

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5718975号
(P5718975)

(45) 発行日 平成27年5月13日(2015.5.13)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/26 (2006.01)

H O 1 L 21/26 T

H O 1 L 21/265 (2006.01)

H O 1 L 21/265 G O 2 B

請求項の数 5 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2013-109017 (P2013-109017)
 (22) 出願日 平成25年5月23日(2013.5.23)
 (62) 分割の表示 特願2008-106894 (P2008-106894)
 の分割
 原出願日 平成20年4月16日(2008.4.16)
 (65) 公開番号 特開2013-201448 (P2013-201448A)
 (43) 公開日 平成25年10月3日(2013.10.3)
 審査請求日 平成25年5月24日(2013.5.24)

前置審査

(73) 特許権者 000207551
 株式会社 S C R E E Nホールディングス
 京都府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
 (74) 代理人 100088672
 弁理士 吉竹 英俊
 (74) 代理人 100088845
 弁理士 有田 貴弘
 (72) 発明者 樹山 弘喜
 京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1-1 大日本スクリーン製造株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

不純物が注入された半導体層を有する基板に対して光を照射することによって該基板を加熱する熱処理方法であって、

ピークが第1の発光出力となる出力波形にて基板に光照射を行って前記基板の表面温度を不純物の活性化が生じる所定の処理温度に昇温する昇温工程と、

前記ピークを過ぎた後に前記第1の発光出力よりも小さな発光出力にて基板に追加の光照射を行って前記基板の表面温度を前記昇温工程にて到達した前記所定の処理温度に5ミリ秒以上維持する温度維持工程と、
 を備え、

前記昇温工程での光照射時間と前記温度維持工程での光照射時間との合計が1秒以下であることを特徴とする熱処理方法。

【請求項2】

請求項1記載の熱処理方法において、

前記ピークを過ぎた後に前記昇温工程での発光出力が前記第1の発光出力の3分の2以下となったときに前記温度維持工程による追加の光照射を開始することを特徴とする熱処理方法。

【請求項3】

請求項1または請求項2記載の熱処理方法において、

前記昇温工程での光照射時間は0.1ミリ秒以上10ミリ秒以下であるこ

とを特徴とする熱処理方法。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の熱処理方法において、

前記温度維持工程での光照射時間は 5 ミリセカンド以上であることを特徴とする熱処理方法。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の熱処理方法において、

前記昇温工程にて前記基板の表面温度を前記所定の処理温度に昇温することによって前記基板に注入された不純物が活性化され、

前記温度維持工程にて前記基板の表面温度を前記所定の処理温度に 5 ミリセカンド以上維持することによって前記基板に導入された欠陥の回復を行うことを特徴とする熱処理方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウェハーや液晶表示装置用ガラス基板等（以下、単に「基板」と称する）に対して光を照射することによって該基板を加熱する熱処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、イオン注入後の半導体ウェハーのイオン活性化工程においては、ハロゲンランプを使用したランプアニール装置が一般的に使用されていた。このようなランプアニール装置においては、半導体ウェハーを、例えば、1000 ないし 1100 程度の温度に加熱（アニール）することにより、半導体ウェハーのイオン活性化を実行している。そして、このような熱処理装置においては、ハロゲンランプより照射される光のエネルギーを利用することにより、毎秒数百度程度の速度で基板を昇温する構成となっている。

20

【0003】

一方、近年、半導体デバイスの高集積化が進展し、ゲート長が短くなるにつれて接合深さも浅くすることが望まれている。しかしながら、毎秒数百度程度の速度で半導体ウェハーを昇温する上記ランプアニール装置を使用して半導体ウェハーのイオン活性化を実行した場合においても、半導体ウェハーに打ち込まれたボロンやリン等のイオンが熱によって深く拡散するという現象が生ずることが判明した。このような現象が発生した場合においては、接合深さが要求よりも深くなり過ぎ、良好なデバイス形成に支障が生じることが懸念される。

30

【0004】

このため、キセノンフラッシュランプ（以下、単に「フラッシュランプ」とするときにはキセノンフラッシュランプを意味する）を使用して半導体ウェハーの表面にフラッシュ光を照射することにより、イオンが注入された半導体ウェハーの表面のみを極めて短時間（数ミリセカンド以下）に昇温させる技術が提案されている（例えば、特許文献 1，2）。キセノンフラッシュランプの放射分光分布は紫外域から近赤外域であり、従来のハロゲンランプよりも波長が短く、シリコンの半導体ウェハーの基礎吸収帯とほぼ一致している。よって、キセノンフラッシュランプから半導体ウェハーにフラッシュ光を照射したときには、透過光が少なく半導体ウェハーを急速に昇温することが可能である。また、数ミリセカンド以下の極めて短時間のフラッシュ光照射であれば、半導体ウェハーの表面近傍のみを選択的に昇温できることも判明している。このため、キセノンフラッシュランプによる極短時間の昇温であれば、イオンを深く拡散させることなく、イオン活性化のみを実行することができるのである。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2004 - 55821 号公報

50

【特許文献2】特開2004-88052号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、フラッシュ加熱を行う前工程でのイオン注入時に高エネルギーのイオンを打ち込んだ結果、半導体ウェハのシリコン結晶には多数の欠陥が導入される。このような欠陥は、イオン注入層よりもやや深い位置に導入される傾向がある。フラッシュ加熱を行う際には、イオン活性化のみならず、導入された欠陥の回復をも併せて行うことが望ましい。

