

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年9月13日(13.09.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/163386 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/268 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2017/009610

(22) 国際出願日:

2017年3月9日(09.03.2017)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(71) 出願人:株式会社KOKUSAI ELECTRIC (KOKUSAI ELECTRIC CORPORATION)

[JP/JP]; 〒1010045 東京都千代田区神田鍛冶町三丁目4番地 Tokyo (JP).

(72) 発明者:佐々木 伸也 (SASAKI Shinya);

〒9392393 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 Toyama (JP).

廣地 志有(HIROCHI Yukitomo); 〒9392393 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 Toyama (JP). 道田典明(MICHITA Noriaki); 〒9392393 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 Toyama (JP).

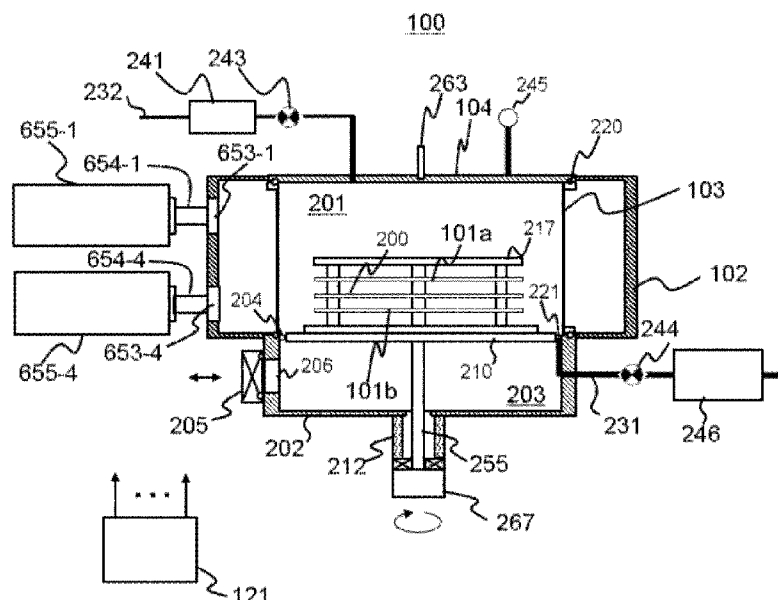
(74) 代理人: ポレール特許業務法人(POLAIRE I.P.C.); 〒1030025 東京都中央区日本橋茅場町二丁目13番11号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: SUBSTRATE PROCESSING DEVICE, SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING METHOD, AND PROGRAM

(54) 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

図1



(57) Abstract: Provided is a technology for enabling uniform substrate processing. The technology comprises: a processing chamber for processing a substrate; a heating device including a plurality of microwave supply sources for supplying microwaves for heating a substrate in the processing chamber; and a control unit configured to control the plurality of microwave supply sources so that the plurality of microwave supply sources are turned off in different periods while each of the plurality of microwave supply sources supplies a constant microwave input power to the substrate.

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,
RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 均一な基板処理を行うことが可能となる技術を提供する。基板を処理する処理室と、前記処理室内の基板を加熱するためのマイクロ波を供給する複数のマイクロ波供給源を有する加熱装置と、前記複数のマイクロ波供給源のそれぞれから前記基板に対して供給されるマイクロ波の入力電力を一定としつつ、前記複数のマイクロ波供給源がオフとなる期間がそれぞれ異なるように前記複数のマイクロ波供給源を制御するよう構成される制御部と、を有する技術を提供する。

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] 本発明は、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など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マイクロ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] 従来のマイクロ波を用いた熱処理では、基板を均一に加熱することができず、対象膜の均一な処理ができない場合がある。

[0005] 本発明の目的は、均一な基板処理を行うことが可能となる技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様によれば、基板を処理する処理室と、前記処理室内の基板を

加熱するためのマイクロ波を供給する複数のマイクロ波供給源を有する加熱装置と、前記複数のマイクロ波供給源のそれぞれから前記基板に対して供給されるマイクロ波の入力電力を一定としつつ、前記複数のマイクロ波供給源がオフとなる期間がそれぞれ異なるように前記複数のマイクロ波供給源を制御するよう構成される制御部と、を有する技術が提供される。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、均一な基板処理を行うことが可能となる技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本発明における一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の枚葉型処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を縦断面図で示す図である。

[図2A]本発明における一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の温度測定方法を示す図であり、断熱板の温度を測定する際の図である。

[図2B]本発明における一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の温度測定方法を示す図であり、基板の温度を測定する際の図である。

[図3]図1の基板処理装置において、ケースに6つの電磁波導入ポートを設けた場合の電磁波供給部の構成例を示す図である。

[図4]図3のケースの上面図である。

[図5]図3のケースの側面図である。

[図6]本発明で好適に用いられる基板処理装置のコントローラの概略構成図である。

[図7]本発明における基板処理のフローを示す図である。

[図8]本発明における一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の実施例1におけるマイクロ波の照射方法と基板の温度推移の一例を示す図である。

[図9]本発明における一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の実施例2におけるマイクロ波の照射方法と基板の温度推移の一例を示す図である。

[図10]本発明における一実施形態で好適に用いられる基板処理装置の実施例3における電磁波供給部の好適な利用方法を説明するための図である。

[図11]本発明における一実施形態に好適に用いられる基板処理装置の実施例4におけるマイクロ波の照射方法を説明するための図面である。

[図12]図11のマイクロ波の照射方法における基板の温度推移の一例を示す図である。

[図13]本発明における一実施形態に用いられる処理サンプル1の断面図である。

[図14]本発明における一実施形態に用いられる処理サンプル2の断面図である。

[図15]本発明における一実施形態に用いられる処理サンプル1のシート抵抗(R_s)を示す図である。

[図16]本発明における一実施形態に用いられる処理サンプル1のHall移動度を示す図である。

[図17]本発明における一実施形態に用いられる処理サンプル2のリン(P)の断面濃度分布を示す図である。

[図18]本発明における他の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型バッチ型の処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を縦断面図で示す図である。

[図19]本発明における他の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の変形例1における処理炉部分を縦断面図で示す図である。

[図20]本発明における他の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の変形例2における基板保持具の断面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下に、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。ただし、以下の説明において、同一構成要素には同一符号を付し繰り返しの説明を省略することがある。なお、図面は説明をより明確にするため、実際の態様に比べ、各部の幅、厚さ、形状等について模式的に表される場合があるが、あくまで一例であって、本発明の解釈を限定するものではない。

[0010] <本発明の一実施形態>

以下に本発明の一実施形態を図面に基づいて説明する。

(1) 基板処理装置の構成

本実施の形態において、本発明に係る基板処理装置100は、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いる。本実施の形態において基板処理装置100は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。

(処理室)

図1に示すように、本実施形態に係る基板処理装置100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（上部容器）としてのケース102と、ケース102の内部に收容され、垂直方向の上下端部が開放された円筒形状の反応管103を有している。反応管103は、石英などの電磁波を透過する材料で構成される。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、封止部材（シール部材）としてのリング220を介して反応管103の上端と当接されて反応管103の上端を閉塞する。主にケース102と反応管103、および、キャップフランジ104によってシリコンウエハ等の基板を処理する処理容器を構成し、特に反応管103の内側空間を処理室201として構成している。反応管103を設けずに、ケース102、キャップフランジ104により処理容器を構成するようにしてもよい。その場合、ケース102の内部空間が処理室201となる。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、ケース102と反応管103、または、ケース102によって処理容器を構成するようにしてもよい。

[0011] 反応管103の下方には載置台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ている。なお、石英プレート101a、101bの代わりに、例えば、シリ

コンプレート（S i 板）や炭化シリコンプレート（S i C 板）などの電磁波を吸収して自身が加熱される誘電体などの材質で形成し、ウエハ 200 を間接的に加熱する図示しないサセプタ（輻射板、均熱板とも称する）としての機能を有した部品を載置するようにしてもよい。また、このサセプタをウエハ 200 の外側であって石英プレート 101 a と石英プレート 101 b の内側に載置するように構成してもよい。すなわち、ウエハ 200 はサセプタに挟みこまれ、サセプタは石英プレート 101 a、101 b に挟みこまれるように（ウエハ 200 と石英プレート 101 a、および、ウエハ 200 と石英プレート 101 b との間に配置されるように）構成してもよい。このように構成することによってウエハ 200 をより効率的に均一に加熱することが可能となる。本実施形態において、石英プレート 101 a、101 b は、同一の部品であり、以後、特に区別して説明する必要がある場合には、石英プレート 101 と称して説明する。

[0012] 載置台 210 の側壁には、載置台 210 の径方向に向かって突出した図示しない突出部が載置台 210 の底面側に設けられる。この突出部が、後述する処理室 201 と搬送空間 203 との間に設けられるしきり板 204 と接近または接触することで処理室 201 内の雰囲気気（ガス）が搬送空間 203 内へ移動することや、搬送空間 203 内の雰囲気気（ガス）が処理室 201 内へ移動することを抑制させる。

[0013] 上部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容器 202 は、例えばアルミニウム（A l）やステンレス（S U S）などの金属材料、または、石英などにより構成されている。処理容器の下方には、シリコンウエハ等のウエハ 200 を搬送する搬送エリア 203 が形成されている。なお、ケース 102 に囲まれた空間、または、反応管 103 に囲まれた空間であって、仕切り板 204 よりも上方の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、搬送容器 202 に囲まれた空間であって、仕切り板より下方の空間を搬送空間としての搬送エリア 203 と称する場合もある。

。なお、処理室２０１と搬送エリア２０３は、本実施例のように垂直方向に隣接させて構成することに限らず、水平方向に隣接させて構成したり、搬送エリア２０３を設けずに処理室２０１のみ有する構成としてもよい。

[0014] 搬送容器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を介して図示しない基板搬送室との間を移動する。

[0015] 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。

[0016] 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、搬送容器２０２の底部を貫通しており、更には搬送容器２０２の外部で回転、昇降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、昇降させることにより、ポート２１７上に載置されるウエハ２００を回転または昇降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。

[0017] 載置台２１０は、ウエハ２００の搬送時には、載置台上面が基板搬入搬出口２０６の位置（ウエハ搬送位置）となるよう下降し、ウエハ２００の処理時には図１で示されるように、ウエハ２００が処理室２０１内の処理位置（ウエハ処理位置）まで上昇する。なお、上述したように処理室２０１と搬送エリア２０３を水平方向に隣接させて構成したり、搬送エリア２０３を設けずに処理室２０１のみ有する構成とした場合には、載置台を昇降させる機構を設けずに載置台を回転させる機構のみ設けるようにしてもよい。

（排気部）

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。

[0018] 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。

[0019] 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。

（ガス供給部）

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。

[0020] 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（ N_2 ）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、上流方向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。

[0021] 主に、ガス供給管 232、MFC 241、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、 N_2 ガスの他、例えば、A

r ガス、H e ガス、N e ガス、X e ガス等の希ガスを用いることができる。
(温度センサ)

キャップフランジ 1 0 4 には、非接触式の温度測定装置として温度センサ 2 6 3 が設置されている。温度センサ 2 6 3 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 6 5 5 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 2 6 3 は、例えば I R (I n f r a r e d R a d i a t i o n) センサなどの放射温度計で構成されている。温度センサ 2 6 3 は、石英プレート 1 0 1 a の表面温度、または、ウエハ 2 0 0 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、本発明においてウエハ 2 0 0 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 2 6 3 によって直接ウエハ 2 0 0 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。

[0022] 図 2 A、図 2 B に示すように、温度センサ 2 6 3 を用いて石英プレート 1 0 1 a、ウエハ 2 0 0 の表面温度を測定する場合の構成の一例が示される。図 2 A に示すように、ボート 2 1 7 の天井部（天板） 2 1 7 a が温度測定を妨げないように、ボート天板 2 1 7 a の温度センサ 2 6 3 に対向する位置に温度測定窓としての測定孔 2 1 7 b を設け、石英プレート 1 0 1 a の表面温度を測定する。ウエハ 2 0 0 の温度を測定する場合も石英プレート 1 0 1 a の測定と同様に、ボート 2 1 7 の測定孔 2 1 7 b と石英プレート 1 0 1 a に測定窓としての測定孔 1 0 5 を設け、ウエハ 2 0 0 の表面温度を測定する。これらの石英プレート 1 0 1 とウエハ 2 0 0 の温度測定は基板処理工程を実施する前の準備段階で行うこととし、予め基板処理工程における石英プレート 1 0 1 とウエハ 2 0 0 との温度変化の推移について取得しておくことが好ましい。このように石英プレート 1 0 1 とウエハ 2 0 0 の温度変化の推移を取得することで石英プレート 1 0 1 とウエハ 2 0 0 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 に記憶させる。

