

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5685615号
(P5685615)

(45) 発行日 平成27年3月18日 (2015. 3. 18)

(24) 登録日 平成27年1月23日 (2015. 1. 23)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 L	21/268	(2006. 01)	HO 1 L	21/268	Z
HO 1 L	21/265	(2006. 01)	HO 1 L	21/265	6 O 2 C
HO 1 L	21/20	(2006. 01)	HO 1 L	21/20	

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-62053 (P2013-62053)	(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
(22) 出願日	平成25年3月25日 (2013. 3. 25)	(74) 代理人	100096389 弁理士 金本 哲男
(65) 公開番号	特開2014-187274 (P2014-187274A)	(74) 代理人	100095957 弁理士 亀谷 美明
(43) 公開日	平成26年10月2日 (2014. 10. 2)	(74) 代理人	100101557 弁理士 萩原 康司
審査請求日	平成25年8月1日 (2013. 8. 1)	(74) 代理人	100167634 弁理士 扇田 尚紀
		(72) 発明者	門田 太一 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ波加熱処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被処理基板にマイクロ波を照射することで、イオン注入によって被処理基板であるシリコン基板上に形成されたアモルファスシリコンを単結晶化させる加熱処理方法であって、被処理基板にマイクロ波を照射して、当該被処理基板上のアモルファスシリコンにおいて、被処理基板とアモルファスシリコンとの界面において当該アモルファスシリコンが単結晶化し、且つ前記界面以外の領域で核生成がおこらない温度である第1の温度に昇温し、前記第1の温度で所定期間加熱した後に、前記第1の温度より高温な第2の温度に昇温してさらに加熱することを特徴とする、マイクロ波加熱処理方法。

【請求項2】

前記1の温度から前記第2の温度への昇温の際、前記被処理基板に照射するマイクロ波の出力をステップ状に増加させることを特徴とする、請求項1に記載のマイクロ波加熱処理方法。

【請求項3】

前記1の温度から前記第2の温度への昇温の際、前記被処理基板に照射するマイクロ波の出力を所定の時間かけて所定の値増加させることを特徴とする、請求項1に記載のマイクロ波加熱処理方法。

【請求項4】

前記第1の温度は、600 ~ 800 であり、前記第2の温度は700 ~ 1000 であることを特徴とする、請求項1~3のいずれかに記載のマイクロ波加熱処理方法。

【請求項 5】

前記被処理基板上のアモルファスシリコンは、前記イオン注入により前記被処理基板にヒ素、リン又はホウ素の少なくともいずれかがドーブされたことにより形成されたものであることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のマイクロ波加熱処理方法。

【請求項 6】

前記第 1 の温度で加熱する所定期間は、加熱により前記アモルファスシリコンの厚みが 10 nm ~ 20 nm となるまでの期間であることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のマイクロ波加熱処理方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロ波を処理容器内に導入して被処理基板を加熱するマイクロ波加熱処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば半導体デバイスの製造においては、シリコン基板に不純物としてのイオンを注入し、イオン注入による結晶欠陥によって基板表面に生じたアモルファスシリコンを修復して結晶化すると共に、シリコン基板の表層に拡散層を形成する。この際の熱処理としては、ランプヒータを用いて例えば数 m 秒オーダーのパルス幅の光を照射する、いわゆる R T A (R a p i d T h e r m a l A n n e a l i n g) が一般に用いられる。この R T A を用いた熱処理における基板温度は約 900 に達する。

20

【0003】

ところで近年、半導体デバイスの微細化に伴い、この拡散層における基板の厚み方向の深さを短くして、浅い拡散層を形成することが求められている。拡散層を浅くするには熱処理の温度を低くして不純物の拡散を抑制することが考えられるが、その場合は不純物の活性化が不十分となり拡散層の電気抵抗が増大するという問題があった。

【0004】

この問題を解決するために、近年、マイクロ波を用いた加熱方法が提案されている。マイクロ波を用いて加熱することで、マイクロ波が不純物であるイオンに直接作用し、R T A よりも低い温度で不純物を活性化させ、且つ拡散層が広がることを抑制できる。その結果、浅い拡散層を形成することができる。

30

【0005】

マイクロ波を用いて、所望の極浅拡散層を形成することが可能な熱処理方法が例えば特許文献 1 に開示されている。この熱処理方法によれば、シリコン基板にイオンを注入した後、シリコン基板にマイクロ波を照射して加熱し、次にランプヒータにより 0.1 m 以上 100 m 秒以下のパルス幅の光を照射してさらに加熱を行う。そして、マイクロ波の照射の際には基板温度を 600 以下とすることで、拡散層の広がりを抑制して基板表面に極浅の拡散層を形成する。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2011 - 077408 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、イオン注入により生じたアモルファスシリコンは、熱処理によって欠陥が回復することで、基板の結晶方位に沿って徐々に再結晶化してシリコンの単結晶が形成される。ところが、R T A を用いた熱処理では基板温度が約 900 に達するため、基板とアモルファスシリコンの界面とは反対側、即ち基板表層のアモルファスシリコンにおいても

