

明 細 書

発明の名称：

基板処理装置、半導体装置の製造方法およびプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、基板処理装置、半導体装置の製造方法およびプログラムに関するものである。

背景技術

[0002] 半導体装置（半導体デバイス）の製造工程の一工程として、例えば、加熱装置を用いて処理室内の基板を加熱し、基板の表面に成膜された薄膜中の組成や結晶構造を変化させたり、成膜された薄膜内の結晶欠陥等を修復するアニール処理に代表される改質処理がある。近年の半導体デバイスにおいては、微細化、高集積化が著しくなっており、これに伴い、高いアスペクト比を有するパターンが形成された高密度の基板への改質処理が求められている。このような高密度基板への改質処理方法として例えば特許文献1に見るような電磁波を用いた熱処理方法が検討されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2015-070045号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来の電磁波を用いた処理では、熱処理により半導体基板の面内温度の不均一などで基板の反りや割れが発生する場合がある。

[0005] 本開示の目的は、熱処理による基板の反りや割れを防止することが可能となる技術を提供することにある。

[0006] 上記の目的を達成するため、本開示の一態様によれば、基板を処理する処理室と、処理室にマイクロ波を供給するマイクロ波発振器と、マイクロ波を第1のマイクロ波出力に維持しながら、マイクロ波を供給する供給時間と、

供給時間より短いマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または所定時間繰り返して基板に供給して加熱する加熱処理と、マイクロ波を第1のマイクロ波出力より高い第2のマイクロ波出力に維持しながら基板に所定時間供給して改質する改質処理と、を行うようにマイクロ波発振器を制御することが可能に構成される制御部と、を備える技術を提供する。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、熱処理による基板の反りや割れを防止することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本開示の一実施形態である基板処理装置の処理炉部分を縦断面図で示した概略構成図。

[図2]本開示の一実施形態である基板処理装置の概略構成を処理炉の位置で示した縦断面図。

[図3]本開示の一実施形態である基板処理装置の断面構成を示した横断面図。

[図4]本開示の一実施形態である基板処理装置のコントローラの概略構成図。

[図5]本開示の一実施形態である基板処理のフローの一例を示す図。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本開示の一実施形態を図面に従い、説明する。 本実施形態は、基板を処理する処理室と、処理室にマイクロ波を供給するマイクロ波発振器と、マイクロ波を第1のマイクロ波出力に維持しながら、マイクロ波を供給する供給時間と、供給時間より短いマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または所定時間繰り返して基板に供給して加熱する加熱処理と、マイクロ波を第1のマイクロ波出力より高い第2のマイクロ波出力に維持しながら基板に所定時間供給して改質する改質処理と、を行うようにマイクロ波発振器を制御することが可能な制御部と、を備える基板処理装置、それを用いた半導体装置の製造方法およびプログラムの実施形態である。

[0010] (1) 基板処理装置の構成 本実施形態における基板処理装置は、1枚または複数枚のウエハに各種の熱処理を施す枚葉式熱処理装置として構成され

ており、後述する電磁波を用いたアニール処理（改質処理）を行う装置として説明を行う。本実施形態における基板処理装置では、基板としてのウエハを処理室内部に収容した収納容器（キャリア）としてFOUP（Front Opening Unified Pod：以下、ポッドと称する）が使用される。ポッドは、ウエハを種々の基板処理装置間を搬送する為の搬送容器としても用いられる。

[0011] 図1、図2および図3に示すように、基板処理装置100は、ウエハ200を搬送する搬送室203を内部に有する搬送筐体202と、搬送筐体202の側壁に設けられ、ウエハ200を処理する処理室201-1、201-2をそれぞれ内部に有する後述する処理容器としてのケース102-1、102-2を備えている。また、処理室201-1、201-2の間には、冷却室204を形成する冷却ケース109が設けられている。

[0012] 搬送筐体202の前側である図2の向かって右側（図3の向かって下側）には、ポッド110の蓋を開閉し、ウエハ200を搬送室203に搬入・搬出するための、ポッド開閉機構としてのロードポートユニット（LP）106が配置されている。ロードポートユニット106は、筐体106aと、ステージ106bと、オープナ106cとを備え、ステージ106bは、ポッド110を載置し、搬送室203の筐体前方に形成された基板搬入搬出口134にポッド110を近接させるように構成され、オープナ106cによってポッド110に設けられている図示しない蓋を開閉させる。また、ロードポートユニット106は、ポッド110内部をN₂ガス等のパージガスでパージする可能な機能を有していてもよい。また、搬送筐体202は、搬送室203内をN₂などのパージガスを循環させるための後述するパージガス循環構造を有している。

[0013] 搬送筐体202の後側である図2の向かって左側（図3の向かって上側）には、処理室201-1、201-2を開閉するゲートバルブ（GV）205-1、205-2がそれぞれ配置されている。搬送室203には、ウエハ200を移載する基板移載機構である基板移載ロボット、基板搬送部として

の移載機 125 が設置されている。移載機 125 は、ウエハ 200 を載置する載置部としてのツィーザ（アーム） 125 a-1、125 a-2 と、ツィーザ 125 a-1、125 a-2 のそれぞれを水平方向に回転または直動可能な移載装置 125 b と、移載装置 125 b を昇降させる移載装置エレベータ 125 c とで構成されている。ツィーザ 125 a-1、125 a-2、移載装置 125 b、移載装置エレベータ 125 c の連続動作により、後述する基板保持具（基板保持部） 217、冷却室 204 やポッド 110 にウエハ 200 を装填（チャージング）または脱装（ディスチャージング）することを可能な構成としている。以降、ケース 102-1、102-2、処理室 201-1、201-2、ツィーザ 125 a-1 および 125 a-2 のそれぞれは、特に区別して説明する必要が無い場合には、単にケース 102、処理室 201、ツィーザ 125 a として記載する。

