 0 1 0 2 】

また、上記実施形態においては、1 秒以上連続して発光する連続点灯ランプとしてフィラメント方式のハロゲンランプ H L を用いて半導体ウェハー W の予備加熱を行っていたが

50

、これに限定されるものではなく、ハロゲンランプH Lに代えて放電型のアークランプ（例えば、キセノンアークランプ）を連続点灯ランプとして用いて予備加熱を行うようにしても良い。

【符号の説明】

【 0 1 0 3 】

1	熱処理装置	
3	制御部	
4	ハロゲン加熱部	
5	フラッシュ加熱部	
6	チャンバー	10
7	保持部	
1 0	移載機構	
2 0	放射温度計	
6 5	熱処理空間	
7 4	サセプタ	
1 0 1	基材	
1 0 2	ゲート絶縁膜	
1 0 3	ゲート電極	
1 0 4	ソース領域	
1 0 5	ドレイン領域	20
1 1 0	絶縁膜	
1 1 2	コンタクトホール	
1 1 5	金属配線	
1 1 6	下地層	
1 1 7	バリアメタル層	
F L	フラッシュランプ	
H L	ハロゲンランプ	
W	半導体ウェハー	

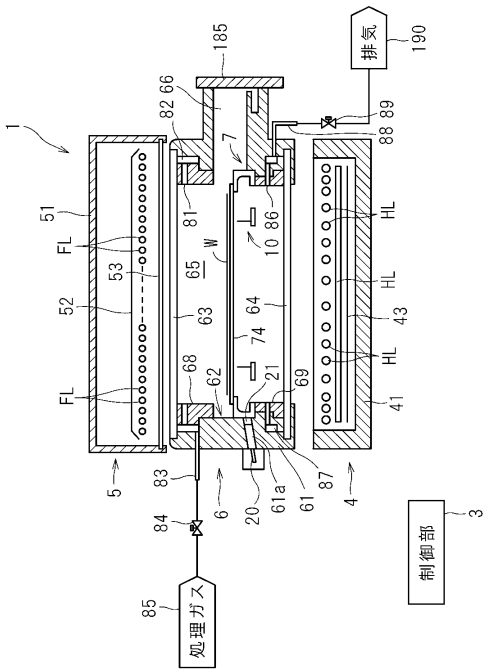
30

40

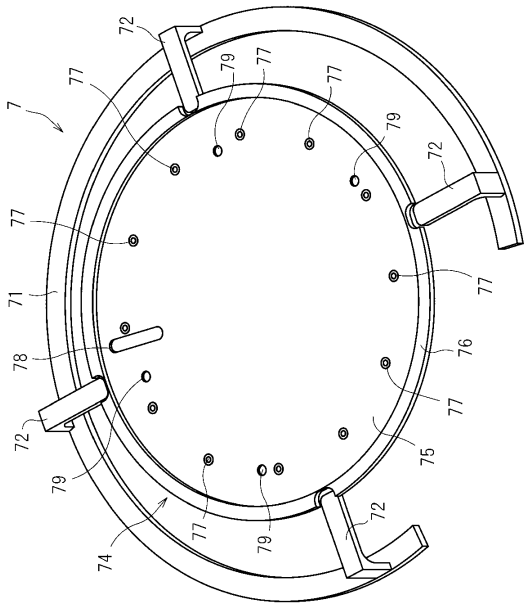
50

【図面】

【図 1】



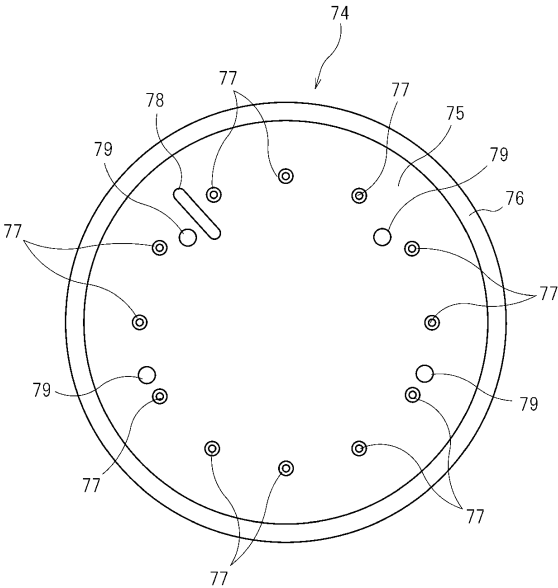
【図 2】



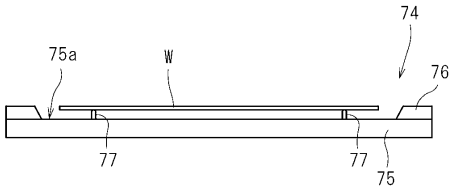
10

20

【図 3】



【図 4】

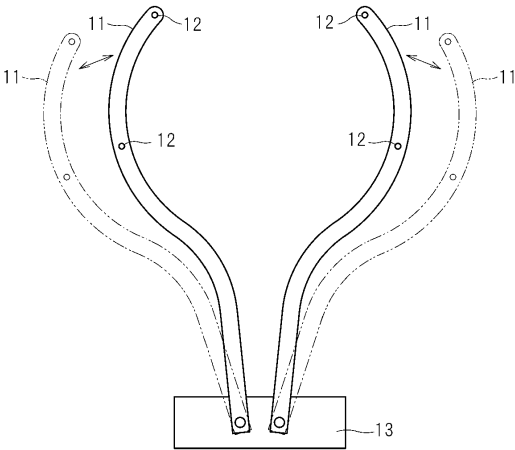


30

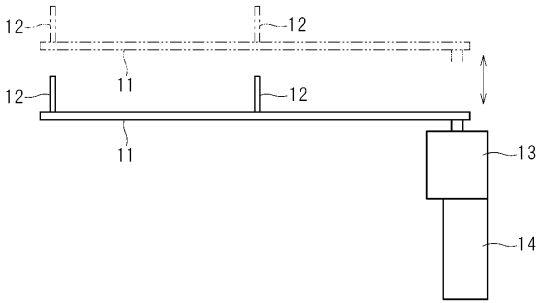
40

50

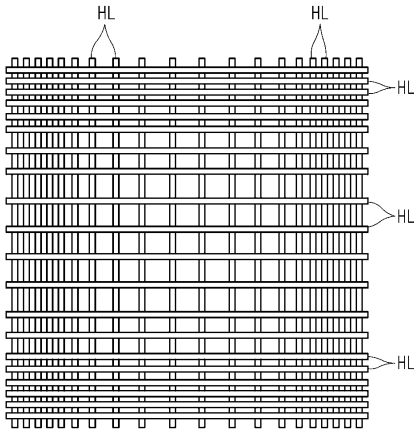
【図 5】



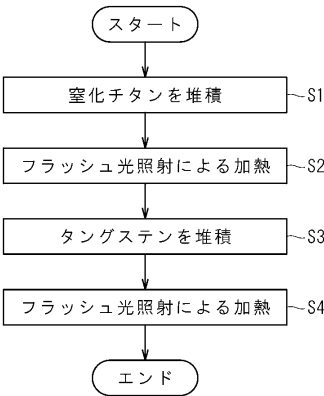
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