[0023] 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が行われる。

[0024] 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。

[0025] 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。

(電磁波供給部)

図 3 は、図面の複雑さを避けるため、マイクロ波発振器の図示は省略されている。

[0026] 次に、図 1 および図 3 を用いて、電磁波供給部の構成を説明する。本実施形態においては、図 3 に示すように、電磁波供給部を 6 つ有する構造を例示して説明する。なお、図 1 において、便宜的に、側面から確認できる電磁波導入ポート 653-1、653-4、導波管 654-1、654-4、マイクロ波発振器 655-1、655-4 が例示的に示されている。

[0027] 図1から図5に示すように、ケース102の1つの側壁には6つの電磁波導入ポート（第1導入ポート653-1、第2導入ポート653-2、第3導入ポート653-3、第4導入ポート653-4、第5導入ポート653-5、第6導入ポート653-6）が設置されている。第1導入ポート653-1～第6導入ポート653-6のそれぞれには処理室201内に電磁波を供給するための6つの導波管（第1導波管654-1、第2導波管654-2、第3導波管654-3、第4導波管654-4、第5導波管654-5、第6導波管654-6）のそれぞれの一端が接続されている。第1導波管654-1～第6導波管654-6のそれぞれ他端には処理室201内に電磁波を供給して加熱する加熱源としての6つのマイクロ波発振器（第1マイクロ波発振器655-1、第2マイクロ波発振器655-2、第3マイクロ波発振器655-3、第4マイクロ波発振器655-4、第5マイクロ波発振器655-5、第6マイクロ波発振器655-6）が接続されている。マイクロ波発振器を電磁波源（マイクロ波源）と称してもよい。なお、図4、図5には図示されていないが、前述したように、第4導波管654-4、第5導波管654-5のそれぞれ他端には、第4マイクロ波発振器655-4、第5マイクロ波発振器655-5が接続されている。

[0028] 図3、図4、図5に示されるように、ウエハ200は、この例では、ケース102のほぼ中央部分、すなわち、図4の側面図において、電磁波導入ポート653-3と653-6の間の高さ位置に配置され、また、図5の上面図において、ケース102のほぼ中央部分に配置される。これにより、6つの電磁波導入ポートから供給されるマイクロ波は、ウエハ200の上面及び下面または全体に、ほぼ均等に照射可能にされている。

[0029] なお、図3には、6つの電磁波導入ポートを設けた電磁波供給部の一例を示したが、電磁波導入ポートは4つとしても良い。この場合、例えば、電磁波導入ポート653-2、653-5及びそれに関連する導波管654-2、654-5、マイクロ波発振器655-2、655-5を削除する。電磁波供給部は、4つの電磁波導入ポート654-1、654-3、654-4

、654-6、4つの導波管654-1、654-3、654-4、654-6、4つのマイクロ波発振器655-1、655-3、655-4、655-6により、構成する。このように構成することにより、ケース102内または処理室201内のウエハ200に対する4つの電磁波導入ポート654-1、654-3、654-4、654-6の距離をほぼ均等にする事で、ウエハ200に各電磁波導入ポートからのマイクロ波をほぼ均等に作用させることが出来る。

[0030] 各マイクロ波発振器655-1～655-6はマイクロ波などの電磁波を各導波管654-1～654-6にそれぞれ供給し、各導波管654-1～654-6を介して各導入ポート653-1～653-6から処理室201内へ電磁波を供給する。また、各マイクロ波発振器655-1～655-6には、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653-1～653-6、導波管654-1～654-6、マイクロ波発振器655-1～655-6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。

[0031] 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655-1～655-6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。

[0032] 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6つ配置されるように記載されているが、これに限らず、後述される実施例1および実施例2においては1つ以上設けられていればよく、また、後述される実施例3および実施例4においては3つ以上設けられていればよい。また、マイクロ波発振器655は、ケース102の1側面に設けられていが、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。

[0033] 主に、マイクロ波発振器 655-1～655-6、導波管 654-1～654-6 および電磁波導入ポート 653-1～653-6 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。

[0034] マイクロ波発振器 655-1～655-6 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 655-1～655-6 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 の電源をオン（ON）とする時間とオフ（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。

[0035] ここで、マイクロ波発振器 655-1～655-6 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 655-1～655-6 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 655-1～655-6 が個々に制御されるように構成してもよい。

（制御装置）

図 6 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、CPU121aとデータ交換可能な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。

[0036] 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。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。RAM121bは、CPU121a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。

[0037] I/Oポート121dは、上述の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。

[0038] 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、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ように構成されている。温度センサ

263に基づくマイクロ波発振器655の出力調整動作には、図9、図10及び図11で説明されるマイクロ波発振器655の出力調整動作が含まれる。

[0039] 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。このコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されるプログラムには、図9、図10及び図11で説明されるマイクロ波発振器655の出力調整動作の制御に関する記述が含まれる。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。

（2）基板処理工程

次に、基板処理装置100の処理炉を用いた基板処理方法を説明する。ここ説明される基板処理方法では、上述の基板処理装置100の処理炉を用いて、半導体装置（デバイス）の製造工程の一工程、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）工程の一例について図7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100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。

[0040] ここで、本明細書において「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。本明細書において「ウエハの表面」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものの表面を意味する場合や、ウエハ上に

形成された所定の層等の表面を意味する場合がある。本明細書において「ウエハ上に所定の層を形成する」と記載した場合は、ウエハそのものの表面上に所定の層を直接形成することを意味する場合や、ウエハ上に形成されている層等の上に所定の層を形成することを意味する場合がある。本明細書において「基板」という言葉を用いた場合も、「ウエハ」という言葉を用いた場合と同義である。

（基板搬入工程（S401））

図1に示されているように、所定枚数のウエハ200がポート217に移動されると、駆動機構267は、載置台210を上昇させることでポート217を反応管103内側の処理室201に搬入（ポートローディング）する（S401）。

（炉内圧力・温度調整工程（S402））

処理室201内へのポート217の搬入が完了したら、処理室201内が所定の圧力（例えば10～102000Pa）となるよう処理室201内の雰囲気気を制御する。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。また、同時に予備加熱として電磁波供給部を制御し、所定の温度まで加熱を行うように制御してもよい（S402）。電磁波供給部によって、所定の基板処理温度まで昇温させる場合、ウエハ200が変形・破損しないように、後述する改質工程の出力よりも小さな出力で昇温を行うことが好ましい。なお、大気圧下で基板処理を行う場合、炉内圧力調整を行わず、炉内の温度調整のみを行った後、後述する不活性ガス供給工程S403へ移行するように制御してもよい。

（不活性ガス供給工程（S403））

炉内圧力・温度調整工程S402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 (S403)。さらにこのとき、処理室 201 内の圧力は 10Pa 以上 102000Pa 以下の範囲となる所定の値であって、例えば 101300Pa 以上 101650Pa 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 S401 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。また、本工程は炉内圧力調整方法として炉内圧力・温度調整工程 S402 と同時に実施されてもよい。

(改質工程 (S404))

処理室 201 内を所定の圧力となるように維持すると、マイクロ波発振器 655 は上述した各部を介して処理室 201 内にマイクロ波を供給する。処理室 201 内に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する。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、ウエハ 200 の温度を 100℃ よりも低い温度、または 1000℃ よりも高い温度下で処理してしまうと、ウエハ 200 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 200 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。このような基板処理の温度帯を維持するために、改質処理 (アニール処理) 中に冷却処理を行うことが好ましい。

[0041] 例えば、電磁波による加熱方式にて加熱を行う本実施形態では、処理室 201 に定在波が発生し、ウエハ 200 (サセプタが載置されている場合はサセプタもウエハ 200 と同様に) 上に、局所的に加熱されてしまう加熱集中領域 (ホットスポット) とそれ以外の加熱されない領域 (非加熱領域) が生じ、ウエハ 200 (サセプタが載置されている場合はサセプタもウエハ 200 と同様に) が変形することを抑制するため、電磁波供給部の電源のオン／

オフを制御することでウエハ２００にホットスポットが生じることを抑制している。

[0042] 以上のようにマイクロ波発振器６５５を制御することによって、ウエハ２００を加熱し、ウエハ２００表面上に形成されているアモルファスシリコン膜をポリシリコン膜へと改質（結晶化）させる。すなわち、ウエハ２００を均一に改質することが可能となる。なお、ウエハ２００の測定温度が上述した閾値を超えて高くまたは低くなった場合、マイクロ波発振器６５５をオフとするのではなく、マイクロ波発振器６５５の出力を低くするように制御することでウエハ２００の温度が所定の範囲の温度となるようにしてもよい。この場合、ウエハ２００の温度が所定の範囲の温度に戻るとマイクロ波発振器６５５の出力を高くするように制御される。

[0043] 予め設定された処理時間が経過すると、ボート２１７の回転、ガスの供給、マイクロ波の供給および排気管の排気が停止する。

（搬出工程（Ｓ４０５））

処理室２０１内の圧力を大気圧復帰させた後に、駆動機構２６７は載置台２１０を下降させることにより、炉口を開口するとともに、ボート２１７を搬送空間２０３に搬出（ボートアンローディング）する。その後ボートに載置されているウエハ２００を搬送空間２３の外部に位置する搬送室に搬出する（Ｓ４０５）。

[0044] 以上の動作が繰り返されることにより、ウエハ２００が改質処理されることとなる。

（３）温度制御方法

以下に、上述した炉内圧力・温度調整工程Ｓ４０２及び改質工程Ｓ４０４におけるマイクロ波の照射方法を制御することによる温度制御方法について、図面を用いて説明する。以下の説明において、マイクロ波発振器６５５の出力（POWER）とは、ケース１０２内または処理室２０１内に照射されるマイクロ波の入力電力を意味する。また、図１および図３に示されるように、複数のマイクロ波発振器６５５－１～６５５－６が設けられる場合、特

に記載がない場合、マイクロ波発振器 655 の出力とは、複数のマイクロ波発振器 655-1 ~ 655-6 から照射される各マイクロ波の出力の合計を意味する。

(実施例 1)

実施例 1 における炉内圧力・温度調整工程 S402 及び改質工程 S404 におけるマイクロ波の照射方法について、図 8 を用いて説明する。図 8 において、縦軸は温度 (T℃) であり、横軸は時間 (秒 : sec) である。

[0045] 図 8 に示されるように、温度調整工程及び改質工程において、温度調整工程である予備加熱処理と、改質工程であるアニール処理と冷却処理と、が順次行われる。

[0046] 図 8 において、例えば、予備加熱処理は、マイクロ波発振器 655 の出力を 4 kW として、180 秒間、マイクロ波を処理室 201 内のウエハ 200 へ照射する。マイクロ波を用いたアニール処理 (改質処理) は、マイクロ波発振器 655 の出力を 10 kW として、60 秒間、マイクロ波を処理室 201 内のウエハ 200 へ照射する。冷却処理では、マイクロ波発振器 655 の出力を 0 W として、ウエハ 200 の温度を冷却する。出力 10 kW のマイクロ波の照射の前に、予備加熱処理を行うことなく、出力 10 kW のマイクロ波でウエハ処理を行うと、ウエハ 200 の面内の温度差が大きくなり、ウエハ 200 が歪み、その程度が大きいときはその上下のウエハ 200、サセプタもしくは石英プレート 101a、101b 等に接触、または、破損する虞がある。そこで、接触を避ける (ウエハ 200 の面内の温度差を小さくする) 目的のため、予備加熱処理が行われる。予備加熱処理により、ウエハ 200 の面内の温度差が比較的均一になったところで、アニール処理が行われる。この時のウエハ 200 の温度は、予備加熱処理 (出力 4 kW、180 秒) により、550℃まで昇温させ、その後のアニール処理 (出力 10 kW、60 秒) では、770℃まで温度を上昇させる。

[0047] このように予備加熱処理を行うことによって、改質工程であるアニール処理をマイクロ波を用いて行う場合に、ウエハ面内の温度差を小さくすること

が可能となり、改質工程におけるウエハのピーク温度低下を図るのに効果的である。

(実施例 2)

次に、実施例 2 における炉内圧力・温度調整工程 S 4 0 2 及び改質工程 S 4 0 4 におけるマイクロ波の照射方法について、図 9 を用いて説明する。実施例 2 におけるマイクロ波の照射方法が、実施例 1 と異なる点は、改質工程のアニール処理において、ウエハ 2 0 0 の処理温度が一定の温度範囲内で上下するようにマイクロ波の照射とマイクロ波の照射停止とを交互に繰り返す点である。その他の点は、特に言及しない限りは、実施例 1 と同様である。