[0014] ツィーザ 125 a-1 は、通常のアルミ材質であって、低温および常温のウエハの搬送に用いられる。ツィーザ 125 a-2 は、耐熱性が高く、熱伝導率の悪いアルミナや石英部材等の材質であって、高温および常温のウエハの搬送に用いられる。つまり、ツィーザ 125 a-1 は低温用の基板搬送部であり、ツィーザ 125 a-2 は高温用の基板搬送部である。高温用のツィーザ 125 a-2 は、例えば、100℃以上、より好ましくは、200℃以上の耐熱性を有する様に構成するのが良い。低温用ツィーザ 125 a-1 には、マッピングセンサを設置することが出来る。低温用ツィーザ 125 a-1 にマッピングセンサを設けることにより、ロードポートユニット 106 内のウエハ 200 の枚数の確認、反応室 201 内のウエハ 200 の枚数の確認、冷却室 204 内のウエハ 200 の枚数の確認を行うことが可能になる。

[0015] 本実施形態の基板処理装置において、ツィーザ 125 a-1 を低温用ツィーザとし、ツィーザ 125 a-2 は高温用ツィーザとして説明を行うが、これに限定されない。ツィーザ 125 a-1 を耐熱性が高く、熱伝導率の悪いアルミナや石英部材等の材質で構成し、高温および常温のウエハの搬送に用い、ツィーザ 125 a-2 を、通常のアルミ材質で構成し、低温および常温

のウエハの搬送に用いても良い。また、ツィーザ125a-1、125a-2の両方を、耐熱性が高く、熱伝導率の悪いアルミナや石英部材等の材質で構成しても良い。

[0016] (処理炉) 図2の破線で囲まれた領域Aには、図1に示すような基板処理構造を有する処理炉(処理室)201が構成される。図3に示すように、本実施形態においては処理炉が複数設けられているが、処理炉の構成は同一である為、一つの構成を説明するに留め、他方の処理炉構成の説明は省略する。

[0017] 図1に示すように、処理炉は、金属などの電磁波を反射する材料で構成されるキャビティ(処理容器)としてのケース102を有している。また、金属材料で構成されたキャップフランジ(閉塞板)104が、図示を省略したシール部材としてのリングを介してケース102の上端を閉塞するように構成する。主にケース102とキャップフランジ104の内側空間をシリコンウエハ等の基板を処理する処理室201として構成している。ケース102の内部に電磁波を透過させる石英製の図示しない反応管を設置してもよく、反応管内部が処理室となるように処理容器を構成してもよい。また、キャップフランジ104を設けずに、天井が閉塞したケース102を用いて処理室201を構成するようにしてもよい。

[0018] 処理室201内には載置台210が設けられており、載置台210の上面には、基板としてのウエハ200を保持する基板保持具としてのポート217が載置されている。ポート217には、処理対象であるウエハ200と、ウエハ200を挟み込むようにウエハ200の垂直方向上下に載置されたサセプタ103a、103bが所定の間隔で保持されている。このサセプタ103a、103bは、例えば、シリコンプレート(Si板)や炭化シリコンプレート(SiC板)などの材料としてウエハ200の上下に配置することにより、ウエハ200のエッジに対する電界強度が集中することを抑制する。すなわち、サセプタは、ウエハのエッジに対する電磁波の吸収を抑制するものである。また、サセプタ103a、103bの上面及び下面に、断熱板

としての石英プレート101a、101bが所定の間隔で保持されるようにしても良い。本実施形態において、石英プレート101aと101bのそれぞれ、サセプタ103aと103bのそれぞれは同一の部品で構成されており、以後、特に区別して説明する必要が無い場合には、石英プレート101、サセプタ103と称して説明する。

[0019] 処理容器としてのケース102は、例えば横断面が円形であり、平らな密閉容器として構成されている。また、下部容器としての搬送筐体202は、例えばアルミニウム(A1)やステンレス(SUS)などの金属材料、または、石英などにより構成されている。なお、ケース102に囲まれた空間を処理空間としての処理室201又は反応エリア201と称し、搬送筐体202に囲まれた空間を搬送空間としての搬送室又は搬送エリア203と称する場合もある。なお、処理室201と搬送室203は、本実施形態のように水平方向に隣接させて構成することに限らず、垂直方向に隣接させ、所定の構造を有する基板保持具を昇降させる構成としてもよい。

[0020] 図1、図2および図3に示すように、搬送筐体202の側面には、ゲートバルブ205に隣接した基板搬入搬出口206が設けられており、ウエハ200は基板搬入搬出口206を介して処理室201と搬送室203との間を移動する。ゲートバルブ205または基板搬入搬出口206の周辺には、後述する電磁波の漏洩対策として、使用される電磁波の $1/4$ 波長の長さを有するチョーク構造が設けられている。

[0021] ケース102の側面には、後に詳述する加熱装置としての電磁波供給部が設置されており、電磁波供給部から供給されたマイクロ波等の電磁波が処理室201に導入されてウエハ200等を加熱し、ウエハ200を処理する。