【0007】

しかしながら、フラッシュランプの発光時間が1ミリ秒程度程度の極短時間照射の場合、半導体ウェハの表面の温度上昇速度の方がシリコンの熱伝導によって熱がウェハ内部に伝わるよりも早いため、イオン注入層の昇温は可能であるものの、欠陥が導入されている深さ位置までの昇温は困難であった。もっとも、フラッシュランプから極めて高いエネルギーの光を照射すれば、1ミリ秒程度程度の極短時間照射であっても欠陥が導入されている深さ位置まで昇温することができ、欠陥の回復を行うことはできるものの、表面温度が著しく上昇して半導体ウェハにダメージを与えるという問題が生じる。

【0008】

また、フラッシュランプに電力供給を行う電源回路のコイル定数を調整することによってフラッシュランプの発光時間を数ミリ秒程度に伸ばすことができる。発光時間を数ミリ秒程度とすれば、半導体ウェハの表面のみならず内部をもある程度昇温することができ、イオン注入時に導入された欠陥の回復には有効であると考えられる。ところが、フラッシュランプの発光時間を数ミリ秒程度と長くすると、半導体ウェハの表面が昇温し続けて新たな結晶欠陥が発生するおそれがある。

【0009】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、基板にダメージを与えることなく、注入されたイオンの活性化および導入された欠陥の回復の双方を行うことができる熱処理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】

【0010】

上記課題を解決するため、請求項1の発明は、不純物が注入された半導体層を有する基板に対して光を照射することによって該基板を加熱する熱処理方法において、ピークが第1の発光出力となる出力波形にて基板に光照射を行って前記基板の表面温度を不純物の活性化が生じる所定の処理温度に昇温する昇温工程と、前記ピークを過ぎた後に前記第1の発光出力よりも小さな発光出力にて基板に追加の光照射を行って前記基板の表面温度を前記昇温工程にて到達した前記所定の処理温度に5ミリ秒以上維持する温度維持工程と、を備え、前記昇温工程での光照射時間と前記温度維持工程での光照射時間との合計が1秒以下であることを特徴とする。

【0011】

また、請求項2の発明は、請求項1の発明に係る熱処理方法において、前記ピークを過ぎた後に前記昇温工程での発光出力が前記第1の発光出力の3分の2以下となったときに前記温度維持工程による追加の光照射を開始することを特徴とする。

【0012】

また、請求項3の発明は、請求項1または請求項2の発明に係る熱処理方法において、前記昇温工程での光照射時間は0.1ミリ秒以上10ミリ秒以下であることを特徴とする。

【0013】

また、請求項4の発明は、請求項1から請求項3のいずれかの発明に係る熱処理方法において、前記温度維持工程での光照射時間は5ミリ秒以上であることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

また、請求項 5 の発明は、請求項 1 から請求項 4 のいずれかの発明に係る熱処理方法において、前記昇温工程にて前記基板の表面温度を前記所定の処理温度に昇温することによって前記基板に注入された不純物が活性化され、前記温度維持工程にて前記基板の表面温度を前記所定の処理温度に 5 ミリセカンド以上維持することによって前記基板に導入された欠陥の回復を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、ピークが第 1 の発光出力となる出力波形にて基板に光照射を行って基板の表面温度を所定の処理温度に昇温する昇温工程と、そのピークを過ぎた後に第 1 の発光出力よりも小さな発光出力にて基板に追加の光照射を行って基板の表面温度を処理温度に 5 ミリセカンド以上維持する温度維持工程と、を備え、昇温工程での光照射時間と温度維持工程での光照射時間との合計が 1 秒以下であるため、基板表面を過度に加熱することなく欠陥導入位置まである程度昇温することができ、基板にダメージを与えることなく、注入されたイオンの活性化および導入された欠陥の回復の双方を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

【図 1】本発明に係る熱処理装置の構成を示す側断面図である。

【図 2】図 1 の熱処理装置のガス路を示す断面図である。

【図 3】保持部の構成を示す断面図である。

【図 4】ホットプレートを示す平面図である。

【図 5】図 1 の熱処理装置の構成を示す側断面図である。

【図 6】フラッシュランプの駆動回路を示す図である。

【図 7】予備加熱が開始されてからの半導体ウェハの表面温度の変化を示す図である。

【図 8】パルス信号の波形と回路に流れる電流との相関の一例を示す図である。

【図 9】フラッシュランプの発光出力と半導体ウェハの表面温度との相関の一例を示す図である。

【図 10】フラッシュランプの発光出力と半導体ウェハの表面温度との相関の他の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 7 】

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 1 8 】

まず、本発明に係る熱処理装置の全体構成について概説する。図 1 は、本発明に係る熱処理装置 1 の構成を示す側断面図である。熱処理装置 1 は基板として略円形の半導体ウェハ W に光を照射してその半導体ウェハ W を加熱するランプアニール装置である。

【 0 0 1 9 】

熱処理装置 1 は、半導体ウェハ W を収容する略円筒形状のチャンバー 6 と、複数のフラッシュランプ FL を内蔵するランプハウス 5 と、を備える。また、熱処理装置 1 は、チャンバー 6 およびランプハウス 5 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。

【 0 0 2 0 】

チャンバー 6 は、ランプハウス 5 の下方に設けられており、略円筒状の内壁を有するチャンバー側部 6 3、および、チャンバー側部 6 3 の下部を覆うチャンバー底部 6 2 によって構成される。また、チャンバー側部 6 3 およびチャンバー底部 6 2 によって囲まれる空間が熱処理空間 6 5 として規定される。熱処理空間 6 5 の上方は上部開口 6 0 とされており、上部開口 6 0 にはチャンバー窓 6 1 が装着されて閉塞されている。