[0048] 図 9 において、縦軸は温度 (T℃) であり、横軸は時間 (秒 : sec) である。

[0049] 図 9 に示されるように、図 8 と同様、温度調整工程及び改質工程として、予備加熱処理と、アニール処理と、冷却処理と、が順次行われる。

[0050] 図 9 において、予備加熱処理は、例えば、図 8 に示される予備加熱処理と同様に、マイクロ波発振器 6 5 5 の出力を 4 kW として、180 秒間、マイクロ波を処理室 2 0 1 内のウエハへ照射する。これにより、ウエハ 2 0 0 の温度は 550℃程度まで昇温される。

[0051] マイクロ波を用いたアニール処理 (改質処理) は、例えば、マイクロ波発振器 6 5 5 の出力を 10 kW として、15 秒間、マイクロ波を処理室 2 0 1 内のウエハ 2 0 0 へ照射する。これにより、ウエハ 2 0 0 の温度を 680℃程度まで上昇させる。その後、35 秒間、マイクロ波発振器 6 5 5 の出力を 0 W として、マイクロ波のウエハ 2 0 0 への照射を停止させる。これにより、ウエハ温度を所定の温度である 550℃程度まで低下させる。ウエハ温度が所定の温度に低下すると、再度、処理室 2 0 1 内のウエハ 2 0 0 へのマイクロ波の照射 (出力 : 10 kW、時間 : 15 秒) と、ウエハ 2 0 0 へのマイクロ波の照射停止 (出力 : 0 W、時間 : 35 秒) とを行うことで、ウエハ 2 0 0 の温度は一定の温度範囲内で上下する。このようにマイクロ波発振器 6 5 5 の出力をオンとしてウエハ 2 0 0 を昇温する昇温処理と、マイクロ波発振器

655の出力をオフとしてウエハ200を降温する降温処理とを1サイクルとして少なくとも1サイクル以上実施する。この例では、全部で4サイクル(cycles)行う。4サイクル行うことで、10kWでのマイクロ波の照射時間の合計は、60秒(15秒×4回)になるが、ウエハのピーク温度は680℃である。図9におけるアニール処理のマイクロ波照射時間は、図8のアニール処理と同じ時間(60秒)のマイクロ波の照射時間であるが、図9におけるウエハ200のピーク温度(680℃)は、図8に示されるウエハ200のピーク温度770℃よりも、90℃低く設定されている。上述の制御は、温度センサ263により測定された石英プレート101、またはウエハ200の温度を、制御部であるコントローラ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の電源をオン(ON:印加)とする時間とオフ(OFF:遮断)とする時間を送信された温度に従って制御することにより、行われる。

[0052] 冷却処理では、マイクロ波発振器655の出力を0kWとして、マイクロ波のウエハ200への照射を停止させ、ウエハ200の温度を冷却する。この制御は、プログラムを実行するコントローラ121により、マイクロ波発振器655の電源をオフさせることによって行われる。

[0053] すなわち、マイクロ波の照射時間、マイクロ波の照射の停止時間やこれらの繰り返し回数をコントローラ121により調整することで、マイクロ波の出力の調整なしに、ウエハ200の温度を所望の温度帯(一定の温度範囲内)に制御することが可能となる。これにより、アニール処理におけるウエハ200のピーク温度の低温化が実現できるので、ウエハ200からの熱伝導による対象膜(ターゲット膜)への熱履歴の影響を低減できる。また、マイクロ波によるターゲット膜の選択的かつ局所的な加熱の効果を発揮しやすくなる。例えば、リン(P)を含んだ非晶質Si膜(P-doped Si)膜をターゲット膜とした場合、アニール処理におけるウエハ200のピーク温度の低温化により、Pの拡散が抑えられ、かつ、マイクロ波によりP-doped Si膜への選択的かつ局所的な加熱を行うことが出来る。よって、P

—doped Si 膜の結晶化および活性化を十分行うことが出来る。

[0054] なお、以下、ウエハ200へのマイクロ波の照射と、ウエハ200へのマイクロ波の照射の停止とを繰り返し行うマイクロ波の照射方法を、インターバルマイクロ波（MW）照射と称する。

（実施例3）

次に、実施例3における炉内圧力・温度調整工程S402及び改質工程S404におけるマイクロ波の照射方法について、図10を用いて説明する。実施例3におけるマイクロ波の照射方法が、実施例1、2と異なる点は、改質工程のアニール処理において、複数設けられたマイクロ波導入ポートから供給されるマイクロ波を所定の順番で供給停止し、処理室に供給されるマイクロ波出力を一定とし、マイクロ波導入ポートからのマイクロ波供給を一通り停止した後に、全てのマイクロ波導入ポートからのマイクロ波供給を停止する点である。その他の点は、特に言及しない限りは、実施例1、2と同様である。

[0055] なお、以下の説明において、第1マイクロ波発振器655-1、第2マイクロ波発振器655-2、第3マイクロ波発振器655-3、第4マイクロ波発振器655-4、第5マイクロ波発振器655-5、第6マイクロ波発振器655-6のおおののマイクロ波の出力は、例えば、2kWとする。

[0056] 図10に示されるように、プログラムを実行するコントローラ121が電磁波供給部を制御する制御処理において、電磁波供給部の処理イベント（事象または状態）は、マイクロ波照射のイベントとマイクロ波照射停止のイベントとを有する。なお、この明細書において、イベントとは、コントローラ121のプログラムに記述される1つの制御単位の意味合い、または、基板処理方法における処理工程の1工程の意味合いを有する。

[0057] 本実施例において、マイクロ波停止のイベントは、6つのマイクロ波導入ポート（第1導入ポート653-1、第2導入ポート653-2、第3導入ポート653-3、第4導入ポート653-4、第5導入ポート653-5、第6導入ポート653-6）全てからのマイクロ波の照射を停止させる。

[0058] また本実施例において、マイクロ波照射のイベントは、6つのイベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）を含む。例えば、6つのイベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）をこれらの順番で実施する場合、第1イベントMW-1は、6つのマイクロ波導入ポートの内、第1導入ポート653-1からのマイクロ波の出力は0kWとされ、他の5つ導入ポートのおおのから出力2kWのマイクロ波をケース102内へ導入する。そのため、ケース102内へ照射されるトータルのマイクロ波の出力は10kWである。第1イベントMW-1から第2イベントMW-2へ移行する際、第1マイクロ波発振器655-1の電源がオフからオンに切り替えられ、代わりに、第2マイクロ波発振器655-2の電源がオンからオフに切り替えられる。他のマイクロ波発振器（655-3～655-6）の電源はオンを維持する。これによって第2イベントMW-2は、6つのマイクロ波導入ポートの内、第2導入ポート653-2からのマイクロ波の出力は0kWとされ、他の5つ導入ポートのおおのから出力2kWのマイクロ波をケース102内へ導入することとなる。そのため、この場合も、ケース102内へ照射されるトータルのマイクロ波の出力は10kWである。第2イベントMW-2から第3イベントMW-3へ移行する際も第1イベントMW-1から第2イベントMW-2へ移行する際と同様に、第2マイクロ波発振器655-2の電源がオフからオンに切り替えられ、代わりに、第3マイクロ波発振器655-3の電源がオンからオフに切り替えられる。他のマイクロ波発振器（655-1、655-4～655-6）の電源はオンを維持する。これによって第3イベントMW-3では、第3導入ポート653-3からのマイクロ波の出力は0kWとされ、他の5つ導入ポートのおおのから出力2kWのマイクロ波をケース102内へ導入することとなる。この場合も、ケース102内へ照射されるトータルのマイクロ波の出力は10kWである。第3イベントMW-3から第4イベントMW-4へ移行する際、第3マイクロ波発振器655-3の電源がオフからオンに切り替えられ、代わりに、第4マイクロ波発振器655-4

の電源がオンからオフに切り替えられる。他のマイクロ波発振器（６５５－１、６５５－２、６５５－５、６５５－６）の電源はオンを維持する。これによって第４イベントMW－４では、第４導入ポート６５３－４からのマイクロ波の出力は０ｋＷとされ、他の５つ導入ポートのおののから出力２ｋＷのマイクロ波をケース１０２内へ導入することとなる。この場合も、ケース１０２内へ照射されるトータルのマイクロ波の出力は１０ｋＷである。第４イベントMW－４から第５イベントMW－５へ移行する際、第４マイクロ波発振器６５５－４の電源がオフからオンに切り替えられ、代わりに、第５マイクロ波発振器６５５－５の電源がオンからオフに切り替えられる。他のマイクロ波発振器（６５５－１～６５５－３、６５５－６）の電源はオンを維持する。これによって第５イベントMW－５では、第５導入ポート６５３－５からのマイクロ波の出力は０ｋＷとされ、他の５つ導入ポートのおののから出力２ｋＷのマイクロ波をケース１０２内へ導入することとなる。この場合も、ケース１０２内へ照射されるトータルのマイクロ波の出力は１０ｋＷである。第５イベントMW－５から第６イベントMW－６へ移行する際、第５マイクロ波発振器６５５－５の電源がオフからオンに切り替えられ、代わりに、第６マイクロ波発振器６５５－６の電源がオンからオフに切り替えられる。他のマイクロ波発振器（６５５－１～６５５－４）の電源はオンを維持する。これによって第６イベントMW－６では、第６導入ポート６５３－６からのマイクロ波の出力は０ｋＷとされ、他の５つ導入ポートのおののから出力２ｋＷのマイクロ波をケース１０２内へ導入することとなる。この場合も、ケース１０２内へ照射されるトータルのマイクロ波の出力は１０ｋＷである。

[0059] このように、マイクロ波発振器６５５の電源のオン及びオフを、プログラムを実行するコントローラ１２１により制御し、電源がオフとされるマイクロ波発振器を各イベントにおいてシフトさせる。これにより、各イベントの切り替え時に、ケース１０２へ供給されるマイクロ波の出力が０ｋＷとなることを回避する。

[0060] なお、各イベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）のマイクロ波照射の時間(期間)は、基本的に、同じ時間（期間）とすることが、ケース102内ないしウエハ200面内の電磁界分布の不均一を分散ないし低減させる観点では好ましい。これに限らず、各イベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）のマイクロ波照射の時間(期間)は、異なる時間(期間)として設定されても良い。

[0061] すなわち、プログラムを実行するコントローラ121は、ウエハ200へ供給されるマイクロ波の入力電力が、マイクロ波照射時の各イベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）において、一定（10kW）となるように、複数のマイクロ波発振器（第1マイクロ波発振器655-1、第2マイクロ波発振器655-2、第3マイクロ波発振器655-3、第4マイクロ波発振器655-4、第5マイクロ波発振器655-5、第6マイクロ波発振器655-6）それぞれの電源のオン及びオフを制御する。このような制御により、特定のマイクロ波発振器へ負荷が集中することを抑制することが可能となり、また、マイクロ波発振器の制御の複雑さを回避することが可能となる。

[0062] また、プログラムを実行するコントローラ121は、複数のマイクロ波供給源（第1マイクロ波発振器655-1、第2マイクロ波発振器655-2、第3マイクロ波発振器655-3、第4マイクロ波発振器655-4、第5マイクロ波発振器655-5、第6マイクロ波発振器655-6）の電源がオフとなる期間（タイミング）が、マイクロ波（MW）照射時の各イベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）において、それぞれ異なるように、制御する。すなわち、電源がオフとされるマイクロ波発振器を、各イベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）においてシフトさせることで、各イベントの切り替え時に、ケース102へ供給されるマイクロ波の出力が0kWとなることを回避している。

[0063] なお、ウエハ200へ供給されるマイクロ波の出力（入力電力）は0.5

k W以上、30 k W以下となるよう制御するのが好ましい。好適には、ウエハ200へ供給されるマイクロ波の出力（入力電力）は1 k W以上、24 k W以下、さらに好適に、ウエハ200へ供給されるマイクロ波の出力（入力電力）は10 k W以上、24 k W以下となるよう制御するのが好ましい。0.5 k Wよりも低い入力電力となってしまうと、ウエハ200の温度を十分に上昇させることができず、ウエハ200の結晶欠陥を修復することができなくなってしまう虞がある。また、30 k Wよりも大きい入力電力となってしまうと、ケース102内でプラズマが発生してしまい、プラズマダメージを受けてウエハ200が割れてしまう可能性が高くなってしまう虞がある。また、ウエハ200の温度が高くなりすぎてしまい、ドーパント（例えば、P原子）の拡散を抑制することができなくなってしまう虞がある。