50

核生成がおこり、基板の結晶方位とは異なる方位で結晶化してしまいポリシリコン化してしまう。その結果、拡散層において良好な単結晶を形成することができず、例えば結晶化した拡散層を、NAND回路などに用いるフローティングゲートとして利用する場合、ソースとドレインのコンタクト抵抗が増大するという問題がある。

【0008】

このような基板表層におけるポリシリコン生成を抑制するために、特許文献1のように、マイクロ波により600程度の温度で基板を加熱することも考えられる。しかしながらその場合、アモルファスシリコンの結晶化に多大な時間を要し、また、結晶化も不十分となるため、基板表層においてアモルファスシリコンが残留してしまう。そのため、アモルファスシリコンを基板の結晶方位に沿って結晶成長させることで、良好な単結晶を形成する技術が望まれている。

10

【0009】

本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、マイクロ波を処理容器内に導入して被処理基板を加熱する熱処理において、基板に良好な単結晶を形成することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するため、本発明は、被処理基板にマイクロ波を照射することで、イオン注入によって被処理基板であるシリコン基板上に形成されたアモルファスシリコンを単結晶化させる加熱処理方法であって、被処理基板にマイクロ波を照射して、当該被処理基板上のアモルファスシリコンにおいて、被処理基板とアモルファスシリコンとの界面において当該アモルファスシリコンが単結晶化し、且つ前記界面以外の領域で核生成がおこらない温度である第1の温度に昇温し、前記第1の温度で所定期間加熱した後に、前記第1の温度より高温な第2の温度に昇温してさらに加熱することを特徴としている。

20

【0011】

本発明によれば、マイクロ波を照射して先ず第1の温度による加熱処理を行うので、被処理基板の表層におけるポリシリコン生成を抑制しつつ、被処理基板とアモルファスシリコンとの界面においてアモルファスシリコンを被処理基板の結晶方位に沿って単結晶化できる。そして、その後第2の温度に昇温してさらに加熱処理を行うので、被処理基板表層にアモルファスシリコンを残留させることなく、全てのアモルファスシリコンを単結晶化させることができる。その結果、マイクロ波を処理容器内に導入して被処理基板を加熱する熱処理において、基板に良好な単結晶を形成することができる。

30

【0012】

前記1の温度から前記第2の温度への昇温の際、前記被処理基板に照射するマイクロ波の出力をステップ状に増加させてもよい。

【0013】

前記1の温度から前記第2の温度への昇温の際、前記被処理基板に照射するマイクロ波の出力を所定の時間かけて所定の値増加させてもよい。

【0014】

前記第1の温度は、600～800であり、前記第2の温度は700～1000であってもよい。

40

【0015】

前記被処理基板上のアモルファスシリコンは、前記イオン注入により前記被処理基板にヒ素、リン又はホウ素の少なくともいずれかがドーブされたことにより形成されたものである。

【0016】

前記第1の温度で加熱する所定期間は、加熱により前記アモルファスシリコンの厚みが10nm～20nmとなるまでの期間であってもよい。

【発明の効果】

50

【0017】

本発明によれば、マイクロ波を処理容器内に導入して被処理基板を加熱する熱処理において、基板に良好な単結晶を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本実施の形態に係るマイクロ波加熱処理装置の概略縦断面図である。

【図2】マイクロ波ユニットの構成の概略を示す説明図である。

【図3】電源部の構成の概略を示す説明図である。

【図4】処理容器の天井板の下面を示す下面図である。

【図5】天井板の開口の形状を示す説明図である。

【図6】ウェハ表面の近傍の断面の状態を模式的に示す説明図である。

【図7】加熱処理のプロファイルを示す説明図である。

【図8】アモルファスシリコンの厚みと結晶化の温度との相関関係を表す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の実施形態について説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。図1は、本実施の形態にかかるマイクロ波加熱処理装置1を概略的に示した縦断面図である。なお、本実施の形態では、マイクロ波加熱処理装置1により、例えば半導体ウェハ（以下、「ウェハ」という）Wの加熱処理を行う場合を例にして説明する。また、本実施の形態にかかるウェハWは例えばシリコン基板であり、不純物としてのイオンが注入されることにより、その表面に結晶欠陥に伴うアモルファスシリコン層が形成されたものである。