【 0 0 2 1 】

チャンバー 6 の天井部を構成するチャンバー窓 6 1 は、石英により形成された円板形状部材であり、ランプハウス 5 から出射された光を熱処理空間 6 5 に透過する石英窓として

10

20

30

40

50

機能する。チャンバー 6 の本体を構成するチャンバー底部 6 2 およびチャンバー側部 6 3 は、例えば、ステンレススチール等の強度と耐熱性に優れた金属材料にて形成されており、チャンバー側部 6 3 の内側面の上部のリング 6 3 1 は、光照射による劣化に対してステンレススチールより優れた耐久性を有するアルミニウム (A 1) 合金等で形成されている。

【 0 0 2 2 】

チャンバー底部 6 2 には、保持部 7 を貫通して半導体ウェハー W をその下面 (ランプハウス 5 からの光が照射される側とは反対側の面) から支持するための複数 (本実施の形態では 3 本) の支持ピン 7 0 が立設されている。支持ピン 7 0 は、例えば石英により形成されており、チャンバー 6 の外部から固定されているため、容易に取り替えることができる。

10

【 0 0 2 3 】

チャンバー側部 6 3 は、半導体ウェハー W の搬入および搬出を行うための搬送開口部 6 6 を有し、搬送開口部 6 6 は、軸 6 6 2 を中心に回転するゲートバルブ 1 8 5 により開閉可能とされる。チャンバー側部 6 3 における搬送開口部 6 6 とは反対側の部位には熱処理空間 6 5 に処理ガス (例えば、窒素 (N_2) ガスやヘリウム (He) ガス、アルゴン (Ar) ガス等の不活性ガス、あるいは、酸素 (O_2) ガス等) を導入する導入路 8 1 が形成され、その一端は弁 8 2 を介して図示省略の給気機構に接続され、他端はチャンバー側部 6 3 の内部に形成されるガス導入バッファ 8 3 に接続される。また、搬送開口部 6 6 には熱処理空間 6 5 内の気体を排出する排出路 8 6 が形成され、弁 8 7 を介して図示省略の排気機構に接続される。

20

【 0 0 2 4 】

図 2 は、チャンバー 6 をガス導入バッファ 8 3 の位置にて水平面で切断した断面図である。図 2 に示すように、ガス導入バッファ 8 3 は、図 1 に示す搬送開口部 6 6 の反対側においてチャンバー側部 6 3 の内周の約 1 / 3 に亘って形成されており、導入路 8 1 を介してガス導入バッファ 8 3 に導かれた処理ガスは、複数のガス供給孔 8 4 から熱処理空間 6 5 内へと供給される。

【 0 0 2 5 】

また、熱処理装置 1 は、チャンバー 6 の内部において半導体ウェハー W を水平姿勢にて保持しつつ光照射前にその保持する半導体ウェハー W の予備加熱を行う略円板状の保持部 7 と、保持部 7 をチャンバー 6 の底面であるチャンバー底部 6 2 に対して昇降させる保持部昇降機構 4 と、を備える。図 1 に示す保持部昇降機構 4 は、略円筒状のシャフト 4 1、移動板 4 2、ガイド部材 4 3 (本実施の形態ではシャフト 4 1 の周りに 3 本配置される)、固定板 4 4、ボールネジ 4 5、ナット 4 6 およびモータ 4 0 を有する。チャンバー 6 の下部であるチャンバー底部 6 2 には保持部 7 よりも小さい直径を有する略円形の下部開口 6 4 が形成されており、ステンレススチール製のシャフト 4 1 は、下部開口 6 4 を挿通して、保持部 7 (厳密には保持部 7 のホットプレート 7 1) の下面に接続されて保持部 7 を支持する。

30

【 0 0 2 6 】

移動板 4 2 にはボールネジ 4 5 と螺合するナット 4 6 が固定されている。また、移動板 4 2 は、チャンバー底部 6 2 に固定されて下方へと伸びるガイド部材 4 3 により摺動自在に案内されて上下方向に移動可能とされる。また、移動板 4 2 は、シャフト 4 1 を介して保持部 7 に連結される。

40

【 0 0 2 7 】

モータ 4 0 は、ガイド部材 4 3 の下端部に取り付けられる固定板 4 4 に設置され、タイミングベルト 4 0 1 を介してボールネジ 4 5 に接続される。保持部昇降機構 4 により保持部 7 が昇降する際には、駆動部であるモータ 4 0 が制御部 3 の制御によりボールネジ 4 5 を回転し、ナット 4 6 が固定された移動板 4 2 がガイド部材 4 3 に沿って鉛直方向に移動する。この結果、移動板 4 2 に固定されたシャフト 4 1 が鉛直方向に沿って移動し、シャフト 4 1 に接続された保持部 7 が図 1 に示す半導体ウェハー W の受渡位置と図 5 に示す半

50

導体ウェハーWの処理位置との間で滑らかに昇降する。

【0028】

移動板42の上面には略半円筒状(円筒を長手方向に沿って半分に切断した形状)のメカストッパ451がボールネジ45に沿うように立設されており、仮に何らかの異常により移動板42が所定の上昇限界を超えて上昇しようとしても、メカストッパ451の上端がボールネジ45の端部に設けられた端板452に突き当たることによって移動板42の異常上昇が防止される。これにより、保持部7がチャンバー窓61の下方の所定位置以上に上昇することはなく、保持部7とチャンバー窓61との衝突が防止される。