[0022] 載置台210は回転軸としてのシャフト255によって支持される。シャフト255は、処理室201の底部を貫通しており、更には処理室201の外部で回転動作を行う駆動機構267に接続されている。駆動機構267を作動させてシャフト255及び載置台210を回転させることにより、ポート217上に載置されるウエハ200を回転させることが可能となっている。

。なお、シャフト255下端部の周囲はベローズ212により覆われており、処理室201および搬送エリア203内は気密に保持されている。

[0023] ここで、載置台210は基板搬入搬出口206の高さに応じて、駆動機構267によって、ウエハ200の搬送時にはウエハ200がウエハ搬送位置となるよう上昇または下降し、ウエハ200の処理時にはウエハ200が処理室201内の処理位置（ウエハ処理位置）まで上昇または下降するよう構成されていてもよい。

[0024] 処理室201の下方であって、載置台210の外周側には、処理室201の雰囲気気を排気する排気部が設けられている。図1に示すように、排気部には排気口221が設けられている。排気口221には排気管231が接続されており、排気管231には、処理室201内の圧力に応じて弁開度を制御するAPCバルブなどの圧力調整器244、真空ポンプ246が順に直列に接続されている。

[0025] ここで、圧力調整器244は、処理室201内の圧力情報、後述する圧力センサ245からのフィードバック信号を受信して排気量を調整することができるものであればAPCバルブに限らず、通常の開閉バルブと圧力調整弁を併用するように構成されていてもよい。

[0026] 主に、排気口221、排気管231、圧力調整器244により排気部（排気系または排気ラインとも称する）が構成される。なお、載置台210を囲むように排気口を設け、ウエハ200の全周からガスを排気可能に構成してもよい。また、排気部の構成に、真空ポンプ246を加えるようにしてもよい。

[0027] キャップフランジ104には、不活性ガス、原料ガス、反応ガスなどの各種基板処理のための処理ガスを処理室201内に供給するためのガス供給管232が設けられている。このガス供給管232には、上流から順に、流量制御器（流量制御部）であるマスフローコントローラ（MFC）241、および、開閉弁であるバルブ243が設けられている。ガス供給管232の上流側には、例えば不活性ガスである窒素（N₂）ガス源が接続され、MFC

241、バルブ243を介して処理室201内へ供給される。基板処理の際に複数種類のガスを使用する場合には、ガス供給管232のバルブ243よりも下流側に、上流側から順に流量制御器であるMFCおよび開閉弁であるバルブが設けられたガス供給管が接続された構成を用いることで複数種類のガスを供給することができる。ガス種毎にMFC、バルブが設けられたガス供給管を設置してもよい。

[0028] 主に、ガス供給管232、MFC241、バルブ243によりガス供給系（ガス供給部）が構成される。ガス供給系に不活性ガスを流す場合には、不活性ガス供給系とも称する。不活性ガスとしては、N₂ガスの他、例えば、Arガス、Heガス、Neガス、Xeガス等の希ガスを用いることができる。

[0029] キャップフランジ104には、非接触式の温度測定装置として温度センサ263が設置されている。温度センサ263により検出された温度情報に基づき後述するマイクロ波発振器655の出力を調整することで、基板を加熱し、基板温度が所望の温度分布となる。温度センサ263は、例えばIR（Infrared Radiation）センサなどの放射温度計で構成されている。温度センサ263は、石英プレート101aの表面温度、または、ウエハ200の表面温度を測定するように設置される。上述した発熱体としてのサセプタが設けられている場合にはサセプタの表面温度を測定するように構成してもよい。なお、本実施形態においてウエハ200の温度（ウエハ温度）と記載した場合は、後述する温度変換データによって変換されたウエハ温度、すなわち、推測されたウエハ温度のことを意味する場合と、温度センサ263によって直接ウエハ200の温度を測定して取得した温度を意味する場合と、それらの両方を意味する場合を指すものとして説明する。

[0030] 温度センサ263によって石英プレート101またはサセプタ103と、ウエハ200のそれぞれに対し、温度変化の推移を予め取得しておくことで石英プレート101またはサセプタ103と、ウエハ200の温度の相関関係を示した温度変換データを記憶装置121cまたは外部記憶装置123に

記憶させてもよい。このように予め温度変換データを作成することによって、ウエハ２００の温度は、石英プレート１０１の温度のみを測定することで、ウエハ２００の温度を推測可能とし、推測されたウエハ２００の温度を基に、マイクロ波発振器６５５の出力、すなわち加熱装置の制御を行うことが可能となる。

[0031] なお、基板の温度を測定する手段として、上述した放射温度計に限らず、熱電対を用いて温度測定を行ってもよいし、熱電対と非接触式温度計を併用して温度測定を行ってもよい。ただし、熱電対を用いて温度測定を行った場合、熱電対をウエハ２００の近傍に配置して温度測定を行う必要がある。すなわち、処理室２０１内に熱電対を配置する必要があるため、後述するマイクロ波発振器から供給されたマイクロ波によって熱電対自体が加熱されてしまうので正確に測温することができない。したがって、非接触式温度計を温度センサ２６３として用いることが好ましい。

[0032] また、温度センサ２６３は、キャップフランジ１０４に設けることに限らず、載置台２１０に設けるようにしてもよい。また、温度センサ２６３は、キャップフランジ１０４や載置台２１０に直接設置するだけでなく、キャップフランジ１０４や載置台２１０に設けられた測定窓からの放射光を鏡等で反射させて間接的に測定するように構成されてもよい。さらに、温度センサ２６３は１つ設置することに限らず、複数設置するようにしてもよい。