【0020】

図1に示すように、マイクロ波加熱処理装置1は、被処理基板としてのウェハWを収容する処理容器10と、処理容器10の内部にマイクロ波を導入するマイクロ波導入機構11と、処理容器10の内部に所定のガスを供給するガス供給機構12と、処理容器10内でウェハWを支持する支持機構13と、マイクロ波加熱処理装置1の各機構を制御する制御部14を備えている。処理容器10は、例えばアルミニウム、ステンレス等の金属により形成されている。

【0021】

処理容器10は、全体として、例えば略直方体状の容器であり、平面視が例えば正方形の筒状の側壁20と、側壁20の上端を覆う略正方形状の天井板21と、側壁20の下端を覆う略正方形状の底板22を有している。これら側壁20、天井板21、底板22により囲まれた領域に、処理容器10の処理空間Aが形成される。また、側壁20、天井板21、底板22の処理空間A側の面は鏡面加工されており、マイクロ波を反射させる反射面として機能する。これにより、鏡面加工されていない場合と比較して、ウェハWを加熱処理する際の到達温度を高くすることができる。

【0022】

処理容器10の側壁20にはウェハWの搬入出口20aが形成されている。搬入出口20aにはゲートバルブ23が設けられており、このゲートバルブ23は図示しない駆動機構により開閉自在となっている。ゲートバルブ23と側壁20との間には、マイクロ波の漏えいを防止するための、図示しないシール部材が設けられている。また、処理容器10の側壁20には、ガス供給機構12が供給管24を介して接続されている。なお、ガス供給機構12からは、例えば処理ガス又は冷却ガスとして、例えば窒素ガス、アルゴンガス、ヘリウムガス、ネオンガス、窒素ガス、水素ガスといったガスが供給される。

【0023】

処理容器10の底板22には、排気口22aが形成されており、この排気口22aには排気管25を介して、例えば真空ポンプなどの排気機構30が接続されている。また、底板22には支持機構13が設けられている。

【0024】

支持機構13は底板22の中央を上下方向に貫通して処理容器10の外部まで延伸する中空管状のシャフト31と、シャフト31の上端近傍に設けられ、水平方向に延伸するアーム32と、アーム32の上端に設けられ、ウェハWを支持する支持ピン33を有している。シャフト31の下端には、当該シャフト31を、回転及び昇降させる駆動機構34が接続されている。処理容器10内におけるウェハWの高さ方向の位置は、ウェハWを支持する支持ピン33を駆動機構34により昇降動させることにより調整される。駆動機構34は、例えば処理容器10の外部に配置されている。なお、シャフト31と底板21との間は、図示しないシール部材により気密に塞がれている。

【0025】

また、シャフト31の内部には、ウェハWの温度を測定する温度測定機構35が設けられている。温度測定機構35としては、例えば放射温度計が用いられる。温度測定機構35で測定された温度は、制御部14に入力され、マイクロ波によるウェハWの加熱の際の制御に用いられる。

【0026】

処理容器10の天井板21には、当該処理容器10内にマイクロ波を導入するためのマイクロ波導入ポートとして機能する開口36が形成されており、この開口36を塞ぐように透過窓37が設けられている。マイクロ波導入機構11はこの透過窓37の上部に設けられており、マイクロ波導入機構11はマイクロ波を発生させるマイクロ波ユニット40とマイクロ波ユニットに接続された電源部41とを有している。本実施の形態では、例えば透過窓37及びマイクロ波ユニット40はそれぞれ4つずつ、電源部41は一つ設けられている。

【0027】

透過窓37は、例えば石英、セラミックス等の誘電体により形成されている。透過窓37と天井板21との間は、図示しないシール部材により気密に塞がれている。なお、透過窓37の下面から処理容器10内で加熱処理されるウェハWとの距離Gは、ウェハWにマイクロ波が直接放射されることを抑制する観点から、例えば25mm以上50mm以下となるように設定されている。なお、透過窓37の具体的な配置については後述する。

【0028】

マイクロ波ユニット40は、例えば図2に示すように、マイクロ波を生成するためのマグネトロン42と、マイクロ波を伝送する導波管43と、導波管43と透過窓37の間に設けられたサーキュレータ44、検出器45、チューナ46と、サーキュレータ44に接続されたダミーロード47を有している。

【0029】

マグネトロン42は、電源部41により高電圧を印加するための図示しない陽極及び陰極を有している。マグネトロン42としては、種々の周波数のマイクロ波を発振することができるものを用いることができる。なお、マグネトロンにより生成されるマイクロ波の周波数は、被処理基板としてのウェハWの処理に最適な周波数が選択され、例えば加熱処理においては、2.45GHz以上の高い周波数のマイクロ波であることが好ましく、5.8GHzのマイクロ波がより好ましい。