【0029】

また、保持部昇降機構4は、チャンバー6の内部のメンテナンスを行う際に保持部7を手動にて昇降させる手動昇降部49を有する。手動昇降部49はハンドル491および回転軸492を有し、ハンドル491を介して回転軸492を回転することにより、タイミングベルト495を介して回転軸492に接続されるボールネジ45を回転して保持部7の昇降を行うことができる。

【0030】

チャンバー底部62の下側には、シャフト41の周囲を囲み下方へと伸びる伸縮自在のベローズ47が設けられ、その上端はチャンバー底部62の下面に接続される。一方、ベローズ47の下端はベローズ下端板471に取り付けられている。ベローズ下端板471は、錨状部材411によってシャフト41にネジ止めされて取り付けられている。保持部昇降機構4により保持部7がチャンバー底部62に対して上昇する際にはベローズ47が収縮され、下降する際にはベローズ47が伸張される。そして、保持部7が昇降する際にも、ベローズ47が伸縮することによって熱処理空間65内の気密状態が維持される。

【0031】

図3は、保持部7の構成を示す断面図である。保持部7は、半導体ウェハーWを予備加熱(いわゆるアシスト加熱)するホットプレート(加熱プレート)71、および、ホットプレート71の上面(保持部7が半導体ウェハーWを保持する側の面)に設置されるサセプタ72を有する。保持部7の下面には、既述のように保持部7を昇降するシャフト41が接続される。サセプタ72は石英(あるいは、窒化アルミニウム(AIN)等であってもよい)により形成され、その上面には半導体ウェハーWの位置ずれを防止するピン75が設けられる。サセプタ72は、その下面をホットプレート71の上面に面接触させてホットプレート71上に設置される。これにより、サセプタ72は、ホットプレート71からの熱エネルギーを拡散してサセプタ72上面に載置された半導体ウェハーWに伝達するとともに、メンテナンス時にはホットプレート71から取り外して洗浄可能とされる。

【0032】

ホットプレート71は、ステンレススチール製の上部プレート73および下部プレート74にて構成される。上部プレート73と下部プレート74との間には、ホットプレート71を加熱するニクロム線等の抵抗加熱線76が配設され、導電性のニッケル(Ni)ロウが充填されて封止されている。また、上部プレート73および下部プレート74の端部はロウ付けにより接着されている。

【0033】

図4は、ホットプレート71を示す平面図である。図4に示すように、ホットプレート71は、保持される半導体ウェハーWと対向する領域の中央部に同心円状に配置される円板状のゾーン711および円環状のゾーン712、並びに、ゾーン712の周囲の略円環状の領域を周方向に4等分割した4つのゾーン713~716を備え、各ゾーン間には若干の間隙が形成されている。また、ホットプレート71には、支持ピン70が挿通される3つの貫通孔77が、ゾーン711とゾーン712との隙間の周上に120°毎に設けられる。

【0034】

6つのゾーン711~716のそれぞれには、相互に独立した抵抗加熱線76が周回するように配設されてヒータが個別に形成されており、各ゾーンに内蔵されたヒータにより

10

20

30

40

50

各ゾーンが個別に加熱される。保持部 7 に保持された半導体ウェハ W は、6 つのゾーン 7 1 1 ~ 7 1 6 に内蔵されたヒータにより加熱される。また、ゾーン 7 1 1 ~ 7 1 6 のそれぞれには、熱電対を用いて各ゾーンの温度を計測するセンサ 7 1 0 が設けられている。各センサ 7 1 0 は略円筒状のシャフト 4 1 の内部を通り制御部 3 に接続される。

【 0 0 3 5 】

ホットプレート 7 1 が加熱される際には、センサ 7 1 0 により計測される 6 つのゾーン 7 1 1 ~ 7 1 6 のそれぞれの温度が予め設定された所定の温度になるように、各ゾーンに配設された抵抗加熱線 7 6 への電力供給量が制御部 3 により制御される。制御部 3 による各ゾーンの温度制御は P I D (Proportional, Integral, Derivative) 制御により行われる。ホットプレート 7 1 では、半導体ウェハ W の熱処理 (複数の半導体ウェハ W を連続的に処理する場合は、全ての半導体ウェハ W の熱処理) が終了するまでゾーン 7 1 1 ~ 7 1 6 のそれぞれの温度が継続的に計測され、各ゾーンに配設された抵抗加熱線 7 6 への電力供給量が個別に制御されて、すなわち、各ゾーンに内蔵されたヒータの温度が個別に制御されて各ゾーンの温度が設定温度に維持される。なお、各ゾーンの設定温度は、基準となる温度から個別に設定されたオフセット値だけ変更することが可能とされる。

【 0 0 3 6 】

6 つのゾーン 7 1 1 ~ 7 1 6 にそれぞれ配設される抵抗加熱線 7 6 は、シャフト 4 1 の内部を通る電力線を介して電力供給源 (図示省略) に接続されている。電力供給源から各ゾーンに至る経路途中において、電力供給源からの電力線は、マグネシア (マグネシウム酸化物) 等の絶縁体を充填したステンレスチューブの内部に互いに電氣的に絶縁状態となるように配置される。なお、シャフト 4 1 の内部は大気開放されている。

【 0 0 3 7 】

次に、ランプハウス 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 F L 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、ランプハウス 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。ランプハウス 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部材である。ランプハウス 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 がチャンバー窓 6 1 と相対向することとなる。ランプハウス 5 は、チャンバー 6 内にて保持部 7 に保持される半導体ウェハ W にランプ光放射窓 5 3 およびチャンバー窓 6 1 を介してフラッシュランプ F L から光を照射することにより半導体ウェハ W を加熱する。