[0033] ケース１０２の側壁には電磁波導入ポート６５３－１、６５３－２が設置されている。電磁波導入ポート６５３－１、６５３－２のそれぞれには処理室２０１内に電磁波（マイクロ波）を供給するための導波管６５４－１、６５４－２のそれぞれの一端が接続されている。導波管６５４－１、６５４－２それぞれの他端には処理室２０１内に電磁波を供給して加熱する加熱源としてのマイクロ波発振器（電磁波源）６５５－１、６５５－２が接続されている。マイクロ波発振器６５５－１、６５５－２はマイクロ波などの電磁波を導波管６５４－１、６５４－２にそれぞれ供給する。また、マイクロ波発振器６５５－１、６５５－２は、マグネトロンやクライストロンなどが用い

られる。以降、電磁波導入ポート653-1、653-2、導波管654-1、654-2、マイクロ波発振器655-1、655-2は、特にそれぞれを区別して説明する必要のない場合には、電磁波導入ポート653、導波管654、マイクロ波発振器655と記載して説明する。

[0034] マイクロ波発振器655によって生じる電磁波の周波数は、好ましくは13.56MHz以上24.125GHz以下の周波数範囲となるように制御される。さらに好適には、2.45GHzまたは5.8GHzの周波数となるように制御されることが好ましい。ここで、マイクロ波発振器655-1、655-2のそれぞれの周波数は同一の周波数としてもよいし、異なる周波数で設置されてもよい。

[0035] また、本実施形態において、マイクロ波発振器655は、ケース102の側面に2つ配置されるように記載されているが、これに限らず、1つ以上設けられていればよく、また、ケース102の対向する側面等の異なる側面に設けられるように配置してもよい。主に、マイクロ波発振器655-1、655-2、導波管654-1、654-2および電磁波導入ポート653-1、653-2によって加熱装置としての電磁波供給部（電磁波供給装置、マイクロ波供給部、マイクロ波供給装置とも称する）が構成される。

[0036] マイクロ波発振器655-1、655-2のそれぞれには後述するコントローラ121が接続されている。コントローラ121には処理室201内に収容される石英プレート101aまたは101b、若しくはウエハ200の温度を測定する温度センサ263が接続されている。温度センサ263は、上述した方法によって石英プレート101、またはウエハ200の温度を測定してコントローラ121に送信し、コントローラ121によってマイクロ波発振器655-1、655-2の出力を制御し、ウエハ200の加熱を制御する。なお、加熱装置による加熱制御の方法としては、マイクロ波発振器655へ入力する電圧を制御することでウエハ200の加熱を制御する方法と、マイクロ波発振器655の電源をONとする時間とOFFとする時間の比率を変更することでウエハ200の加熱を制御する方法などを用いること

ができる。

[0037] ここで、マイクロ波発振器 655-1、655-2 は、コントローラ 121 から送信される同一の制御信号によって制御される。しかし、これに限らず、マイクロ波発振器 655-1、655-2 それぞれにコントローラ 121 から個別の制御信号を送信することでマイクロ波発振器 655-1、655-2 が個々に制御されるように構成してもよい。

[0038] (制御装置) 図 4 に示すように、制御部(制御装置、制御手段)であるコントローラ 121 は、CPU (Central Processing Unit) 121a、RAM (Random Access Memory) 121b、記憶装置 121c、I/Oポート 121d を備えたコンピュータとして構成されている。RAM 121b、記憶装置 121c、I/Oポート 121d は、内部バス 121e を介して、CPU 121a とデータ交換可能のように構成されている。コントローラ 121 には、例えばタッチパネル等として構成された入出力装置 122 が接続されている。

[0039] 記憶装置 121c は、例えばフラッシュメモリ、HDD (Hard Disk Drive) 等で構成されている。記憶装置 121c 内には、基板処理装置の動作を制御する制御プログラムや、アニール(改質)処理の手順や条件等が記載されたプロセスレシピ等が、読み出し可能に格納されている。プロセスレシピは、後述する基板処理工程における各手順をコントローラ 121 に実行させ、所定の結果を得ることが出来るように組み合わせられたものであり、プログラムとして機能する。以下、このプロセスレシピや制御プログラム等を総称して、単に、プログラムともいう。また、プロセスレシピを、単にレシピともいう。

[0040] 本明細書においてプログラムという言葉を用いた場合は、レシピ単体のみを含む場合、制御プログラム単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。RAM 121b は、CPU 121a によって読み出されたプログラムやデータ等が一時的に保持されるメモリ領域(ワークエリア)として構成されている。