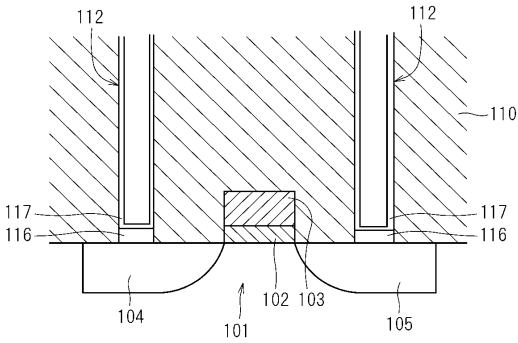
20

30

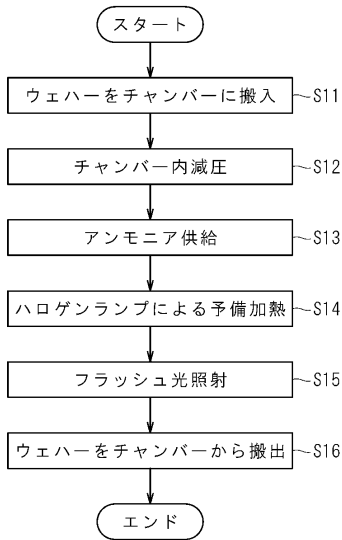
40

50

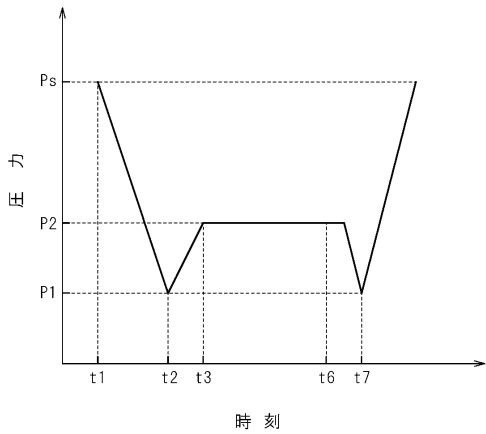
【図 9】



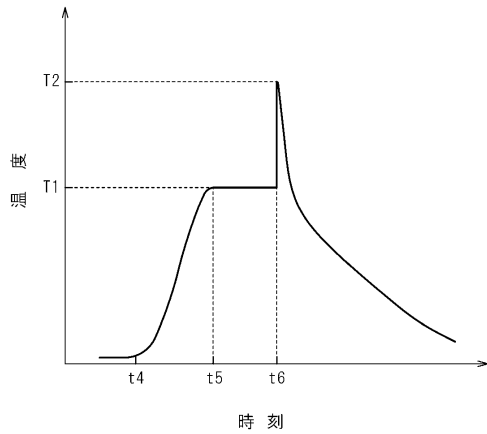
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

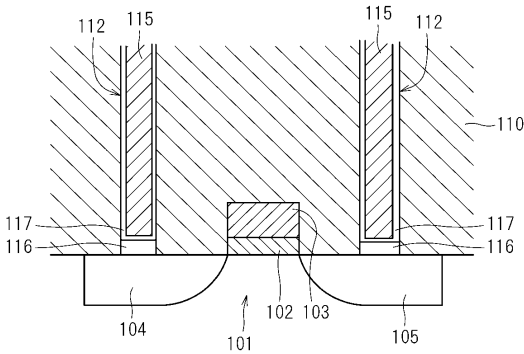
20

30

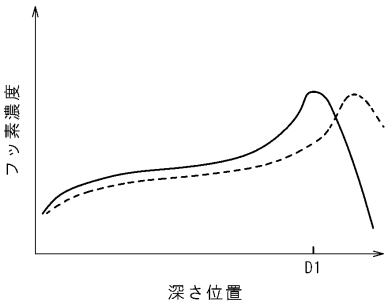
40

50

【図 1 3】



【図 1 4】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/28

B

Nセミコンダクターソリューションズ内

(72)発明者

繁樹 翔伍

京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天神北町 1 番地の 1 株式会社 S C R E E Nセミコンダク
ターソリューションズ内

審査官 佐藤 靖史

(56)参考文献

特開 2 0 0 2 - 1 1 8 0 7 8 (J P , A)

特開平 0 4 - 0 7 2 7 3 3 (J P , A)

特開平 0 8 - 1 5 3 8 5 7 (J P , A)

国際公開第 2 0 0 5 / 0 9 8 9 1 3 (W O , A 1)

特開 2 0 1 8 - 0 1 8 8 4 7 (J P , A)

特開 2 0 0 5 - 1 3 6 3 8 2 (J P , A)

特表 2 0 0 2 - 5 4 3 5 8 9 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 7 6 8

H 0 1 L 2 1 / 3 2 0 5

H 0 1 L 2 1 / 2 8 5

H 0 1 L 2 1 / 2 8