[0064] ケース102内の固有の電磁界分布は、周波数の違い、位相の違い、照射口の違いにより変化する。例えば、図10の第1イベントMW-1では、第2導入ポート653-2、第3導入ポート653-3、第4導入ポート653-4、第5導入ポート653-5、第6導入ポート653-6から各々2 k Wのマイクロ波を照射しているのに対し、図10の第2イベントMW-2では、第1導入ポート653-1、第3導入ポート653-3、第4導入ポート653-4、第5導入ポート653-5、第6導入ポート653-6からそれぞれ2 k Wのマイクロ波を照射している。このように、使用する導入ポートが異なることで、第1イベントMW-1と第2イベントMW-2のケース102内の電磁界分布は異なる。複数のマイクロ波発振器から同じ出力（10 k W）のマイクロ波を発生させても、各イベント（MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6）のように使用する導入ポートが異なれば、ケース102内の電磁界分布はすべて異なる。さらに、マイクロ波発振器は製品の仕様範囲内において周波数や位相が異なっている。そのため、ケース102内の電磁界分布は異なる。図10で説明されたマイクロ波の照射方法は、このような特性を利用して、複数の導入ポートから順番にマイクロ波を照射するよう複数のイベント（MW-1, MW-2, MW-

3, MW-4, MW-5, MW-6)を繰り返し行う。言い換えれば、複数のマイクロ波発振器(第1マイクロ波発振器655-1、第2マイクロ波発振器655-2、第3マイクロ波発振器655-3、第4マイクロ波発振器655-4、第5マイクロ波発振器655-5、第6マイクロ波発振器655-6)が所定の順番にオフさせて、マイクロ波を照射するよう複数のイベント(MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6)を繰り返し行う。これにより、ケース102内ないしウエハ200面内の電磁界分布の不均一を分散ないし低減させることができ、前述のホットスポットの発生を低減させることが出来る。ここで、マイクロ波照射イベントは、上述したようにMW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, MW-6の順番で行うように記載したが、これに限らず、ウエハ200の径やウエハ200表面に形成された膜種、すなわち、プロセスレシピに応じて適宜順番を変更してもよい。例えば、MW-1, MW-3, MW-5, MW-2, MW-4, MW-6のような順番としてマイクロ波照射イベントを実施してもよい。

[0065] 図10で説明されたマイクロ波の照射方法を、図9のアニール処理(インタバールマイクロ波照射)に適用することにより、ウエハ200面内におけるホットスポットの発生を低減させることが出来るので、ウエハ200面内の処理を均一化することが出来る。

[0066] また、図10で説明されたマイクロ波の照射方法をマイクロ波照射の初期の基板昇温時(温度調整工程)に適用することにより、ウエハ200面内におけるホットスポットの発生を低減させることが出来るので、半導体基板の歪みを低減させることが出来る。

[0067] なお、本明細書では、図10で説明されたマイクロ波の照射方法において、マイクロ波照射のイベントを、サイクルマイクロ波(MW)照射と称する。

(実施例4)

次に、実施例4における炉内圧力・温度調整工程S402及び改質工程S

404におけるマイクロ波の照射方法について、図11、図12を用いて説明する。実施例4におけるマイクロ波の照射方法が、実施例3と異なる点は、予備加熱処理においても、複数設けられたマイクロ波導入ポートから供給されるマイクロ波を所定の順番で供給停止し、処理室に供給されるマイクロ波出力を一定とする点である。その他の点は、特に言及しない限りは、実施例1、2、3と同様である。なお、以下で説明されるように、実施例4では、予備加熱処理において上述のサイクルマイクロ波（MW）照射が繰り返して実行され、また、改質工程のアニール処理において上述のサイクルマイクロ波（MW）照射の繰り返しとマイクロ波停止のイベントとの組み合わせが繰り返して実行される。

[0068] 図11および図12に示すように、予備加熱処理のマイクロ波照射のイベントは、図10と同様に、6つのイベント（MW-1，MW-2，MW-3，MW-4，MW-5，MW-6）を有しており、各イベントが、出力10kWで、1秒のマイクロ波（MW）照射の時間とされている。6つのイベント（MW-1，MW-2，MW-3，MW-4，MW-5，MW-6）を所定の順番で実施することを1サイクルとして順次実行し、少なくとも1サイクル以上、本実施例では、例えば合計6サイクルの繰り返しが実行される。したがって、予備加熱処理におけるマイクロ波照射の合計の時間は、1秒×6（イベント）×6（サイクル）＝36秒である。

[0069] 図11および図12に示すように、アニール処理はマイクロ波照射のイベントとマイクロ波照射の停止のイベントとを有する。アニール処理のマイクロ波照射のイベントは、図10のマイクロ波照射のイベントまたは図11の予備加熱処理のマイクロ波照射のイベントと同様に、6つのイベント（MW-1，MW-2，MW-3，MW-4，MW-5，MW-6）を有しており、各イベントが、出力10kWで、1秒のマイクロ波照射の時間とされている。6つのイベント（MW-1，MW-2，MW-3，MW-4，MW-5，MW-6）を所定の順番で実施することを1サイクルとして順次実行し、少なくとも1サイクル以上、本実施例では、例えば合計2.5サイクルの繰

り返しが実行される。したがって、マイクロ波（MW）照射の合計の時間は、 $1 \text{ 秒} \times 6 \text{（イベント）} \times 2.5 \text{（サイクル）} = 15 \text{ 秒}$ である。アニール処理のマイクロ波照射の停止のイベントは、図9と同様に、35秒である。この制御は、コントローラ121により行われる。プログラムを実行するコントローラ121は、アニール処理のマイクロ波照射のイベントにおいて、複数のマイクロ波発振器（第1マイクロ波発振器655-1、第2マイクロ波発振器655-2、第3マイクロ波発振器655-3、第4マイクロ波発振器655-4、第5マイクロ波発振器655-5、第6マイクロ波発振器655-6）が所定の順番にオフとなることを確認した後に、アニール処理のマイクロ波照射の停止のイベント、すなわち、全マイクロ波供給源をオフするように複数の複数のマイクロ波発振器を制御する。

[0070] アニール処理では、2.5サイクル（15秒）のマイクロ波照射のイベントと35秒のマイクロ波照射停止のイベントとの組み合わせを実行することを1サイクルとして、少なくとも1サイクル以上、本実施例では、例えば合計4サイクルの繰り返しが行われる。したがって、アニール処理でのマイクロ波照射の合計時間は、 $15 \text{ 秒} \times 4 \text{（サイクル）} = 60 \text{ 秒}$ である。アニール処理の処理時間は、 $(15 \text{ 秒} + 35 \text{ 秒}) \times 4 \text{（サイクル）} = 200 \text{ 秒}$ である。この制御も、プログラムを実行するコントローラ121により行われる。

[0071] 冷却処理は、マイクロ波発振器655の出力を0kWとして、マイクロ波のウェハ200への照射を停止させ、ウェハ200の温度を冷却する。

[0072] これにより、マイクロ波の照射の時間、マイクロ波の照射の停止時間やこれらの繰り返し回数を調整することで、マイクロ波発振器の出力を調整することなく、ウェハ200の温度を所望の温度帯へ制御が可能となる。温度調整工程に適用することにより、ウェハ200面内におけるホットスポットの発生を低減させることが出来るので、半導体基板の歪みを低減させることが出来る。また、アニール処理に適用することにより、ウェハ200面内におけるホットスポットの発生を低減させることが出来るので、ウェハ200面内の処理を均一化することが出来る。

[0073] このように、予備加熱処理（昇温工程）において、マイクロ波の出力を 10 kW としてマイクロ波の照射が行われる。しかし、各イベントにおいて、1 秒のサイクルマイクロ波（MW）照射を行っている為、ウエハ 200 面内の温度差が小さくなる。また、そのため、ウエハ 200 の歪みも小さく出来る。

[0074] また、予備加熱処理の処理時間が、マイクロ波の出力を 10 kW とすることにより、図 9 と比較して、180 秒から 36 秒へ、短時間化されている為、温度調整工程及び改質工程の全体の処理時間も、短時間化される。

[0075] 予備加熱処理における処理時間を短時間化する場合、この実施例 4 の様に、予備加熱処理における電磁波供給部の出力と改質工程における電磁波供給部の出力とを同じとしても良い。

（実験結果の一例）

上述した実施例を用いて実際に実験を行った結果について以下に説明する。

[0076] 図 13 に示される処理サンプル 1 は、シリコン（Si）基板（Si-Sub）と、Si 基板上に形成された熱酸化膜 SiO_2 と、この熱酸化膜 SiO_2 上に形成された P-doped Si 膜を有する。熱酸化膜 SiO_2 の膜厚は、約 1000 Å 程度である。この熱酸化膜 SiO_2 は、例えば、抵抗加熱ヒータを備えた縦型基板処理装置において、900℃酸素雰囲気中で Si 基板の表面に酸素 O を拡散させ形成した Si 酸化膜である。P-doped Si 膜は、その膜厚が約 3000 Å であり、P 濃度は、 $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ である。この P-doped Si 膜は、例えば、抵抗加熱ヒータを備えた縦型基板処理装置において、反応室温度 500～650℃で減圧下の反応室内に SiH_4 （モノシラン：Monosilane）と PH_3 （フォスフィン：Phosphine）を導入し、予め反応室内に搬送固定しておいた基板上に堆積・成膜し形成される。

[0077] 図 14 に示される処理サンプル 2 は、Si 基板と、Si 基板上に形成された熱酸化膜 SiO_2 と、この熱酸化膜 SiO_2 上に形成された第 1 の P-d

p e d Si膜と、この第1のP-doped Si膜上に形成されたリンを含まない非晶質Si膜 (Non-doped Si)、このNon-doped Si膜上に形成されたPを含んだ第2のP-doped Si膜と、を有する。熱酸化膜SiO₂の膜厚は、約1000 Å程度であり、例えば、抵抗加熱ヒータを備えた縦型基板処理装置において、900℃酸素雰囲気中でSi基板の表面に酸素Oを拡散させ形成したSi酸化膜である。第1および第2のP-doped Si膜のP濃度は、 $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ である。第1および第2のP-doped Si膜は、例えば、抵抗加熱ヒータを備えた縦型基板処理装置において、反応室温度500～650℃で減圧下の反応室内にSiH₄とPH₃を導入し、予め反応室内に搬送固定しておいた基板上に堆積・成膜し形成される。Non-doped Si (非晶質Si膜)は、例えば、抵抗加熱ヒータを備えた縦型基板処理装置において、反応室温度500～650℃で減圧下の反応室内にSiH₄を導入し、予め反応室内に搬送固定しておいた基板上に堆積・成膜し形成している。そして、第2のP-doped Si膜/Non-doped Si膜/第1のP-doped Si膜の膜厚は、約3000 Å程度である。

[0078] 図15および図16は、処理サンプル1を、以下に示すマイクロ波アニール (MWA) 処理、実施例2で説明したインターバルマイクロ波照射によるアニール処理、及びFurnace Anneal (FA) のそれぞれの処理を行った時のシート抵抗 (Rs)、Hall移動度をそれぞれ示している。

[0079] MWA処理は、4 kW, 6 kW, 10 kWの各マイクロ波出力で、150秒間のアニール処理を処理サンプル1に対して行ったものである。

[0080] インターバルマイクロ波照射によるアニール処理は、図9で説明したアニール処理 (マイクロ波出力: 10 kW、マイクロ波照射時間: 15秒×4=60秒) を、処理サンプル1に対して行ったものである。

[0081] FAとは、抵抗加熱ヒータ等を備えた縦型基板処理装置において、被処理体である処理サンプル1を大気圧、N₂雰囲気下、所望の温度で所定時間行うアニール処理である。