- [0041] I/Oポート121dは、上述の移載機125、MFC241、バルブ243、圧力センサ245、APCバルブ244、真空ポンプ246、温度センサ263、駆動機構267、マイクロ波発振器655等に接続されている。
- [0042] CPU121aは、記憶装置121cから制御プログラムを読み出して実行すると共に、入出力装置122からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置121cからレシピを読み出すように構成されている。CPU121aは、読み出したレシピの内容に沿うように、移載機による基板の移載動作、MFC241による各種ガスの流量調整動作、バルブ243の開閉動作、圧力センサ245に基づくAPCバルブ244による圧力調整動作、真空ポンプ246の起動および停止、温度センサ263に基づくマイクロ波発振器655の出力調整動作、駆動機構267による載置台210（またはポート217）の回転および回転速度調節動作、または、昇降動作等を制御することが可能なように構成されている。
- [0043] コントローラ121は、外部記憶装置（例えば、ハードディスク等の磁気ディスク、CD等の光ディスク、MO等の光磁気ディスク、USBメモリ等の半導体メモリ）123に格納された上述のプログラムを、コンピュータにインストールすることにより構成することができる。記憶装置121cや外部記憶装置123は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体として構成されている。以下、これらを総称して、単に、記録媒体ともいう。本明細書において記録媒体という言葉を用いた場合は、記憶装置121c単体のみを含む場合、外部記憶装置123単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。なお、コンピュータへのプログラムの提供は、外部記憶装置123を用いず、インターネットや専用回線等の通信手段を用いて行ってもよい。
- [0044] 本実施形態により、サイクリックマイクロ波照射によるウエハ変形抑制を図ることができた。すなわち、予備加熱時の出力を3200Wのステップ状にすることにより、ウエハの変形量を5mm以内に抑えられる。ここで、ス

テップ状とは、3200Wで8秒On、2秒Off（0W）で14サイクル（合計：140秒）の予備加熱を実施した。ステップ状の出力のため、サセプタ端部の温度にも落ち込みが発生する。その後、6kWで150秒間マイクロ波を照射させることで基板温度は600℃程度まで上がる。この時のSiウエハの最大変形量は5mm以内に抑えられた。

[0045] 図5に本実施形態に係る基板処理のフローの一例を示した。ここで、上述の基板処理装置を用いて、半導体装置（デバイス）の製造工程の一工程として、例えば、基板上に形成されたシリコン含有膜としてのアモルファスシリコン膜の改質（結晶化）方法の一例について、図5に示した処理フローに沿って説明する。以下の説明において、基板処理装置を構成する各部の動作は図4で説明した制御部により制御される。ここで、「ウエハ」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものを意味する場合や、ウエハとその表面に形成された所定の層や膜との積層体を意味する場合がある。

[0046] まず、基板取出し工程（S801）の後、基板搬入工程（S802）が実施され、ウエハ200はゲートバルブ205の開閉動作によって所定の処理室201に搬入（ポートローディング）される。つまり、低温用のツィーザ125a-1、高温用のツィーザ125a-2に載置された2枚のウエハを、処理室201に搬入する。

[0047] （炉内圧力・温度調整工程（S803）） 処理室201へウエハ200の搬入が完了したら、所定の圧力（例えば10～102000Pa）となるよう処理室201内の雰囲気制御する。具体的には、真空ポンプ246により排気しつつ、圧力センサ245により検出された圧力情報に基づいて圧力調整器244の弁開度をフィードバック制御し、処理室201内を所定の圧力とする。

[0048] （不活性ガス供給工程（S804）） 炉内圧力・温度調整工程S803によって処理室201内の圧力と温度を所定の値に制御すると、駆動機構267は、シャフト255を回転させ、載置台210上のポート217を介してウエハ200を回転させる。このとき、窒素ガス等の不活性ガスがガス

供給管 232 を介して供給される (S804)。さらにこのとき、処理室 201 内の圧力は 10 Pa 以上 102000 Pa 以下の範囲となる所定の値であって、例えば 101300 Pa 以上 101650 Pa 以下となるように調整される。なお、シャフトは基板搬入工程 S402 時、すなわち、ウエハ 200 を処理室 201 内に搬入完了後に回転させてもよい。

[0049] (予備加熱工程 (S805)) 続いて、処理室 201 内を所定の圧力になると、マイクロ波発振器 655 は上述した各部を介して処理室 201 内に第 1 のマイクロ波が供給する。第 1 のマイクロ波出力 (例えば、3200 W) で、マイクロ波供給の ON 時間 (例えば 8 秒) と、ON 時間よりも短い OFF 時間 (2 秒) とを所定回数 (14 回) または所定時間 (140 秒) 繰り返して、ウエハ 200 を加熱する予備加熱処理を行う。これにより、ウエハの温度上昇を緩やかにすることで、ウエハの反りや割れを防止できる。

[0050] (改質工程 (S806)) 処理室 201 内を所定の圧力となるように維持しながら、マイクロ波発振器 655 は上述した各部を介して処理室 201 内に第 2 のマイクロ波 (例えば、6000 W) を、所定時間 (例えば、160 秒) 供給する。処理室 201 内に第 2 のマイクロ波が供給されることによって、ウエハ 200 が 100℃ 以上、1000℃ 以下の温度、好適には 400℃ 以上、900℃ 以下の温度となるように加熱し、さらに好適には、500℃ 以上、700℃ 以下の温度となるように加熱される。このような温度で基板処理することによって、ウエハ 200 が効率よくマイクロ波を吸収する温度下での基板処理となり、改質処理の速度向上が可能となる。換言すると、1000℃ よりも高い温度下で処理してしまうと、ウエハの表面が変質してしまい、マイクロ波を吸収し難くなってしまうためにウエハを加熱し難くなってしまうこととなる。このため、上述した温度帯で基板処理を行うことが望まれる。

[0051] 上記予備加熱工程 (S805) により、予備加熱時の出力を 3200 W のステップ状にすることにより、ウエハの変形量を 5 mm 以内に抑えられた。ここで、ステップ状とは、3200 W で 8 秒 On、2 秒 Off (0 W) で 1