【 0 0 3 8 】

複数のフラッシュランプ F L 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 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 F L の配列によって形成される平面も水平面である。

【 0 0 3 9 】

図 6 は、フラッシュランプ F L の駆動回路を示す図である。同図に示すように、コンデンサ 9 3 と、コイル 9 4 と、フラッシュランプ F L と、スイッチング素子 9 6 とが直列に接続されている。フラッシュランプ F L は、その内部にキセノンガスが封入されその両端部に陽極および陰極が配設された棒状のガラス管 (放電管) 9 2 と、該ガラス管 9 2 の外周面上に付設されたトリガー電極 9 1 とを備える。コンデンサ 9 3 には、電源ユニット 9 5 によって所定の電圧が印加され、その印加電圧に応じた電荷が充電される。また、トリガー電極 9 1 にはトリガー回路 9 7 から電圧を印加することができる。トリガー回路 9 7 がトリガー電極 9 1 に電圧を印加するタイミングは制御部 3 によって制御される。

【 0 0 4 0 】

本実施の形態では、スイッチング素子 9 6 として絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (I G B T ; Insulated gate bipolar transistor) を用いている。I G B T は、ゲート部に M O S F E T (Metal Oxide Semiconductor Field effect transistor) を組み込んだバイポーラトランジスタであり、大電力を取り扱うのに適したスイッチング素子である。

スイッチング素子 9 6 のゲートには制御部 3 のパルス発生器 3 1 からパルス信号が印加される。

【 0 0 4 1 】

コンデンサ 9 3 が充電された状態でスイッチング素子 9 6 のゲートにパルスが出力されてガラス管 9 2 の両端電極に高電圧が印加されたとしても、キセノンガスは電気的には絶縁体であることから、通常の状態ではガラス管 9 2 内に電気は流れない。しかしながら、トリガー回路 9 7 がトリガー電極 9 1 に電圧を印加して絶縁を破壊した場合にはガラス管 9 2 内の両端電極間で電流が瞬時に流れ、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。

【 0 0 4 2 】

また、図 1 のリフレクタ 5 2 は、複数のフラッシュランプ F L 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 5 2 の基本的な機能は、複数のフラッシュランプ F L から出射された光を保持部 7 の側に反射するというものである。リフレクタ 5 2 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 F L 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梨地模様を呈する。このような粗面化加工を施しているのは、リフレクタ 5 2 の表面が完全な鏡面であると、複数のフラッシュランプ F L からの反射光の強度に規則パターンが生じて半導体ウェハ W の表面温度分布の均一性が低下するためである。

【 0 0 4 3 】

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 C P U、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 R O M、各種情報を記憶する読み書き自在のメモリである R A M 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構成される。また、制御部 3 は、パルス発生器 3 1 および波形設定部 3 2 を備えるとともに、入力部 3 3 に接続されている。入力部 3 3 としては、キーボード、マウス、タッチパネル等の種々の公知の入力機器を採用することができる。入力部 3 3 からの入力内容に基づいて波形設定部 3 2 がパルス信号の波形を設定し、その波形に従ってパルス発生器 3 1 がパルス信号を発生する。

【 0 0 4 4 】

上記の構成以外にも熱処理装置 1 は、半導体ウェハ W の熱処理時にフラッシュランプ F L およびホットプレート 7 1 から発生する熱エネルギーによるチャンバー 6 およびランプハウス 5 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 のチャンバー側部 6 3 およびチャンバー底部 6 2 には水冷管（図示省略）が設けられている。また、ランプハウス 5 は、内部に気体流を形成して排熱するための気体供給管 5 5 および排気管 5 6 が設けられて空冷構造とされている（図 1，5 参照）。また、チャンバー窓 6 1 とランプ光放射窓 5 3 との間隙にも空気が供給され、ランプハウス 5 およびチャンバー窓 6 1 を冷却する。

【 0 0 4 5 】

次に、熱処理装置 1 における半導体ウェハ W の処理手順について説明する。ここで処理対象となる半導体ウェハ W はイオン注入法により不純物（イオン）が添加された半導体基板であり、添加された不純物の活性化およびイオン注入時に導入された欠陥の回復が熱処理装置 1 による光照射加熱処理（アニール）により実行される。

【 0 0 4 6 】

まず、保持部 7 が図 5 に示す処理位置から図 1 に示す受渡位置に下降する。「処理位置」とは、フラッシュランプ F L から半導体ウェハ W に光照射が行われるときの保持部 7 の位置であり、図 5 に示す保持部 7 のチャンバー 6 内における位置である。また、「受渡位置」とは、チャンバー 6 に半導体ウェハ W の搬出入が行われるときの保持部 7 の位置であり、図 1 に示す保持部 7 のチャンバー 6 内における位置である。熱処理装置 1 における保持部 7 の基準位置は処理位置であり、処理前にあっては保持部 7 は処理位置に位置しており、これが処理開始に際して受渡位置に下降するのである。図 1 に示すように、保持

10

20

30

40

50

部 7 が受渡位置にまで下降するとチャンバー底部 6 2 に近接し、支持ピン 7 0 の先端が保持部 7 を貫通して保持部 7 の上方に突出する。

【 0 0 4 7 】

次に、保持部 7 が受渡位置に下降したときに、弁 8 2 および弁 8 7 が開かれてチャンバー 6 の熱処理空間 6 5 内に常温の窒素ガスが導入される。続いて、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 を介して半導体ウェハー W がチャンバー 6 内に搬入され、複数の支持ピン 7 0 上に載置される。