【0030】

導波管43は、断面が矩形であって且つ筒状の形状を有し、処理容器10の天井板21及び透過窓37の上面から上方に向けて延伸している。マグネトロン42は、この導波管43の上端部近傍に接続されており、マグネトロン42で生成されたマイクロ波は、導波管43と透過窓37を介して処理容器10の処理空間A内に伝送される。

【0031】

サーキュレータ44、検出器45及びチューナ46は、導波管43の上端部から下端部に向けてこの順で設けられている。サーキュレータ44及びダミーロード47は、処理容器10内に導入されたマイクロ波の反射波を分離するアイソレータとして機能する。換言すれば、処理容器10からの反射波はサーキュレータ44によりダミーロード47に伝送

10

20

30

40

50

され、ダミーロード 47 はサーキュレータ 44 により伝送された反射波を熱に変換する。

【0032】

検出器 45 は、導波管 43 における処理容器 10 からの反射波を検出するものであり、例えばインピーダンスモニタ、より具体的には、導波管 43 における定在波の電界を検出する定在波モニタにより構成されている。なお、検出器 45 は、進行波と反射波を検出することが可能な、例えば方向性結合器により構成されていてもよい。

【0033】

チューナ 46 は、インピーダンスを調整するものであり、マグネトロン 42 と処理容器 10 との間のインピーダンスはチューナ 46 により整合される。チューナ 46 によるインピーダンス整合は、検出器 45 における反射波の検出結果に基づいて行われる。

10

【0034】

電源部 41 は、マグネトロン 42 に対し、マイクロ波を生成するための高電圧を印加する。電源部 41 は、例えば図 3 に示すように、商用電源に接続された AC - DC 変換回路 50 と、AC - DC 変換回路 50 に接続されたスイッチング回路 51 と、スイッチング回路 51 の動作を制御するスイッチングコントローラ 52 と、スイッチング回路 51 に接続された昇圧トランス 53 と、昇圧トランス 53 に接続された整流回路 54 とを有している。昇圧トランス 53 とマグネトロン 42 とは、整流回路 54 を介して接続されている。

【0035】

AC - DC 変換回路 50 では、商用電源からの例えば三相 200V の交流電圧が整流され、直流に変換される。スイッチング回路 51 は、AC - DC 変換回路 50 により変換された直流のオン、オフを制御する回路である。スイッチング回路 51 では、スイッチングコントローラ 52 によりパルス幅変調 (PWM: Pulse Width Modulation) またはパルス振幅変調 (PAM: Pulse Amplitude Modulation) が行われ、パルス状の電圧が生成される。スイッチング回路 51 から出力されるパルス状の電圧は、昇圧トランス 53 により昇圧される。昇圧されたパルス状の電圧は、整流回路 54 により整流されてマグネトロン 42 に供給される。

20

【0036】

次に、マイクロ波導入ポートとして機能する、天井板 21 に形成された開口 36 の配置について説明する。図 4 は、天井板 21 を下面から見た状態を示す図である。図 4 において、符号 O はウェハ W 及び天井板 21 の中心を表している。また、符号 M は、天井板 21 と側壁 20 との境界となる 4 つの辺において、対向する辺の midpoint を結んだ線である。なお、ウェハ W の中心と天井板 21 の中心とは、必ずしも一致している必要はない。

30

【0037】

図 4 に示すように、天井板 21 に形成された、例えば 4 つの開口 36a、36b、36c、36d は、概ね中心線 M に沿って略十字状に配置されている。各開口 36a、36b、36c、36d は、図 4 及び図 5 に示すように長方形に形成されており、長辺の長さ L1 と短辺の長さ L2 との比は、例えば 2 以上 100 以下の範囲に設定されており、好ましくは 5 以上 20 以下の範囲に設定される。長辺の長さ L1 と短辺の長さ L2 との比を 2 以上とするのは、各開口 36a、36b、36c、36d から処理容器 10 内に放射されるマイクロ波の指向性を開口 36a、36b、36c、36d の長辺と垂直な方向に強めるためである。長辺の長さ L1 と短辺の長さ L2 との比が 2 未満の場合、開口 36a、36b、36c、36d の直下の方向に対してもマイクロ波の指向性が強くなるため、透過窓 37 とウェハ W との間の距離 G とが短い場合に、ウェハ W の一部にマイクロ波が直接照射され、ウェハ W が局所的に昇温してしまう。その一方、長辺の長さ L1 と短辺の長さ L2 との比が 20 を超えると、開口 36a、36b、36c、36d の直下や開口 36a、36b、36c、36d の長辺と平行な方向へ向かうマイクロ波の指向性が弱くなりすぎ、ウェハ W の加熱効率が低下してしまう。

40

【0038】

なお、各開口 36a、36b、36c、36d の長辺の長さ L1 は、例えば導波管 32 の管内波長 g に対して $L1 = n \times g / 2$ (n は正の整数) とすることが好ましい。な