4 サイクル（合計：140 秒）の予備加熱である。このステップ状の出力のため、サセプタ端部の温度にも落ち込みが発生する。その後、改質工程（S806）により、6000Wで160 秒間マイクロ波を照射させることで基板温度は600℃程度まで上がる。この時のSiウエハの最大変形量は5 mm以内に抑えられた。

[0052] （基板搬出工程（S807））

処理室201内の圧力を大気圧復帰させた後、ゲートバルブ205を開放し処理室201と搬送室203とを空間的に連通させる。その後、ポート217に載置されている加熱（処理）後の1枚のウエハ200を移載機125の高温用のツイーザ125a-2によって、搬送室203に搬出する（S807）。

[0053] （基板冷却工程（S808）） 搬出された加熱（処理）後の1枚のウエハ200は、高温用のツイーザ125a-2によって搬出された加熱（処理）後の1枚のウエハ200は、移載装置125b、移載装置エレベータ125cの連続動作により、冷却室204まで移動され、高温用のツイーザ125a-2によって、冷却室108内に、2枚のウエハ200が載置され、所定時間載置されることで冷却される（S808）。

[0054] （基板収容工程（S809）） 基板冷却工程S808によって冷却された2枚のウエハ200を、冷却室108から取り出し、所定のポッドに搬送する。

[0055] なお上記の実施形態の説明において、マイクロ波の第1の出力は、3200Wで説明したが、第1の出力は、2000W～4000Wとする。第1の出力について、2000W～4000Wの時のメリットは、ウエハの反り始めから最大になり収まるまでの時間を短縮できるからである。2000Wより低い時のデメリットは、ウエハの温度が上昇し始めるまで時間がかかり過ぎることにある。また、4000Wより高い時のデメリットは、ウエハ温度が急速に上昇しウエハ反りが大きくなりすぎで他と接触懸念あることである。

[0056] また、上記の実施形態の説明において、第2のマイクロ波は、6000Wで説明したが、第2のマイクロ波出力は、4000W～12000Wとする。4000W～12000Wの時のメリットは、プロセスウエハをトリートメントに適正な温度に調整できることにある。4000Wより低い時のデメリットは、トリートメントに長時間必要か、処理不足になることにある。また、12000Wより高い時のデメリットは、一度に処理するウエハ枚数にもよるが、ウエハがマイクロ波を吸収できる限度を超え、放電やプラズマが発生することにある。

[0057] 一方、第1のマイクロ波について、マイクロ波をONしている時間は8秒で、マイクロ波をOFFしている時間は2秒としたが、前者は5秒～20秒で、後者は1秒～5秒であれば良い。ONしている時間について、5秒～20秒の時のメリットは、ウエハの反りを抑えながら速く昇温可能な点である。5秒よりも短い時のデメリットは、ウエハが温まりにくい点、20秒よりも長い時のデメリットは、ウエハ温度が急速に上昇しウエハ反りが大きくなり他のウエハと接触してしまう懸念ある点である。

更に、OFFしている時間について、1秒～5秒の時のメリットは、ウエハを冷まし過ぎず ウエハの反りを抑制できる点、1秒よりも短い時のデメリットは、温度均一化時間が足りない、5秒よりも長いときのデメリットは、冷却され過ぎて温度戻りに時間がかかる点である。

[0058] 更に、改質処理時間（アニール処理時間）は、160秒としたが、60秒～1800秒で良い。60秒～1800秒のメリットは、開発中のトリートメントプロセスに対応する処理時間を短くしたいが実際は長くなりがちな点、60秒より短い時のデメリットは、ウエハ面内の均一性を合わせるのが難しい点、1800秒より長い時のデメリットは、スループットが低下する点にある。

[0059] 以上説明した本実施形態の装置によれば、半導体基板の面内温度分布を均一にするためにマイクロ波をサイクリック照射して、マイクロ波が弱い時或いはOFF時に半導体基板内の熱伝導を促進することにより半導体基板上の

温度差を低減することで半導体基板の反りや割れの発生、更には半導体基板同士が接触することを抑制することができる。更に、サイクリック照射することにより、半導体基板温度を低く維持しながら、高パワーマイクロ波を照射することが可能となり、温度制限がある半導体基板に対しても対応可能となる。

[0060] 以上説明した実施形態は、適宜変更して用いることができ、その効果も得ることができる。例えば、上述の説明では、シリコンを主成分とする膜として、アモルファスシリコン膜をポリシリコン膜に改質する処理について記載したが、これに限らず、酸素（O）、窒素（N）、炭素（C）、水素（H）のうち、少なくとも1つ以上を含むガスを供給させて、ウエハ200の表面に形成された膜を改質しても良い。例えば、ウエハ200に、高誘電体膜としてのハフニウム酸化膜（ Hf_xO_y 膜）が形成されている場合に、酸素を含むガスを供給しながらマイクロ波を供給して加熱させることによって、ハフニウム酸化膜中の欠損した酸素を補充し、高誘電体膜の特性を向上させることができる。