- [0082] 四探針法により測定した R_s は、一様の厚さを持つ薄い膜やフィルム状物質の電気抵抗を表す量の一つで、物質や材料の電気の通し難さを表す。
- [0083] 図15及び図16に示す通り、処理サンプル1を、マイクロ波出力4kW、6kW、10kWで、150秒間、MWA処理した場合、*P-doped Si*膜の R_s はマイクロ波の出力を上げるに従い低くなり、10kWでは $30\Omega/\square$ 程度まで改善される。また、この時のHall移動度も、マイクロ波の出力を上げるに従い改善され、マイクロ波出力（10kW）では $21\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度になる。このときの処理サンプル1のピーク温度は 820°C である。
- [0084] 処理サンプル1を、 750°C で30分間のFA処理したときも、MWA処理によるマイクロ波の出力10kWの場合と同程度の R_s 、Hall移動度を得られる。このことから、MWA処理やFA等のアニールを施すことで*P-doped Si*膜が結晶化および活性化されたことがわかる。
- [0085] 処理サンプル1を実施例2のインターバルマイクロ波照射によりアニール処理した場合、 R_s は $32\Omega/\square$ 程度、Hall移動度は $22\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度である。この事より、実施例2のインターバルマイクロ波照射においても、*P-doped Si*膜の結晶化および活性化により十分改善されている。これは、実施例2のインターバルマイクロ波照射により、マイクロ波の照射時間やマイクロ波の出力を変更することなく、処理サンプル1の基板の温度を、所望の温度帯に制御し、低温化を実現したことによる。これにより、基板からの熱伝導がなくなり、*P-doped Si*膜へのマイクロ波の効果を維持できたためであると考えられる。
- [0086] 図17は、処理サンプル2を、以下の条件で行ったMWA、FA及び実施例2のインターバルマイクロ波照射によるアニール処理を施したときのSIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry、二次イオン質量分析法) によるPの断面濃度分布を示す。
- [0087] 図17におけるMWAは、10kWのマイクロ波出力で、150秒(150s)間のアニール処理と、10kWのマイクロ波出力で、60秒(60s)間

のアニール処理（実施例1のアニール処理に対応する）とを、処理サンプル2に対して行ったものである。

[0088] 同様に、図17におけるインターバルマイクロ波照射によるアニール処理は、実施例2で説明したアニール処理（マイクロ波出力：10kW、マイクロ波照射時間：15秒×4＝60秒）を、処理サンプル2に対して行ったものである。さらに同様に、図17におけるFAは、750℃で30分間のアニール処理したものである。

[0089] 図17に示すように、10kWのマイクロ波出力で、処理時間を150秒として行ったMWAでは、Pが第1および第2のP-doped Si膜からリンを含まない非晶質Si膜（Non-doped Si）まで拡散しており、Non-doped Si膜においても $1.5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 程度のP濃度となる。これは、FAによるP濃度と大差なく、Pが膜全体に拡散してしまっていることがわかる。これは、処理時間を150秒として行ったMWAやFAでは、抵抗加熱ヒータによる輻射で基板表面や膜表面を加熱し、さらに基板内部や膜中には表面からの伝熱により加熱し、所定の温度によるアニールを行っている。つまり、基板温度と膜の温度がほぼ一致している状態もしくは外側の方が高い状態で加熱を行うため、Pが拡散しやすいと考えられる。

[0090] 一方、10kWのマイクロ波出力で、60秒のMWA（実施例1のアニール処理に対応する）及び実施例2のインターバルマイクロ波照射によるアニール処理では、Pの拡散が抑えることができています。また、実施例2のインターバルマイクロ波照射によるアニール処理では、実施例1のアニール処理に対応する10kWのマイクロ波出力で、60秒のMWAよりも、さらに、Pの拡散が抑えることができています。この理由として、実施例2のインターバルマイクロ波照射を行うことにより、上述したマイクロ波を照射し続けるMWAを60秒行った場合よりも、処理サンプル2の基板の温度の上昇が抑えられるため、マイクロ波の作用による第1および第2のP-doped Si膜への選択的かつ局所的な加熱が行われ、Pの拡散を抑えることができ

る。

(4) 本実施形態による効果

本実施形態によれば以下に示す1つまたは複数の効果が得られる。

- [0091] 1) コントローラ121の制御により、測定されたウエハ200の温度に基づいて、マイクロ波発振器655の電源をオンとする時間とオフ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。これにより、アニール処理におけるウエハ200のピーク温度が低温化できる。また、ウエハ200にホットスポットが生じることを抑制でき、ウエハ（サセプタが載置されている場合はサセプタもウエハ200と同様に）が変形することを抑制できる。
- [0092] 2) 上記1)において、アニール処理におけるウエハ200のピーク温度が低温化できるので、ウエハ200からの熱伝導による対象膜（ターゲット膜）への熱履歴の影響を低減できる。また、マイクロ波によるターゲット膜の選択的かつ局所的な加熱の効果を発揮しやすくなる。
- [0093] 3) 上記1)において、ウエハ200にホットスポットが生じることを抑制できるので、ウエハ200面内の処理を均一化することが出来る。
- [0094] 4) 上記1)において、ウエハ200（サセプタが載置されている場合はサセプタもウエハ200と同様に）が変形することを抑制できるので、温度調整工程である予備加熱処理において、マイクロ波の出力を比較的高くすることが可能となり、マイクロ波の照射の時間を短縮化できる。
- [0095] 5) 上記1)において、マイクロ波発振器655の電源をオンとオフを、コントローラ121により制御する。マイクロ波発振器の出力を制御するなどの複雑な制御を行わないので、コントローラ121の制御の複雑さを回避で可能である。
- [0096] 6) 複数のマイクロ波発振器を設け、マイクロ波照射を複数のイベントとして、コントローラ121に制御させる。コントローラ121は、ウエハ200へ供給されるマイクロ波の入力電力が、マイクロ波照射時の各イベントにおいて、一定となるように、複数のマイクロ波発振器の電源のオン及びオ

フを制御する。このような制御により、特定のマイクロ波発振器へ負荷が集中することを抑制することが可能となり、また、マイクロ波発振器の制御の複雑さを回避することが可能となる。

[0097] 7) 上記6において、コントローラ121は、複数のマイクロ波供給源の電源がオフとなる期間が、マイクロ波照射時の各イベントにおいて、それぞれ異なるように、制御する。電源がオフとされるマイクロ波発振器を、各イベントにおいてシフトさせることで、各イベントの切り替え時に、ケース102へ供給されるマイクロ波の出力が0kWとなることを回避することが出来る。

[0098] 8) 上記6において、マイクロ波の照射の時間、マイクロ波の照射の停止時間やこれらの繰り返し回数を調整することで、マイクロ波発振器の出力を調整することなく、ウエハ200の温度を所望の温度帯へ制御が可能となる。温度調整工程に適用することにより、ウエハ200面内におけるホットスポットの発生を低減させることが出来るので、半導体基板の歪みを低減させることが出来る。また、アニール処理に適用することにより、ウエハ200面内におけるホットスポットの発生を低減させることが出来るので、ウエハ200面内の処理を均一化することが出来る。

[0099] <本発明の他の実施形態>

図18に示すように本実施形態では、垂直方向多段に基板を複数枚保持可能な、いわゆる、縦型バッチ式の基板処理装置として構成している。基板保持具としてのポート217には、処理対象である垂直方向多段に保持された複数のウエハ200と、この複数のウエハ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ている。垂直方向多段に保持されたウエハ200間に断熱板としての石英プレート101cが設けられている。他の構成は、図1と同じであり、その説明は省略される。

[0100] なお、このとき、断熱板としての石英プレート101cを載置するのではなく、図示しない電磁波によって誘電加熱される発熱体としてのサセプタを

載置したり、断熱板と発熱体の両方を載置するようにしてもよい。

(変形例 1)

図 19 も、図 18 と同様に、垂直方向多段に基板を複数枚保持可能な、いわゆる、縦型バッチ式の基板処理装置として構成している。ポート 217 には、処理対象である垂直方向多段に保持された複数のウエハ 200 と、この複数のウエハ 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断熱板としての石英プレート 101 a、101 b が所定の間隔で保持されている。図 19 では、この複数のウエハ 200 間に、石英プレート 101 c が設けられていない構成例である。他の構成は、図 1 と同じであり、その説明は省略される。ポート 217 に保持するウエハ 200 を 3 枚として記載しているが、これに限らず、例えば 25 枚や 50 枚など多数枚のウエハ 200 を処理するようにしてもよい。

(変形例 2)

図 20 に示すように、ポート 217 には、断熱板としての石英プレート 101 a、101 b の間及び断熱板としての石英プレート 101 c、101 d の間に、処理対象であるウエハ 200 が各々保持されている。ウエハ 200 と石英プレート 101 a、101 b の間には、電磁波によって誘電加熱される発熱体としてのサセプタ 1011 a 及び 1011 b が各々保持されている。また、ウエハ 200 と石英プレート 101 c、101 d の間には、電磁波によって誘電加熱される発熱体としてのサセプタ 1011 c 及び 1011 d が各々保持されている。

[0101] 図 18、図 19 及び図 20 のように、複数のウエハ 200 を保持する基板保持具を構成することによって、複数枚の基板処理が可能となり、基板処理効率を向上させることが可能となる。

[0102] 以上、本発明を実施形態に沿って説明してきたが、上述の各実施形態や各変形例等は、適宜組み合わせ用いることができ、その効果も得ることができる。

[0103] 例えば、上述の各実施形態では、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。

[0104] 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。

[0105] 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。

[0106] 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。

[0107] 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。

産業上の利用可能性

[0108] 以上述べたように、本発明によれば、基板の変形または破損を抑制し、均一な基板処理を行うことが可能となる電磁波熱処理技術を提供することができる。

符号の説明

[0109] 101a、101b・・・石英プレート（石英板）、
102・・・ケース（キャビティ）、
103・・・反応管、
121・・・コントローラ（制御部）、
200・・・ウエハ（基板）、
201・・・処理室、
217・・・ボート（基板保持具）、
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、
 前記処理室内の基板を加熱するためのマイクロ波を供給する複数の
 マイクロ波供給源を有する加熱装置と、
 前記複数のマイクロ波供給源のそれぞれから前記基板に対して供給
 されるマイクロ波の入力電力を一定としつつ、前記複数のマイクロ波
 供給源がオフとなる期間がそれぞれ異なるように前記複数のマイクロ
 波供給源を制御するよう構成される制御部と、
 を有する基板処理装置。
- [請求項2] 前記制御部は、前記複数のマイクロ波供給源が所定の順番にオフと
 なることを確認した後に、全マイクロ波供給源をオフとするように前
 記複数のマイクロ波供給源を制御するよう構成される請求項1に記載
 の基板処理装置。
- [請求項3] 前記制御部は、前記基板へ供給される入力電力は2 kW以上、24
 kW以下となるように前記加熱装置を制御するよう構成される請求項
 1または2に記載の基板処理装置。
- [請求項4] 基板を処理する処理室と、前記処理室内の基板を加熱するためのマ
 イクロ波を供給する複数のマイクロ波供給源を有する加熱装置と、前
 記複数のマイクロ波供給源のそれぞれから前記基板に対して供給され
 るマイクロ波の入力電力を一定としつつ、前記複数のマイクロ波供給
 源がオフとなる期間がそれぞれ異なるように前記複数のマイクロ波供
 給源を制御するよう構成される制御部と、を有する基板処理装置の前
 記処理室内に前記基板を保持した基板保持具を搬入する工程と、
 前記基板を加熱して所定の改質処理を行う工程と、
 前記処理室から前記基板保持具を搬出する工程と、
 を有する半導体装置の製造方法。
- [請求項5] 基板を処理する処理室と、前記処理室内の基板を加熱するためのマ
 イクロ波を供給する複数のマイクロ波供給源を有する加熱装置と、前

記複数のマイクロ波供給源のそれぞれから前記基板に対して供給されるマイクロ波の入力電力を一定としつつ、前記複数のマイクロ波供給源がオフとなる期間がそれぞれ異なるように前記複数のマイクロ波供給源を制御するよう構成される制御部と、を有する基板処理装置の前記処理室内に前記基板を保持した基板保持具を搬入する手順と、