50

お、各開口36a、36b、36c、36dの大きさや、長さL1とL2との比は、各開口36a、36b、36c、36d毎に異なってもよいが、ウェハWに対してマイクロ波を均等に照射して均一な加熱処理を行うことを考慮すると、各開口36a、36b、36c、36dの大きさや、長さL1、L2は同一であることが好ましい。

【0039】

また、本実施の形態では、各開口36a、36b、36c、36dは、ウェハW上面近傍の電界分布を均一にする観点から、各開口36a、36b、36c、36dの中心Opが、例えば図4に示すように、例えばウェハWより小さく異なる直径を有し、ウェハWの中心Oを中心とする2つの同心円のいずれかに重なるように配置されている。この際に、各開口36a、36b、36c、36dの全ての中心Opの位置が、同一の円周上に配置されないようにしている。本実施の形態では、例えば図4に示すように、例えば二つの開口36a、36cを半径 R_{IN} の円周上に配置し、開口36b、36dを半径 R_{IN} より大きな半径 R_{OUT} を有する円周上に配置している。

10

【0040】

なお、図4に示すように、各開口36a、36b、36c、36dは、それぞれの長辺と短辺が、側壁20の内側面と平行になるように配置されている。図4では、二つの開口36a、36cの長辺がX方向正方向側と負方向側の側壁20と平行で、且つ他の二つの開口36b、36dの長辺がY方向正方向側と負方向側の側壁20と平行になるように配置された状態を描図している。

【0041】

20

また、各開口36a、36b、36c、36dは、それぞれの長辺と垂直な方向に平行移動させた場合に、他の開口と干渉しない位置に配置されている。例えば、図4に示す開口36aは、その長辺と垂直な方向、即ちX方向に移動させても、開口36b、36dとは干渉せず、当然開口36cとも干渉しない。このような条件で各開口36a、36b、36c、36dを略十字状に配置することによって、各開口36a、36b、36c、36dから、その長辺に対して垂直な方向へ強い指向性を持って放射されるマイクロ波及びその反射波が、他の開口36a、36b、36c、36dに進入することを抑制できる。その結果、マイクロ波及びその反射波が各開口36a、36b、36c、36dへ進入することによる損失を抑え、マイクロ波による効率的な加熱処理を行うことができる。

【0042】

30

また、本実施の形態では、略十字状に配置された開口36a、36b、36c、36dのうち、互いに隣接していない2つの開口はそれぞれの中心Opが、中心線Mに平行な同一の直線状に位置しないように配置されている。例えば長辺の方向が同じ開口36aと開口36cの中心Opは、それぞれ異なる方向に中心軸Mから所定の距離だけずれている。このように開口36aと開口36cを配置することによって、開口36aと開口36cとの間で、それぞれに短辺に垂直な方向に放射されたマイクロ波が進入し合い、電力損失が生じることを抑制できる。なお、例えば開口36aと開口36cの中心Opが同一の直線状に位置していなければ、いずれか一方の開口の中心Opが中心線Mと重なっていてもよい。各開口36a、36b、36c、36dの配置は本実施の形態に限定されるものではなく、上記の関係を満たすような配置であれば、任意に設定が可能である。

40

【0043】

制御部14は、記憶部60を有している。制御部14は、記憶部60に記憶されたレシピに従い、マイクロ波加熱装置1の各機構を制御する。なお、制御部14への指令は、専用の制御デバイスあるいはプログラムを実行するCPU(図示せず)により実行される。プロセス条件を設定したレシピは、ROMや不揮発性メモリ(ともに図示せず)に予め記憶されていて、CPUが、これらのメモリからレシピの条件を読み出し実行する。

【0044】

本実施の形態にかかるマイクロ波加熱処理装置1は以上のように構成されている。次に、マイクロ波加熱処理装置1によるウェハWの加熱処理について説明する。

【0045】

50

ウェハWの加熱処理にあたっては、先ずゲートバルブ23が開操作されて、搬送機構(図示せず)により処理容器10内にウェハWが搬入される。搬入されたウェハWは、支持ピン33上に載置される。次いで、ゲートバルブ23が閉操作され、排気機構30により処理容器10内が排気されて減圧雰囲気となる。次に、ガス供給機構12から所定の流量で処理ガス及び冷却ガスが処理容器10内に供給される。

【0046】

次に、電源部41からマグネトロン42に対して電圧が印加され、マグネトロン42で生成されたマイクロ波が導波管43を伝搬して、透過窓37を介して処理容器10内の処理空間Aに導入される。この際、駆動機構34によりシャフト31が回転され、支持ピン33に載置されているウェハWも所定の速度で回転する。