[0061] なお、ここでは、ハフニウム酸化膜について示したが、これに限らず、アルミニウム（Al）、チタニウム（Ti）、ジルコニウム（Zr）、タンタル（Ta）、ニオブ（Nb）、ランタン（La）、セリウム（Ce）、イットリウム（Y）、バリウム（Ba）、ストロンチウム（Sr）、カルシウム（Ca）、鉛（Pb）、モリブデン（Mo）、タングステン（W）等の少なくともいずれかを含む金属元素を含む酸化膜、すなわち、金属系酸化膜を改質する場合においても、好適に適用可能である。すなわち、上述の成膜シーケンスは、ウエハ200上に、 $TiOCN$ 膜、 $TiOC$ 膜、 $TiON$ 膜、 TiO 膜、 $ZrOCN$ 膜、 $ZrOC$ 膜、 $ZrON$ 膜、 ZrO 膜、 $HfOCN$ 膜、 $HfOC$ 膜、 $HfON$ 膜、 HfO 膜、 $TaOCN$ 膜、 $TaOC$ 膜、 $TaON$ 膜、 TaO 膜、 $NbOCN$ 膜、 $NbOC$ 膜、 $NbON$ 膜、 NbO 膜、 $AlOCN$ 膜、 $AlOC$ 膜、 $AlON$ 膜、 AlO 膜、 $MoOCN$ 膜、 $MoOC$ 膜、 $MoON$ 膜、 MoO 膜、 $WOCN$ 膜、 WOC 膜、 WON 膜、 WO 膜を改質

する場合にも、好適に適用することが可能となる。

- [0062] また、高誘電体膜に限らず、不純物がドーピングされたシリコンを主成分とする膜を加熱させるようにしてもよい。シリコンを主成分とする膜としては、シリコン窒化膜（SiN膜）、シリコン酸化膜（SiO膜）シリコン酸炭化膜（SiOC膜）、シリコン酸炭窒化膜（SiOCN膜）、シリコン酸窒化膜（SiON膜）等のSi系酸化膜がある。不純物としては、例えば、臭素（B）、炭素（C）、窒素（N）、アルミニウム（Al）、リン（P）、ガリウム（Ga）、砒素（As）などの少なくとも1つ以上を含む。
- [0063] また、メタクリル酸メチル樹脂（Polymethyl methacrylate：PMMA）、エポキシ樹脂、ノボラック樹脂、ポリビニルフェニール樹脂などの少なくともいずれかをベースとするレジスト膜であってもよい。
- [0064] また、上述では、半導体装置の製造工程の一工程について記したが、これに限らず、液晶パネルの製造工程のパターニング処理、太陽電池の製造工程のパターニング処理や、パワーデバイスの製造工程のパターニング処理などの、基板を処理する技術にも適用可能である。
- [0065] なお、本開示は、以上に説明した実施形態に限定されるものではなく、さらに、様々な変形例が含まれる。例えば、前記した実施形態は、本開示を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。
- [0066] 更に、上述した各構成、機能、制御部であるコントローラ等は、それらの一部又は全部を実現するプログラムを作成する例を中心に説明したが、それらの一部又は全部を例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現しても良いことは言うまでもない。すなわち、処理部の全部または一部の機能は、プログラムに代え、例えば、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）、FPGA（Field Programmable Gate Array）などの集積回路などにより実現してもよい。（本開示の好ましい態様）

[0067] 以下に、本開示の好ましい態様について付記する。

[0068] (付記 1)

基板を処理する処理室と、
前記処理室にマイクロ波を供給するマイクロ波発振器と、
前記マイクロ波を第 1 のマイクロ波出力で、マイクロ波を供給する供給時間と、前記供給時間より短いマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または所定時間繰り返して前記基板に供給して加熱する加熱処理と、前記第 1 のマイクロ波出力より高い第 2 のマイクロ波出力を維持しながら前記基板に所定時間供給する改質処理と、を行うように前記マイクロ波発振器を制御することが可能なように構成される制御部と、を有する基板処理装置。

[0069] (付記 2)

前記第 1 のマイクロ波出力は、2000W～4000Wである付記 1 に記載の基板処理装置。

[0070] (付記 3)

前記第 2 のマイクロ波出力は、4000W～12000Wである付記 1 又は 2 に記載の基板処理装置。

[0071] (付記 4)

前記供給時間は 5 秒～20 秒であって、前記停止時間は 1 秒～5 秒である付記 1 に記載の基板処理装置。

[0072] (付記 5)

前記改質処理する時間は、60 秒～1800 秒である付記 1 に記載の基板処理装置。

[0073] (付記 6)

前記基板には、アモルファスシリコン膜が形成されている付記 1 に記載の基板処理装置。

[0074] (付記 7)

基板を基板処理装置の処理室に搬入する工程と、
マイクロ波を第 1 のマイクロ波出力で、前記第 1 のマイクロ波を供給する

供給時間と、前記供給時間より短い前記第１のマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または第１の所定時間繰り返して前記基板に供給して加熱する加熱工程と、

前記第１のマイクロ波出力より高い第２のマイクロ波出力を維持しながら前記基板に前記第２のマイクロ波を第２の所定時間供給する改質工程と、
を行う半導体装置の製造方法。

[0075] (付記８)

前記第１のマイクロ波出力は、２０００Ｗ～４０００Ｗである付記７に記載の半導体装置の製造方法。

[0076] (付記９)

前記第２のマイクロ波出力は、４０００Ｗ～１２０００Ｗである付記７又は８に記載の半導体装置の製造方法。

[0077] (付記１０)

前記供給時間は５秒～２０秒であって、前記停止時間は１秒～５秒である付記７に記載の半導体装置の製造方法。

[0078] (付記１１)