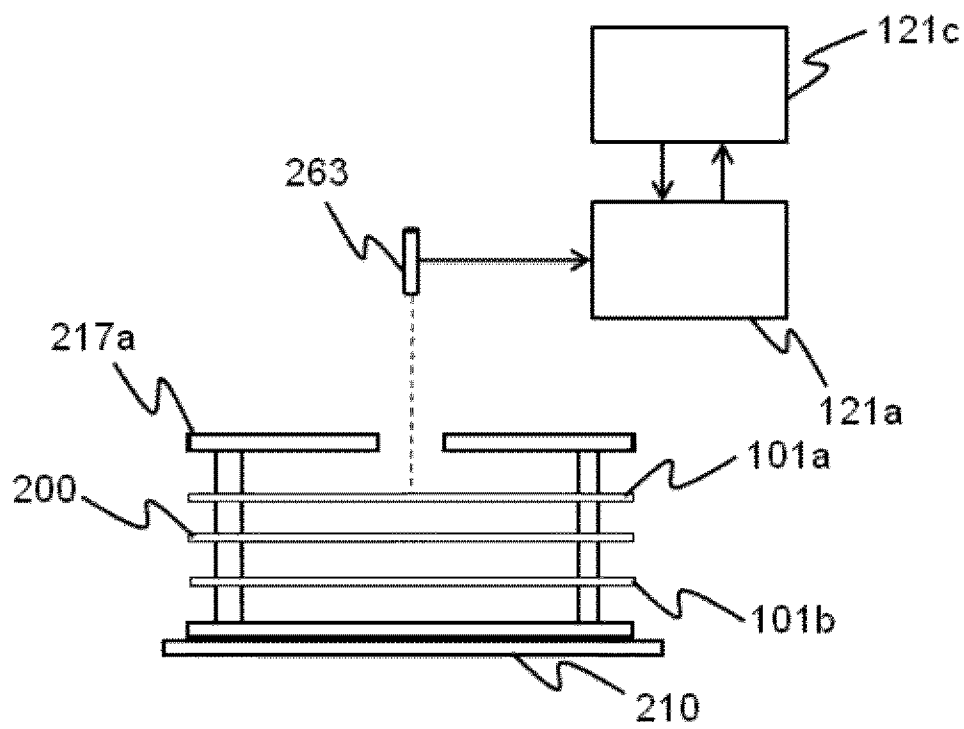
前記基板を加熱して所定の改質処理を行う手順と、

前記処理室から前記基板保持具を搬出する手順と、

をコンピュータによって前記基板処理装置に実行させるためのプログラム。

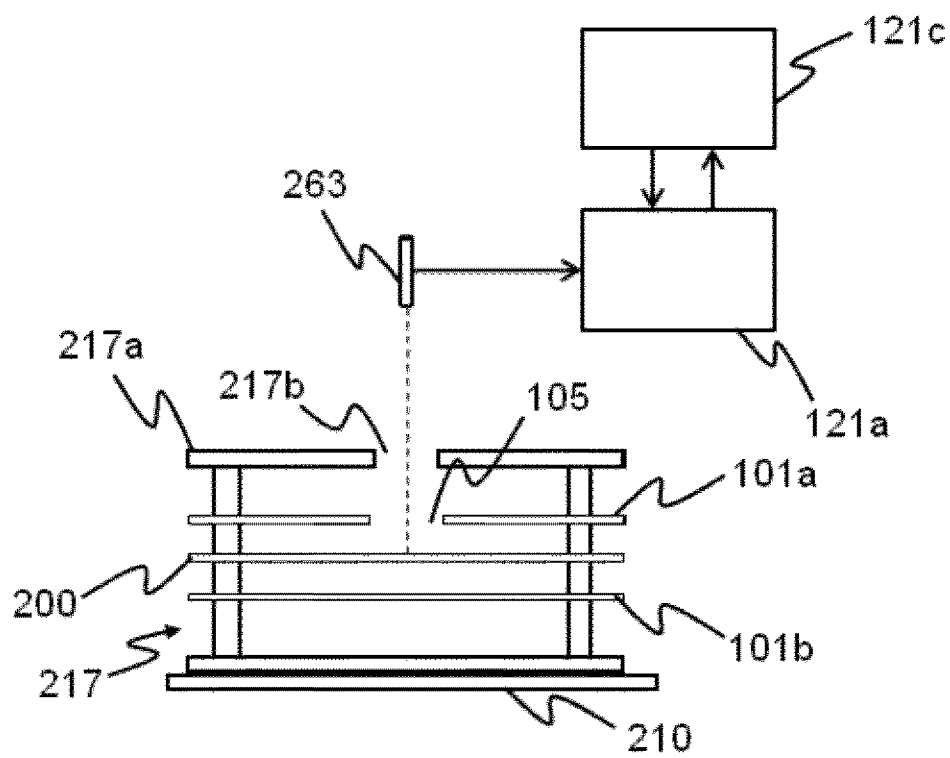
[図2A]

図2A



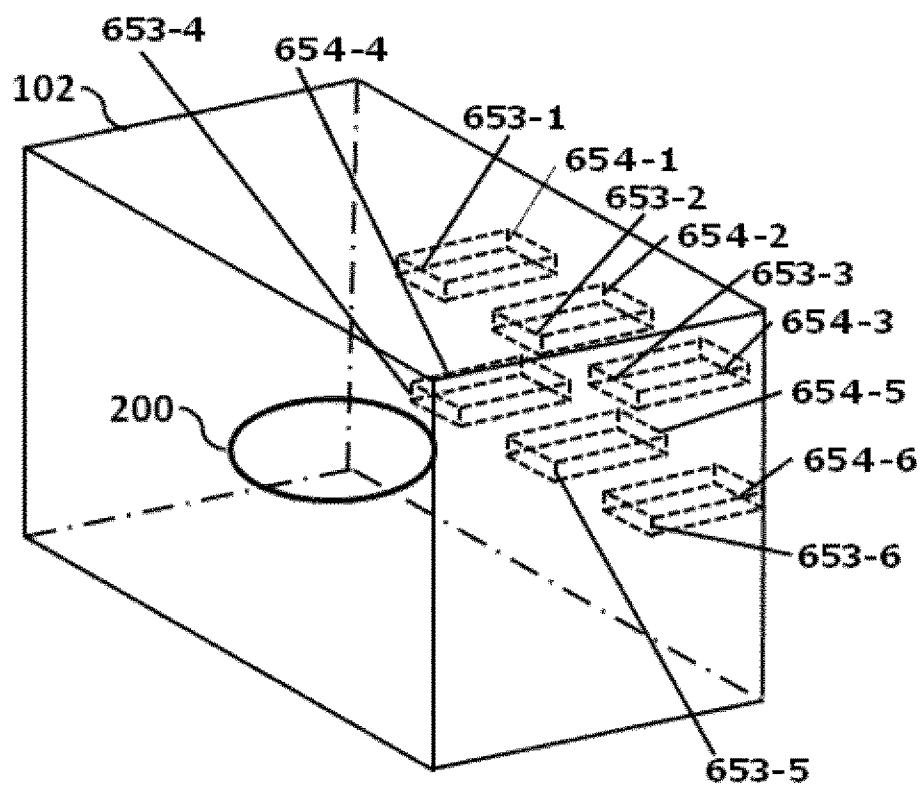
[図2B]

図2B



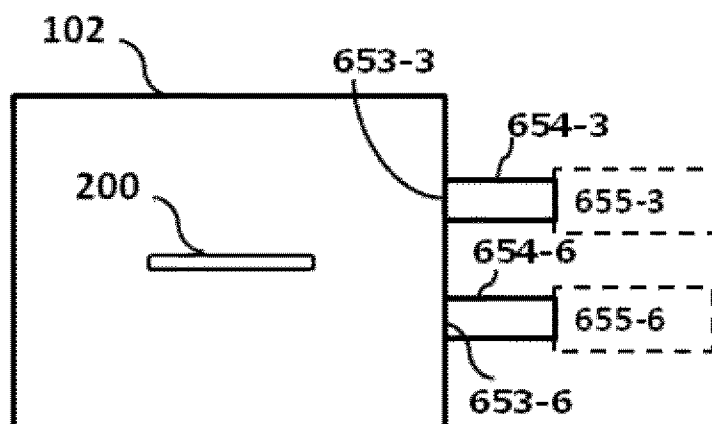
[図3]

図3



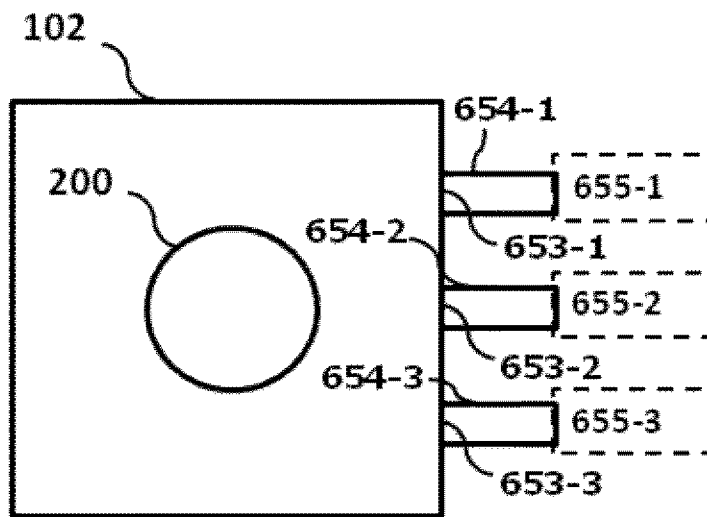
[図4]

図4



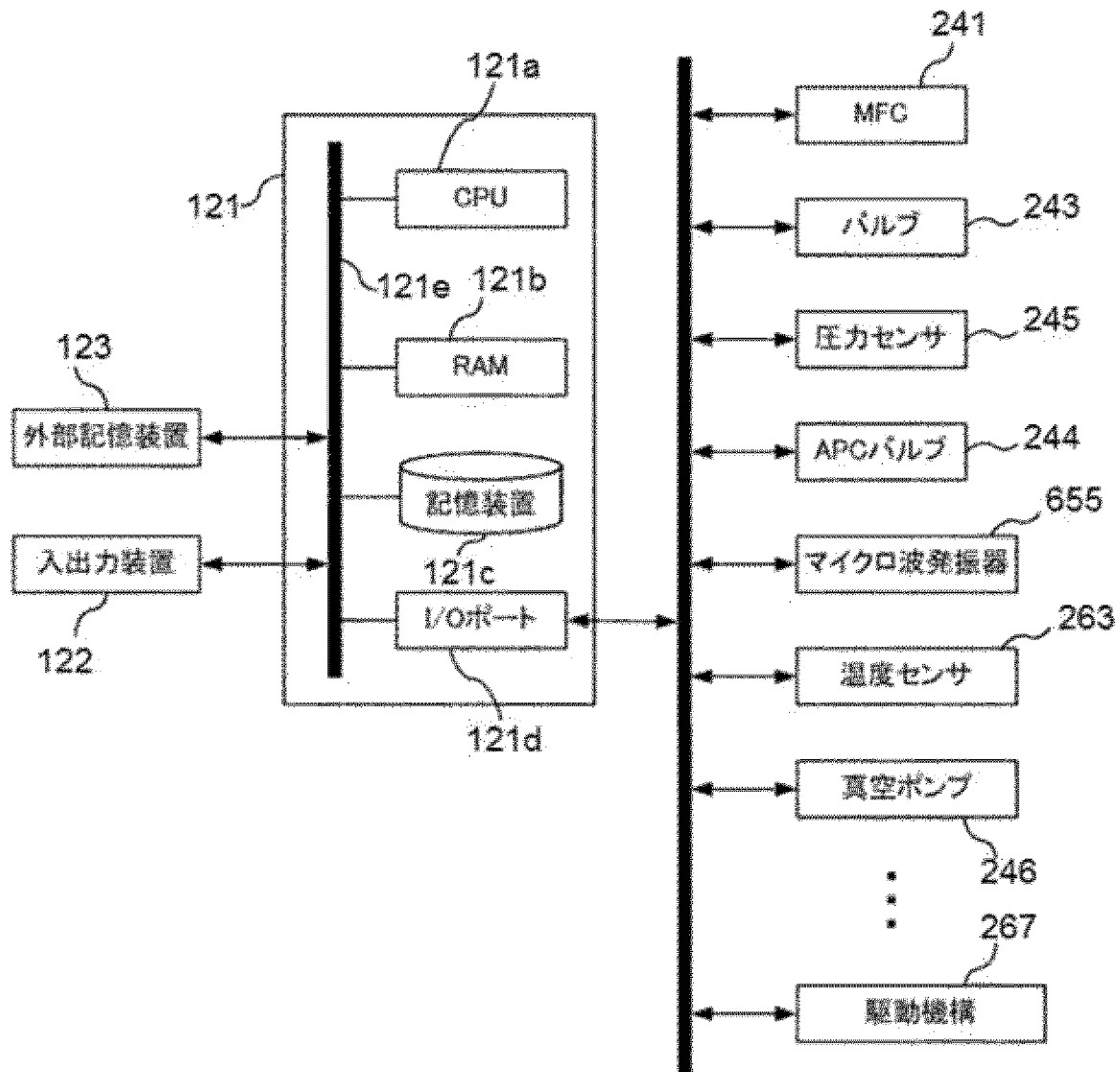
[図5]