10

【0047】

処理容器10内に導入されたマイクロ波は、ウェハWの表面に照射されてウェハWが加熱処理される。この際、照射されるマイクロ波の出力が調整され、ウェハWが第1の温度に昇温される。第1の温度は、RTAを用いた加熱処理よりも低い温度である。より具体的には、第1の温度は、ウェハW上のアモルファスシリコンにおいて、ウェハWとアモルファスシリコンとの界面以外の領域でシリコン単結晶の核生成がおこらない温度である。ウェハWがシリコン基板であり、例えば注入されたイオンがヒ素、リン又はホウ素である場合、アモルファスシリコンの形状やイオンの濃度にもよるが、第1の温度は概ね600~800である。なお、本実施の形態では、第1の温度は例えば800に設定されている。イオン注入後は例えば図6(a)に示すように、単結晶シリコンであるウェハWの上面にアモルファスシリコンが所定の厚みDで存在していたが、第1の温度で加熱処理することにより、アモルファスシリコンが徐々に再度単結晶化して、図6(b)に示すように、アモルファスシリコンの厚みが減少してゆく。この際、ウェハWはRTAを用いた加熱処理よりも低い温度である第1の温度で加熱処理されるので、単結晶シリコンとの界面以外のアモルファスシリコン中にシリコン結晶の核が生成し、ポリシリコン化されることを抑制できる。

20

【0048】

ウェハWが第1の温度で所定の期間加熱されると、次に、マイクロ波の出力を増大させ、ウェハWを第2の温度まで昇温する。この際、マイクロ波の出力はステップ状に増加され、ウェハWの温度は、例えば図7の線Sに示すように短時間で第2の温度に到達する。図7の線Sは、本実施の形態にかかるウェハWの加熱処理のレシピを示している。なお、ウェハWの昇温の際には、マイクロ波の出力を増大させるだけでなく、駆動機構34によりシャフト31を上昇させることでウェハWを上昇させてもよい。これにより、ウェハWに照射されるマイクロ波の反射を抑えて、昇温速度を高めることができる。また、第1の温度から第2の温度へ移行する時期、換言すれば、第1の温度による加熱時間は、ウェハW上のアモルファスシリコンの残りの厚みが、例えば10nm~20nmに減少するまでの時間であり、本実施の形態では、約300秒である。本発明者らが鋭意調査したところ、アモルファスシリコンの厚みが10nm~20nm程度となった状態においては、第1の温度でアモルファスシリコンを加熱処理しても、結晶化する速度が非常に遅くなり、結晶化を促進するためには加熱処理の温度を第1の温度より高くする必要がある。したがって、全てのアモルファスシリコンを速やかに再結晶化させるため、本実施の形態においては、アモルファスシリコンの残りの厚みが10nm~20nm程度まで減少した時点で、ウェハWを第2の温度まで昇温する。なお、第2の温度は、概ね700~1000であり、本実施の形態では、例えば850である。

30

40

【0049】

ウェハW上のアモルファスシリコンは、第2の温度で加熱処理されることで再結晶化され、図6(c)に示すように、ウェハWの表面に存在していた全てのアモルファスシリコンが、ウェハWと同じ結晶方位で結晶化する。第2の温度での加熱時間は、例えば150秒である。

【0050】

50

第2の温度での加熱処理が終了すると、電源部41からマグネトロン42への電圧の印加が停止され、処理容器10内に導入されるマイクロ波も停止する。それと共に、駆動機構34も停止し、ウェハWの回転が停止する。また、ガス供給機構12からの処理ガス及び冷却ガスの供給も停止される。その後、ゲートバルブ23が開操作されてウェハWが処理容器10から外部に搬出される。これにより、一連のウェハWの加熱処理が終了する。

【0051】

以上の実施の形態によれば、ウェハWにマイクロ波を照射して、RTAを用いた加熱処理よりも低い温度である第1の温度で先ず所定期間だけ加熱処理を行うので、ウェハW上のアモルファスシリコンの表層部分において、ウェハWとは異なる結晶方位でシリコン結晶が成長することを抑制しつつ、被処理基板とアモルファスシリコンとの界面において、ウェハWの結晶方位に沿ってアモルファスシリコンを単結晶化できる。そして、その後第2の温度に昇温してさらに加熱処理を行うので、ウェハWの表面にアモルファスシリコンを残留させることなく、全てのアモルファスシリコンを良好に単結晶化させることができる。さらに、RTAを用いた加熱処理の温度よりも低い温度である第1の温度及び第2の温度で結晶化を行っているので、浅い良好な拡散層をウェハW上に形成することができる。