前記改質工程の時間は、６０秒～１８００秒である付記７に記載の半導体装置の製造方法。

[0079] (付記１２)

アモルファスシリコン膜が形成されている基板に対して、前記加熱工程と、前記改質工程と、を行う付記７に記載の半導体装置の製造方法。

[0080] (付記１３)

基板を基板処理装置の処理室に搬入する手順と、
マイクロ波を第１のマイクロ波出力で、前記第１のマイクロ波を供給する供給時間と、前記供給時間より短いマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または第１の所定時間繰り返して前記基板に供給して加熱する加熱手順と、
前記第１のマイクロ波出力より高い第２のマイクロ波出力を維持しながら

前記基板に前記第２マイクロ波を第２の所定時間供給する改質手順と、
をコンピュータにより前記基板処理装置に実行させるプログラム。

[0081] (付記１４)

前記第１のマイクロ波出力は、２０００Ｗ～４０００Ｗである付記１３に記載のプログラム。

[0082] (付記１５)

前記第２のマイクロ波出力は、４０００Ｗ～１２０００Ｗである付記１３又は１４に記載のプログラム。

[0083] (付記１６)

前記供給時間は５秒～２０秒であって、前記停止時間は１秒～５秒である付記１３に記載のプログラム。

[0084] (付記１７)

前記改質手順の時間は、６０秒～１８００秒である付記１３に記載のプログラム。

[0085] (付記１８)

アモルファスシリコン膜が形成されている基板に対して、前記加熱工程と、前記改質工程と、を行う付記１１に記載のプログラム。

符号の説明

[0086] １００ 基板処理装置 １０１ 石英プレート １０３ サセプタ １９９ ボード ２００ ウエハ（半導体基板） ６５５ マイクロ波発振器

請求の範囲

- [請求項1] 基板を処理する処理室と、
 前記処理室にマイクロ波を供給するマイクロ波発振器と、
 前記マイクロ波を第1のマイクロ波出力で、前記第1のマイクロ波を供給する供給時間と、前記供給時間より短い前記第1のマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または第1の所定時間繰り返して前記第1のマイクロ波を前記基板に供給して加熱する加熱処理と、前記第1のマイクロ波出力より高い第2のマイクロ波出力を維持しながら前記第2のマイクロ波を前記基板に第2の所定時間供給する改質処理と、を行うように前記マイクロ波発振器を制御することが可能なように構成される制御部と、
 を有する基板処理装置。
- [請求項2] 前記第1のマイクロ波出力は、2000W～4000Wである請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項3] 前記第2のマイクロ波出力は、4000W～12000Wである請求項1又は請求項2に記載の基板処理装置。
- [請求項4] 前記供給時間は5秒～20秒であって、前記停止時間は1秒～5秒である請求項1～請求項3のいずれか一項に記載の基板処理装置。
- [請求項5] 前記改質処理する時間は、60秒～1800秒である請求項1～請求項4のいずれか一項に記載の基板処理装置。
- [請求項6] 前記基板には、アモルファスシリコン膜が形成されている請求項1～請求項5のいずれか一項に記載の基板処理装置。
- [請求項7] 基板を基板処理装置の処理室に搬入する工程と、
 マイクロ波を第1のマイクロ波出力で、前記第1のマイクロ波を供給する供給時間と、前記供給時間より短い前記第1のマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または第1の所定時間繰り返して前記基板に供給して加熱する加熱工程と、
 前記第1のマイクロ波出力より高い第2のマイクロ波出力を維持し

ながら前記基板に前記第2のマイクロ波を第2の所定時間供給する改質工程と、を行う半導体装置の製造方法。

[請求項8] 前記第1のマイクロ波出力は、2000W～4000Wである請求項7に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項9] 前記第2のマイクロ波出力は、4000W～12000Wである請求項7又は請求項8に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項10] 前記供給時間は5秒～20秒であって、前記停止時間は1秒～5秒である請求項7～9のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項11] 前記改質工程の時間は、60秒～1800秒である請求項7～請求項10のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項12] アモルファスシリコン膜が形成されている基板に対して、前記加熱工程と、前記改質工程と、を行う請求項7～請求項11のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項13] 基板を基板処理装置の処理室に搬入する手順と、
マイクロ波を第1のマイクロ波出力で、前記第1のマイクロ波を供給する供給時間と、前記供給時間より短い前記第1のマイクロ波を停止する停止時間と、を所定回数または第1の所定時間繰り返して前記基板に供給して加熱する加熱手順と、
前記第1のマイクロ波出力より高い第2のマイクロ波出力を維持しながら前記基板に前記第2のマイクロ波を第2の所定時間供給する改質手順と、

をコンピュータにより前記基板処理装置に実行させるプログラム。

[請求項14] 前記第1のマイクロ波出力は、2000W～4000Wである請求項13に記載のプログラム。

[請求項15] 前記第2のマイクロ波出力は、4000W～12000Wである請求項13又は請求項14に記載のプログラム。

[請求項16] 前記供給時間は5秒～20秒であって、前記停止時間は1秒～5秒である請求項13～請求項15のいずれか一項に記載のプログラム。

- [請求項17] 前記改質手順の時間は、60秒～1800秒である請求項13～請求項16のいずれか一項に記載のプログラム。
- [請求項18] アモルファスシリコン膜が形成されている基板に対して、前記加熱工程と、前記改質工程と、を行う請求項13～請求項17のいずれか一項に記載のプログラム。