図5



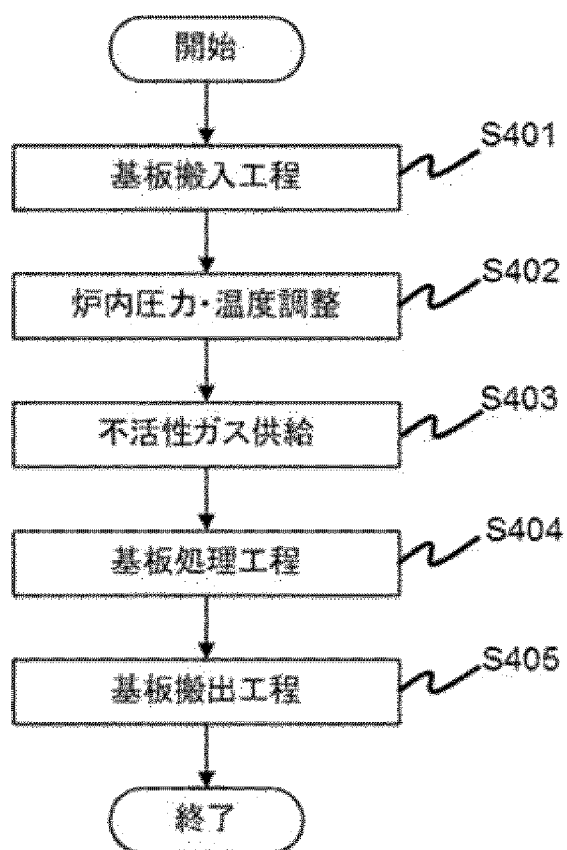
[図6]

図6



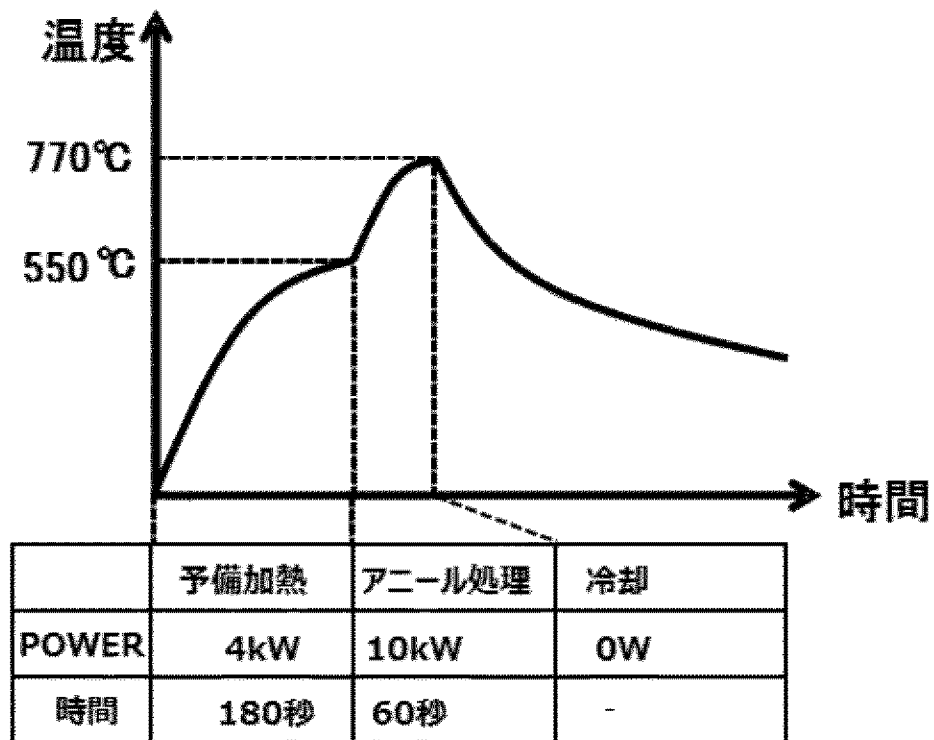
[図7]

図7



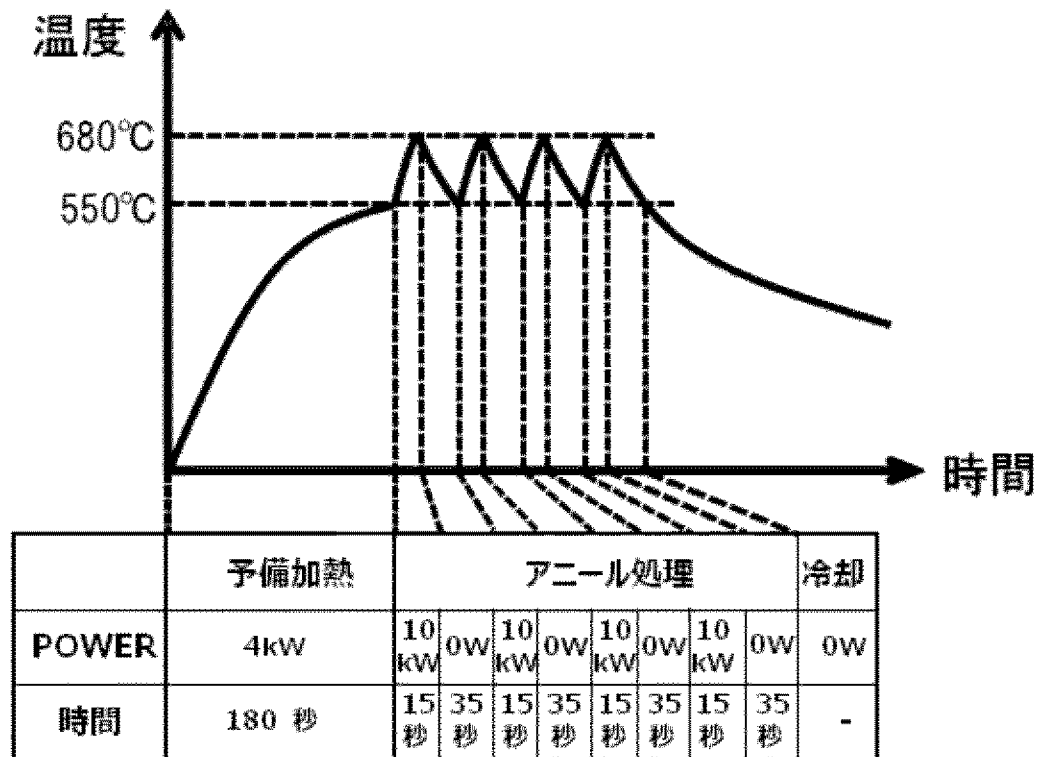
[図8]

図8



[図9]

図9



[図10]

図10

処理イベント	POWER	マイクロ波導入ポート					
		653-1	653-2	653-3	653-4	653-5	653-6
MW 照射	MW-1	0kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW
	MW-2	2kW	0kW	2kW	2kW	2kW	2kW
	MW-3	2kW	2kW	0kW	2kW	2kW	2kW
	MW-4	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW	2kW
	MW-5	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW
	MW-6	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW
MW停止		0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	0kW

[図11]

図11

処理イベント		POWER	マイクロ波導入ポート						処理時間			
			653-1	653-2	653-3	653-4	653-5	653-6				
予備加熱 (昇温)	MW 照射	MW-1	10kW	0kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	1秒	 繰り返す 6 cycles 36秒	
		MW-2	10kW	2kW	0kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW		1秒
		MW-3	10kW	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW	2kW	2kW		1秒
		MW-4	10kW	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW	2kW		1秒
		MW-5	10kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW		1秒
		MW-6	10kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW		1秒
アニール 処理	MW 照射	MW-1	10kW	0kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	1秒	 繰り返す 2.5 cycles 15秒
		MW-2	10kW	2kW	0kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	1秒	
		MW-3	10kW	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW	2kW	2kW	1秒	
		MW-4	10kW	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW	2kW	1秒	
		MW-5	10kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW	2kW	1秒	
		MW-6	10kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	2kW	0kW	1秒	
MW停止		0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	35秒	 繰り返す 4 cycles 処理時間：200秒 (50秒X4cycles) MW照射：60秒 (15秒X4cycles)	
冷却		0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	0kW	—		

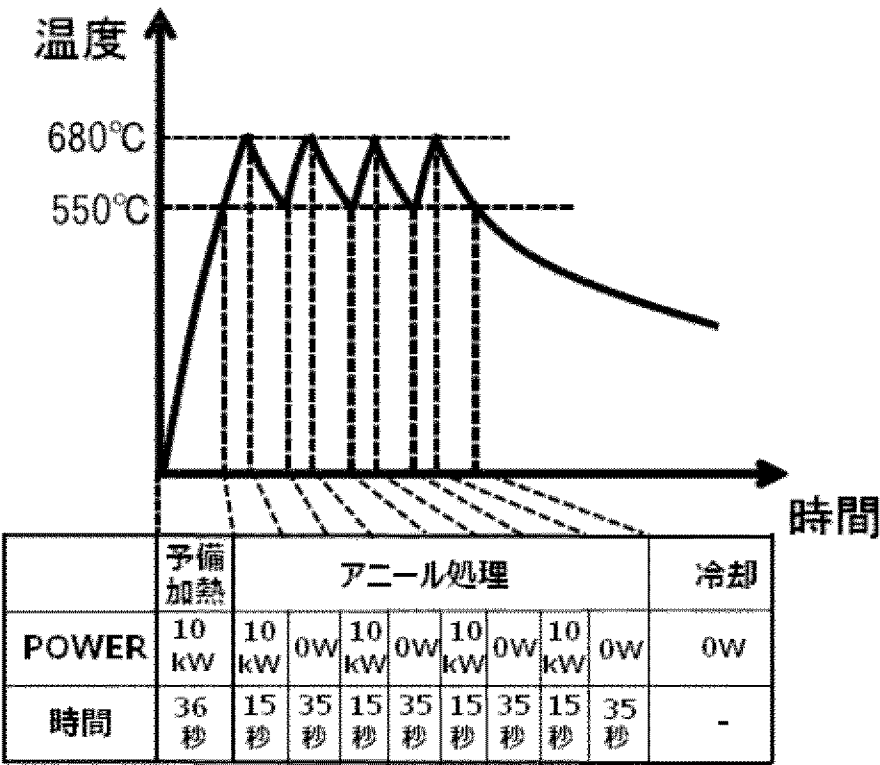
繰り返す
6 cycles
36秒

繰り返す
2.5 cycles
15秒

繰り返す
4 cycles
処理時間: 200秒
(50秒X4cycles)
MW照射: 60秒
(15秒X4cycles)

[図12]

図12



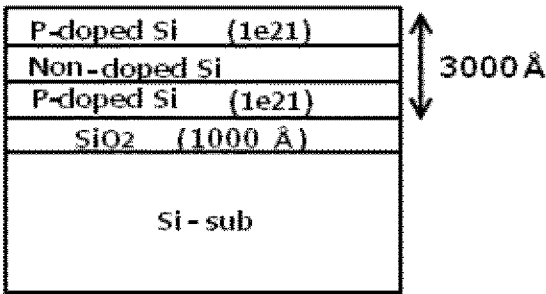
[図13]

図13

P - doped Si (3000Å 1e21atoms/cm3)
SiO2 (1000Å)
Si - sub

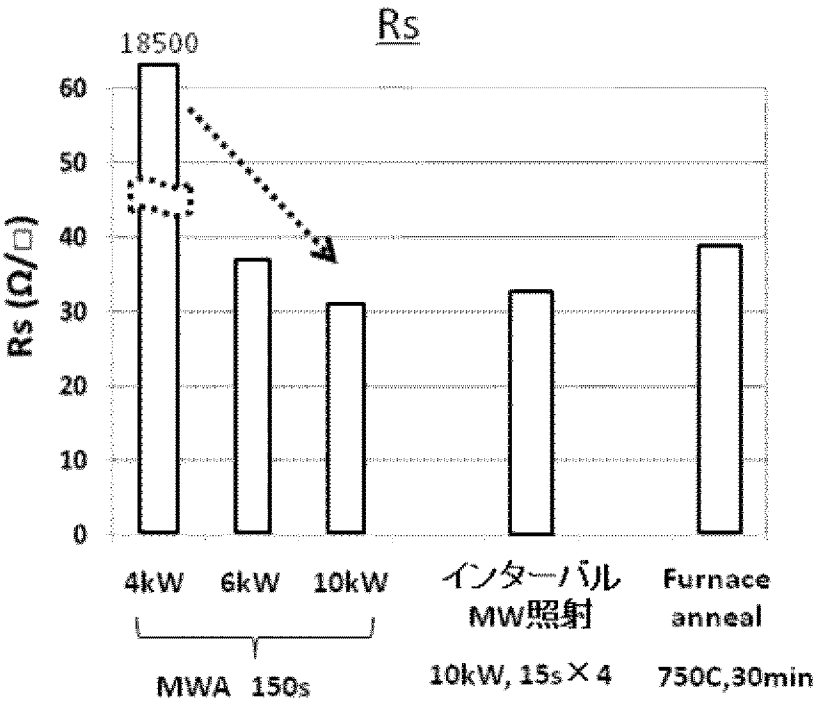
[図14]