【 0 0 4 8 】

半導体ウェハー W の搬入時におけるチャンバー 6 への窒素ガスのパージ量は約 4 0 リットル / 分とされ、供給された窒素ガスはチャンバー 6 内においてガス導入バッファ 8 3 から図 2 中に示す矢印 A R 4 の方向へと流れ、図 1 に示す排出路 8 6 および弁 8 7 を介してユーティリティ排気により排気される。また、チャンバー 6 に供給された窒素ガスの一部は、ペローズ 4 7 の内側に設けられる排出口 (図示省略) から排出される。なお、以下で説明する各ステップにおいて、チャンバー 6 には常に窒素ガスが供給および排気され続けており、窒素ガスの供給量は半導体ウェハー W の処理工程に合わせて様々に変更される。

【 0 0 4 9 】

半導体ウェハー W がチャンバー 6 内に搬入されると、ゲートバルブ 1 8 5 により搬送開口部 6 6 が閉鎖される。そして、保持部昇降機構 4 により保持部 7 が受渡位置からチャンバー窓 6 1 に近接した処理位置にまで上昇する。保持部 7 が受渡位置から上昇する過程において、半導体ウェハー W は支持ピン 7 0 から保持部 7 のサセプタ 7 2 へと渡され、サセプタ 7 2 の上面に載置・保持される。保持部 7 が処理位置にまで上昇するとサセプタ 7 2 に保持された半導体ウェハー W も処理位置に保持されることとなる。

【 0 0 5 0 】

ホットプレート 7 1 の 6 つのゾーン 7 1 1 ~ 7 1 6 のそれぞれは、各ゾーンの内部 (上部プレート 7 3 と下部プレート 7 4 との間) に個別に内蔵されたヒータ (抵抗加熱線 7 6) により所定の温度まで加熱されている。保持部 7 が処理位置まで上昇して半導体ウェハー W が保持部 7 と接触することにより、その半導体ウェハー W はホットプレート 7 1 に内蔵されたヒータによって予備加熱されて温度が次第に上昇する。

【 0 0 5 1 】

図 7 は、予備加熱が開始されてからの半導体ウェハー W の表面温度の変化を示す図である。処理位置にて時間 t_1 の予備加熱が行われ、半導体ウェハー W の温度が予め設定された予備加熱温度 T_1 まで上昇する。予備加熱温度 T_1 は、半導体ウェハー W に添加された不純物が熱により拡散する恐れのない、200 ないし 800 程度、好ましくは 350

ないし 600 程度とされる (本実施の形態では 600) 。また、半導体ウェハー W の予備加熱を行う時間 t_1 は、約 3 秒 ~ 200 秒とされる (本実施の形態では 60 秒) 。なお、保持部 7 とチャンバー窓 6 1 との間の距離は、保持部昇降機構 4 のモータ 4 0 の回転量を制御することにより任意に調整することが可能とされている。

【 0 0 5 2 】

時間 t_1 の予備加熱時間が経過した後、時刻 A にてフラッシュランプ F L による半導体ウェハー W の光照射加熱 (フラッシュ加熱) が開始される。フラッシュランプ F L からの光照射を行うに際しては、予め電源ユニット 9 5 によってコンデンサ 9 3 に電荷を蓄積しておく。そして、コンデンサ 9 3 に電荷が蓄積された状態にて、制御部 3 のパルス発生器 3 1 からスイッチング素子 9 6 にパルス信号を出力する。

【 0 0 5 3 】

図 8 は、パルス信号の波形と回路に流れる電流との相関の一例を示す図である。ここでは、図 8 (a) に示すような波形のパルス信号がパルス発生器 3 1 から出力される。パルス信号の波形は、入力部 3 3 からパルスの立ち上がっている時間 (ON 時間) とパルス間のスペース時間 (OFF 時間) とを順次設定したレシピを入力することによって規定することができる。このようなレシピをオペレータが入力部 3 3 から制御部 3 に入力すると、

10

20

30

40

50

制御部 3 の波形設定部 3 2 は図 8 (a) に示すようなパルス波形を設定する。図 8 (a) に示すパルス波形においては、最初に比較的長いパルスが設定されるとともに、その後比較的短い複数のパルスが設定されている。そして、波形設定部 3 2 によって設定されたパルス波形に従ってパルス発生器 3 1 がパルス信号を出力する。その結果、スイッチング素子 9 6 のゲートには図 8 (a) のような波形のパルス信号が印加され、スイッチング素子 9 6 の駆動が制御されることとなる。

【 0 0 5 4 】

また、パルス発生器 3 1 から出力するパルス信号が ON になるタイミングと同期して制御部 3 がトリガー回路 9 7 を制御してトリガー電極 9 1 に電圧を印加する。これにより、スイッチング素子 9 6 のゲートに入力されるパルス信号が ON のときにはガラス管 9 2 内の両端電極間で必ず電流が流れ、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。制御部 3 からスイッチング素子 9 6 のゲートに図 8 (a) の波形のパルス信号を出力するとともに、該パルス信号が ON になるタイミングと同期してトリガー電極 9 1 に電圧を印加することにより、フラッシュランプ FL を含む回路中に図 8 (b) に示すような電流が流れる。すなわち、スイッチング素子 9 6 のゲートに入力されるパルス信号が ON のときに、フラッシュランプ FL のガラス管 9 2 内に流れる電流値が増加する。なお、各パルスに対応する個々の電流波形はコイル 9 4 の定数によって規定される。