10

【0052】

また、アモルファスシリコンの厚みが10nm~20nm程度まで減少した後にウェハWの加熱処理の温度を第1の温度から第2の温度まで昇温するので、この第2の温度における加熱処理により、残ったアモルファスシリコンを速やかに再結晶化することができる。したがって本実施の形態によれば、ウェハWの加熱処理におけるスループットを向上させることができる。なお、本発明者らが鋭意調査したところ、ウェハW上面のアモルファスシリコンの厚みと、当該アモルファスシリコンが再結晶化する温度の間には、図8に示されるような、所定の相関関係があることが確認された。

20

【0053】

図8に示されるように、アモルファスシリコンの厚みが減少するほど、当該アモルファスシリコンを結晶化させる温度が高くなる。図8からわかるように、アモルファスシリコンの厚みが例えば20nmより厚い場合は、700程度の温度でアモルファスシリコンを結晶化させることができる。その一方、アモルファスシリコンが10nm~20nm程度である場合、結晶化には750以上の温度での加熱処理が必要となる。このことから、アモルファスシリコンの厚みが10nm~20nm程度まで減少した後に、ウェハWの加熱処理の温度を第1の温度から第2の温度まで昇温することが適当であることがわかる。また、その反対に、アモルファスシリコンが20nmよりも厚い場合に、結晶化する温度よりも例えば150程度高い第2の温度で加熱処理を行うと、結晶化が進みすぎ、ウェハWとアモルファスシリコンとの界面以外の領域でポリシリコンが形成されることも図8から推察できる。したがって、アモルファスシリコンの厚みが10nm~20nm程度に減少するまでは、本実施の形態のように、第1の温度での加熱処理を継続することが適当であるといえる。なお、図8はウェハW上に一様に形成された、ヒ素やリン等のイオンが注入されていないアモルファスシリコンにおける結晶化の温度を表している。よって、アモルファスシリコンに注入されるイオンの種類や濃度、アモルファスシリコンの形状により結晶化の温度は上下することになる。

30

40

【0054】

なお、比較例として、RTAを用いてウェハWを1050で10秒間加熱処理を行った場合は、図6(d)に示されるように、ウェハWの表層近傍においてポリシリコンが生成してしまう。また、他の比較例として、ウェハWにマイクロ波を照射し、600で60秒間加熱処理を行った場合は、ウェハWの結晶方位に沿った結晶化は図6(a)の状態からほとんど進まず、大部分のアモルファスシリコンがそのまま残ってしまう。

【0055】

以上の実施の形態では、第1の温度から第2の温度まで昇温する際に、マイクロ波の出力をステップ状に増加させることで、図7の線Sに示すように短時間でウェハWを昇温さ

50

せたが、昇温のパターンについては本実施の形態に限定されるものではなく、図8のデータに基づいて、第1の温度から第2の温度まで所定の時間かけて昇温してもよい。換言すれば、ウェハWに照射するマイクロ波の出力を所定の時間かけて所定の値だけ増加させるようにしてもよい。かかる場合、マイクロ波の出力は直線状に増加させてもよいし、図8の曲線に沿った温度上昇が得られるように、曲線的に増加させてもよい。

【0056】

なお、他の比較例として、本発明者らは、マイクロ波を照射してウェハWを加熱処理する際に、図7の線T及び線Uに示すように所定の温度を一定時間維持した場合についても検証を行った。図7の線Tのように、ウェハWを830℃まで昇温して300秒加熱処理を行った場合、ウェハWの表層の一部にポリシリコンが形成されることが確認された。これは、上述の図8に示される通り、アモルファスシリコンの厚みが大きく、700℃程度の温度でアモルファスシリコンを結晶化させることができる際に830℃という比較的高い温度で加熱処理を行うことで、アモルファスシリコンにおけるウェハWとの界面以外の領域においても核生成が起こることが原因と考えられる。

10

【0057】

また、図7の線Uのように、ウェハWを780℃まで昇温して600秒加熱を行った場合、ポリシリコンが形成されることはないものの、アモルファスシリコンを全て結晶化させることができず、ウェハWの表層にアモルファスシリコンが残留してしまうことが確認された。これは、アモルファスシリコンの厚みが例えば10nm程度まで減少した場合に、780℃ではアモルファスシリコンを十分に結晶化させることができないか、或いはは結晶化の速度が遅く、600秒では全てを結晶化することができなかったものと考えられる。

20

【0058】

以上の実施の形態のウェハWは、シリコン基板に不純物としてのイオンが注入されることにより、その表面に結晶欠陥に伴うアモルファスシリコン層が形成されたものであったが、ウェハWの材質や、注入するイオンについては適宜最適な選択を行ってもよい。

【0059】

なお、図8に示す、アモルファスシリコンの厚みと結晶化温度との相関関係は、既述のように、ウェハWにドーパされるイオンの種類や濃度、アモルファスシリコンの形状、ウェハWの材質等により変化する。したがって、第1の温度及び第2の温度は、ウェハWの材質やドーパされるイオンの種類や濃度、アモルファスシリコンの形状に応じて適宜最適な値が設定される。