図14



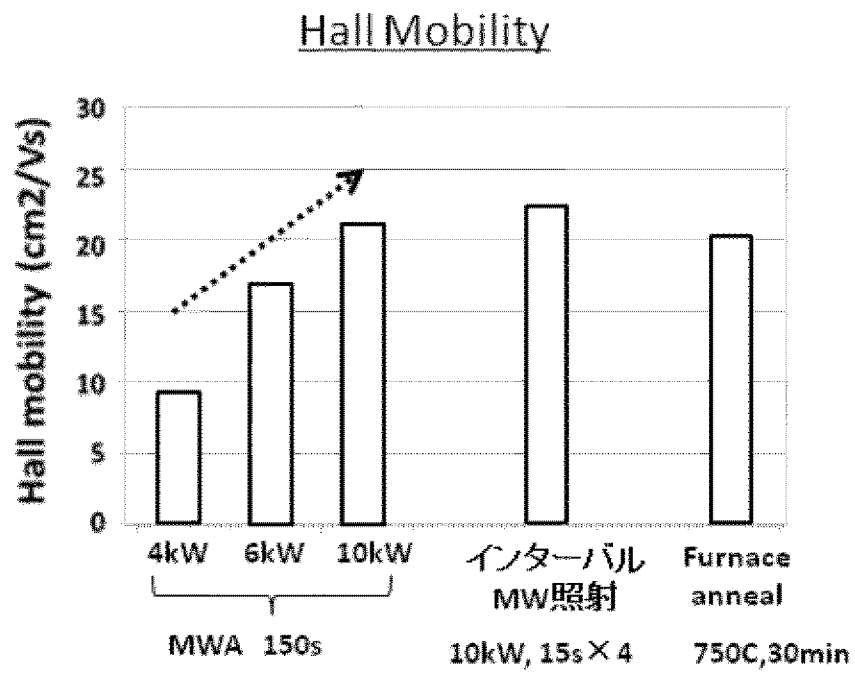
[図15]

図15



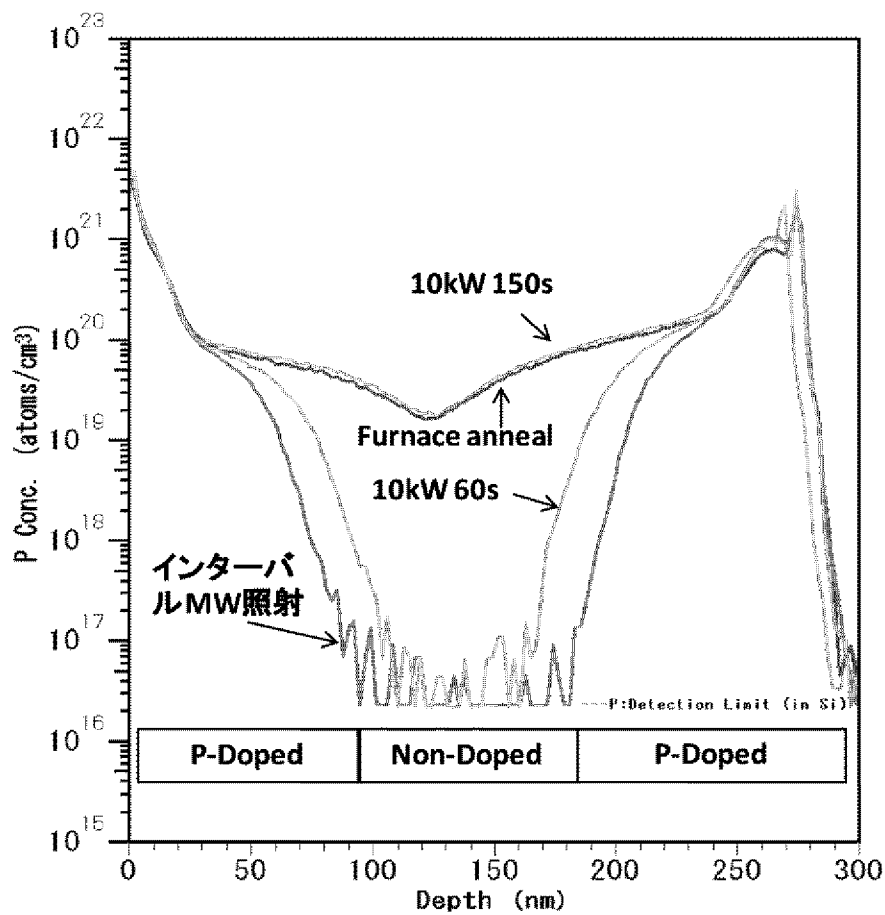
[図16]

図16

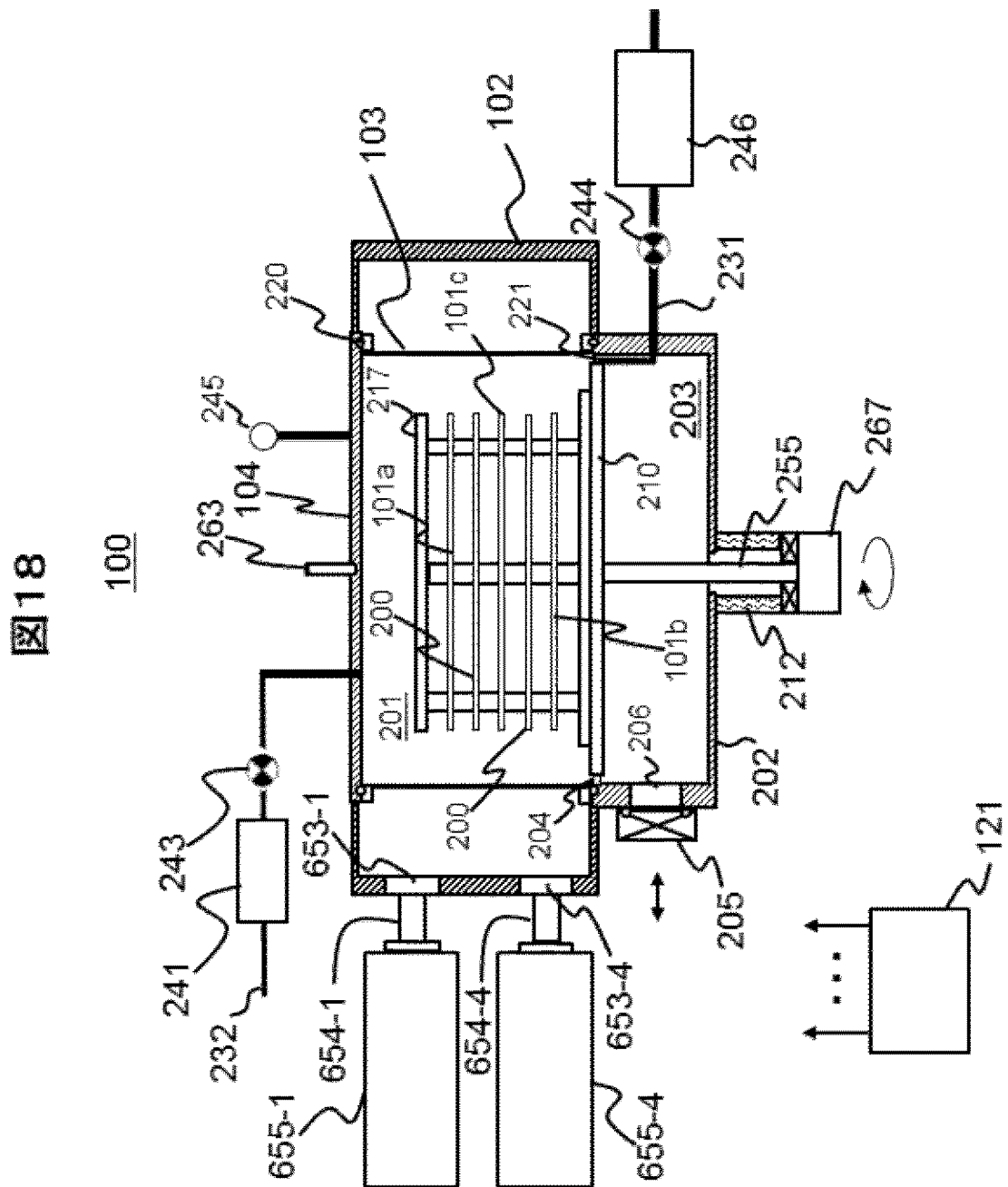


[図17]

図17

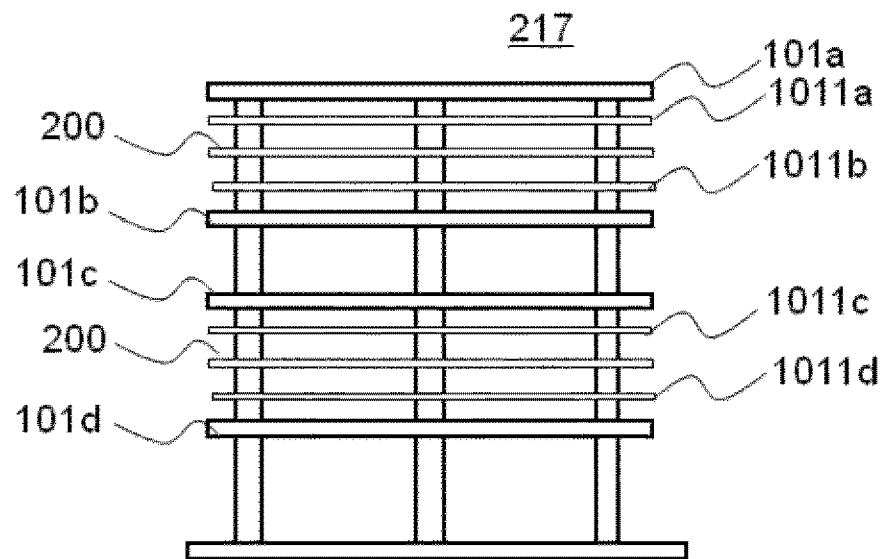


[図18]



[図20]

図20



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/009610

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/268(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/268

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2013-058652 A (Tokyo Electron Ltd.), 28 March 2013 (28.03.2013), claims; paragraphs [0036] to [0087]; fig. 1 to 7 & US 2013/0062341 A1 claims; paragraphs [0048] to [0103]; fig. 1 to 7 & EP 2568777 A1 & CN 103000554 A & KR 10-2013-0028689 A & TW 201314821 A	1-2, 4-5 1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 April 2017 (27.04.17)

Date of mailing of the international search report
16 May 2017 (16.05.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/009610

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CD-ROM of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 023594/1991 (Laid-open No. 090885/1993) (Shikoku Instrumentation Co., Ltd.), 10 December 1993 (10.12.1993), claims; paragraphs [0002] to [0004], [0009] to [0024]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-5
Y	JP 04-056090 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 24 February 1992 (24.02.1992), claims; page 2, upper left column, line 7 to page 3, lower left column, line 16; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-5
A	JP 2012-084510 A (Tokyo Electron Ltd.), 26 April 2012 (26.04.2012), & US 2012/0061384 A1 & CN 102404891 A & KR 10-2012-0028275 A & TW 201233250 A	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/268(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/268

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2013-058652 A (東京エレクトロン株式会社) 2013.03.28, 特許請求の範囲, 段落【0036】-【0087】, 第1-7図 & US 2013/0062341 A1, 請求の範囲, 段落【0048】-【0103】, 第1-7図, & EP 2568777 A1 & CN 103000554 A & KR 10-2013-0028689 A & TW 201314821 A	1-2, 4-5 1-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27.04.2017

国際調査報告の発送日

16.05.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

桑原 清

50

9375

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	日本国実用新案登録出願03-023594号(日本国実用新案登録出願公開05-090885号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を記録したCD-ROM(四国計測工業株式会社)1993.12.10, 実用新案登録請求の範囲, 段落【0002】-【0004】, 【0009】-【0024】, 第1-3図(ファミリーなし)	1-5
Y	JP 04-056090 A (松下電器産業株式会社) 1992.02.24, 特許請求の範囲, 第2頁左上欄第7行-第3頁左下欄第16行, 第1-7図(ファミリーなし)	1-5
A	JP 2012-084510 A (東京エレクトロン株式会社) 2012.04.26, & US 2012/0061384 A1 & CN 102404891 A & KR 10-2012-0028275 A & TW 201233250 A	1-5