【 0 0 5 5 】

図 8 (b) に示すような波形の電流が流れてフラッシュランプ FL が発光する。フラッシュランプ FL の発光出力は、フラッシュランプ FL に流れる電流にほぼ比例する。従って、フラッシュランプ FL の発光出力の出力波形は図 9 (a) に示すようなパターンとなる。図 9 (a) に示す如きフラッシュランプ FL からの出力波形にて、処理位置の保持部 7 に保持された半導体ウェハ W に光照射が行われる。その結果、半導体ウェハ W の表面温度は図 9 (b) に示すように変化する。

【 0 0 5 6 】

従来のように、スイッチング素子 9 6 を使用することなくフラッシュランプ FL を発光させた場合には、コンデンサ 9 3 に蓄積されていた電荷が 1 回の発光で消費され、フラッシュランプ FL からの出力波形は幅が 0 . 1 ミリセカンドないし 1 0 ミリセカンド程度のシングルパルスとなる。これに対して、本実施の形態のように、回路中にスイッチング素子 9 6 を接続してそのゲートに図 8 (a) のようなパルス信号を出力することにより、いわばフラッシュランプ FL の発光がチョッパ制御されることとなり、コンデンサ 9 3 に蓄積された電荷が分割して消費され、極めて短い時間の間にフラッシュランプ FL が点滅を繰り返す。なお、図 8 に示すように、電流値が完全に " 0 " となる前に次のパルスがスイッチング素子 9 6 のゲートに印加されて電流値が再度増加するため、フラッシュランプ FL が点滅を繰り返している間も発光出力が完全に " 0 " になるものではない。

【 0 0 5 7 】

図 9 (a) に示す如き出力波形は、2 段階の光照射を行っているものとみなすことができる。すなわち、ピークが発光出力 LP となる出力波形にて半導体ウェハ W に光照射を行う第 1 段階と、そのピークが過ぎた後に発光出力 LP よりも小さな発光出力にて半導体ウェハ W に追加の光照射を行う第 2 段階と、によって構成される 2 段階照射を行っている。

【 0 0 5 8 】

より詳細に述べれば、最初にスイッチング素子 9 6 のゲートに比較的長いパルス信号を印加することによって、ピークが発光出力 LP となる出力波形を形成する。そして、ピークを過ぎた後の第 1 段階でのフラッシュランプ FL の発光出力がピーク時の発光出力 LP の 3 分の 2 以下となった時点でスイッチング素子 9 6 のゲートに比較的短いパルス信号を断続的に印加して第 2 段階の追加の光照射を開始する。第 1 段階の光照射時間 (フラッシュランプ FL が第 1 段階の光照射を開始してから第 2 段階の光照射を開始するまでの時間) は 0 . 1 ミリセカンド以上 1 0 ミリセカンド以下である。また、第 2 段階の追加の光照射は、常に発光出力 LP の 3 分の 2 以下の発光出力によって行う。第 2 段階の光照射時間

10

20

30

40

50

は5ミリセカンド以上である。但し、1回のフラッシュ加熱におけるフラッシュランプFLの光照射の総時間、つまり第1段階での光照射時間と第2段階での光照射時間との合計は1秒以下である。

【0059】

第1段階のピークを有する光照射を行うことによって、半導体ウェハ－Wの表面温度は予備加熱温度T1から処理温度T2にまで昇温される。処理温度T2は、半導体ウェハ－Wに注入された不純物の活性化が生じる1000ないし1300程度とされる（本実施の形態では約1000）。そして、本実施形態においては、第1段階の光照射に続いて第2段階の追加の光照射を行うことにより、半導体ウェハ－Wの表面温度を5ミリセカンド以上にわたって処理温度T2に維持している。このような加熱を行うと、イオン注入層よりもやや深い、欠陥が導入されている深さ位置までもある程度昇温されることとなり、その結果欠陥の回復も進行することとなる。しかも、図9（b）に示すように、半導体ウェハ－Wの表面温度が処理温度T2を超えて著しく昇温することはないため、半導体ウェハ－Wに熱的なダメージを与えることも防止される。

【0060】

第2段階の追加の光照射も終了すると、半導体ウェハ－Wの表面温度は処理温度T2から急速に降温する。そして、フラッシュランプFLによる2段階の光照射加熱が終了し、処理位置における約10秒間の待機の後、保持部7が保持部昇降機構4により再び図1に示す受渡位置まで下降し、半導体ウェハ－Wが保持部7から支持ピン70へと渡される。続いて、ゲートバルブ185により閉鎖されていた搬送開口部66が開放され、支持ピン70上に載置された半導体ウェハ－Wは装置外部の搬送ロボットにより搬出され、熱処理装置1における半導体ウェハ－Wの光照射加熱処理が完了する。

【0061】

既述のように、熱処理装置1における半導体ウェハ－Wの熱処理時には窒素ガスがチャンバー6に継続的に供給されており、その供給量は、保持部7が処理位置に位置するときには約30リットル/分とされ、保持部7が処理位置以外の位置に位置するときには約40リットル/分とされる。