30

【0060】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【符号の説明】

【0061】

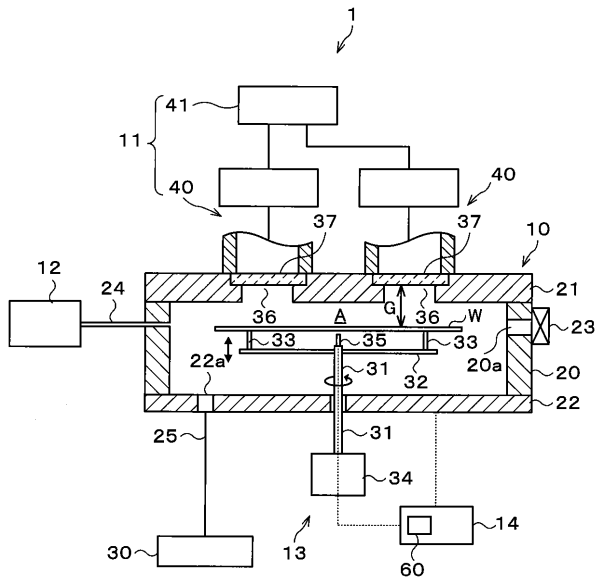
- 1 マイクロ波加熱処理装置
- 10 処理容器
- 11 マイクロ波導入機構
- 12 ガス供給機構
- 13 支持機構
- 14 制御部
- 20 側壁
- 21 天井板
- 22 底板
- 30 排気機構

40

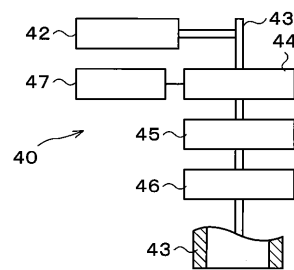
50

- 40 マイクロ波ユニット
- 41 電源部
- W ウェハ
- A 処理空間

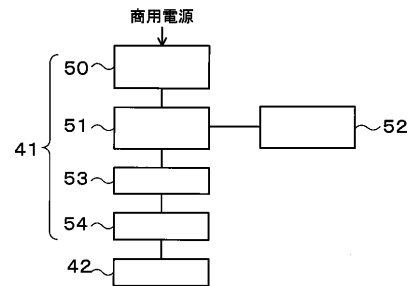
【図1】



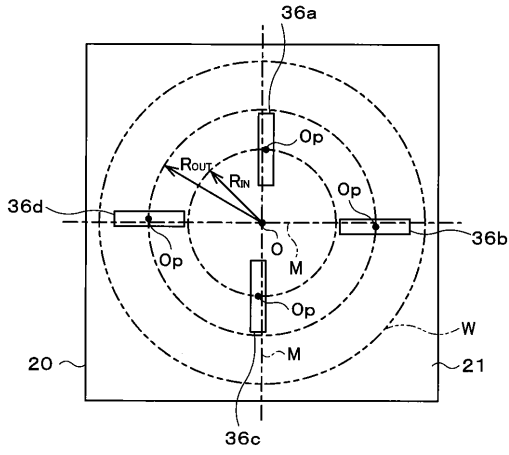
【図2】



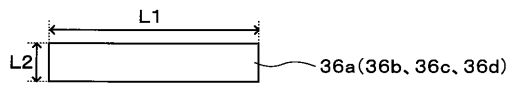
【図3】



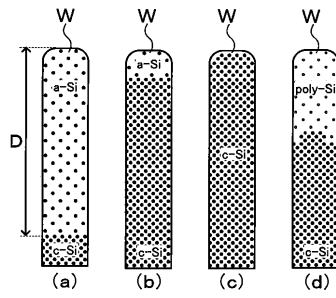
【 図 4 】



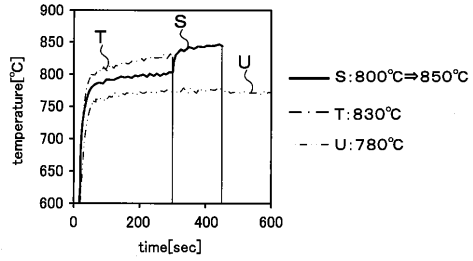
【 図 5 】



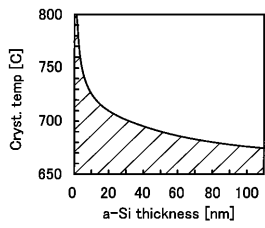
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 北川 淳一
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 洪 錫亨
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 壁 義郎
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内

審査官 河合 俊英

- (56)参考文献 特開2012-234864(JP,A)
特開2005-109516(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|--------|
| H01L | 21/268 |
| H01L | 21/20 |
| H01L | 21/265 |