【0062】

従来のようにシングルパルスの閃光照射を行う際に、欠陥回復をも可能なように高エネルギー照射或いはロングパルスの閃光照射を行うと、表面温度が著しく昇温して半導体ウェハ－Wに熱的なダメージを与えることは既述した通りである。本実施形態においては、第1段階のピークを有する光照射を行い、それに続いて第2段階の弱めの追加光照射を行っている。このような2段階の光照射加熱を行うことによって、半導体ウェハ－Wの表面温度を処理温度T2を超えて著しく昇温させることなく、表面よりもやや深い位置をもある程度昇温することができる。その結果、半導体ウェハ－Wに熱的なダメージを与えることなく、注入されたイオンの活性化および導入された欠陥の回復の双方を行うことができる。

【0063】

本実施形態の2段階光照射加熱において、第1段階でのフラッシュランプFLの発光出力がピーク時の発光出力LPの3分の2以下となった時点で第2段階の追加の光照射を開始するとともに、常に発光出力LPの3分の2以下の発光出力によって第2段階の光照射を行っている。これは、第2段階の発光出力がピーク時の発光出力LPの3分の2を超えると、ロングパルスの閃光照射を行ったのと同様に、半導体ウェハ－Wの表面温度が処理温度T2を超えて著しく昇温し続けるためである。また、第1段階の光照射時間を10ミリセカンド以下としてるのも、10ミリセカンドを越えると半導体ウェハ－Wの表面温度が処理温度T2を超えて昇温し、熱的なダメージが発生するためである。

【0064】

また、2段階光照射加熱において、第2段階の光照射時間を5ミリセカンド以上としているのは、欠陥の回復が進行する程度の時間、半導体ウェハ－Wの表面温度を処理温度T2に維持するためである。

【 0 0 6 5 】

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、フラッシュランプ F L による 2 段階の光照射加熱は図 9 の例に限定されるものではなく、図 1 0 のようなものであっても良い。図 1 0 (a) に示す例においても、ピークが発光出力 L P となる出力波形にて半導体ウェハー W に光照射を行う第 1 段階と、そのピークが過ぎた後に発光出力 L P よりも小さな発光出力にて半導体ウェハー W に追加の光照射を行う第 2 段階と、によって構成される 2 段階の光照射加熱を行っている。図 1 0 (a) の例が図 9 (a) と相違するのは、第 2 段階の光照射時間が図 9 の例よりも長時間である点である。ピーク時の発光出力 L P の 3 分の 2 以下の発光出力によって光照射を行う第 2 段階の光照射時間を長くすることにより、図 1 0 (b) に示すように、半導体ウェハー W の表面温度を処理温度 T 2 に維持する時間を長くすることができる。

10

【 0 0 6 6 】

このようにしても、半導体ウェハー W の表面温度が処理温度 T 2 を超えて著しく昇温することはない一方、表面よりもやや深い位置もある程度昇温するため、上記実施形態と同様に、半導体ウェハー W に熱的なダメージを与えることなく、注入されたイオンの活性化および導入された欠陥の回復の双方を行うことができる。第 2 段階の光照射時間は図 1 0 の例よりもさらに長時間であっても良いが、第 1 段階での光照射時間と第 2 段階での光照射時間との合計は 1 秒以下である。

【 0 0 6 7 】

20

集約すれば、光照射の総時間が 1 秒以下の光照射加熱（いわゆるミリセカンドアニール）において、ピークが発光出力 L P となる出力波形にて半導体ウェハー W に光照射を行う第 1 段階と、そのピークが過ぎた後に発光出力 L P よりも小さな発光出力にて半導体ウェハー W に追加の光照射を行う第 2 段階と、によって構成される 2 段階照射を行うのであれば良い。このようにすれば、半導体ウェハー W の表面温度を処理温度 T 2 に維持しつつも、表面よりやや深い位置をもある程度昇温するため、半導体ウェハー W に熱的なダメージを与えることなく、注入されたイオンの活性化および導入された欠陥の回復の双方を行うことができる。

【 0 0 6 8 】

また、パルス信号の波形の設定は、入力部 3 3 から逐一パルス幅等のパラメータを入力することに限定されるものではなく、例えば、オペレータが入力部 3 3 から波形を直接グラフィカルに入力するようにしても良いし、以前に設定されて磁気ディスク等の記憶部に記憶されていた波形を読み出すようにしても良いし、或いは熱処理装置 1 の外部からダウンロードするようにしても良い。

30

【 0 0 6 9 】

また、上記実施形態においては、パルス信号が ON になるタイミングと同期してトリガー電極 9 1 に電圧を印加するようにしていたが、トリガー電圧を印加するタイミングはこれに限定されるものではなく、パルス信号の波形とは無関係に一定間隔で印加するようにしても良い。また、パルス信号のスペース幅が狭く、あるパルスによってフラッシュランプ F L を流れた電流の電流値が所定値以上残っている状態で次のパルスによって通電を開始されるような場合であれば、そのままフラッシュランプ F L に電流が流れ続けるため、パルス毎にトリガー電圧を印加する必要はない。上記実施形態の図 8 のように、パルス信号の全てのスペース幅が狭い場合には、最初のパルス（またはこれに加えて第 2 段階の最初のパルス）が印加されたときのみにトリガー電圧を印加するようにしても良く、その後はトリガー電圧を印加せずともスイッチング素子 9 6 のゲートに図 8 (a) のパルス信号を出力するだけで図 8 (b) のような電流波形を形成することができる。つまり、パルス信号が ON になるときに、フラッシュランプ F L に電流が流れるタイミングであれば、トリガー電圧の印加タイミングは任意である。

40

【 0 0 7 0 】

また、上記実施形態においては、ランプハウス 5 に 3 0 本のフラッシュランプ F L を備

50

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。

【 0 0 7 1 】

また、上記実施形態においては、スイッチング素子 9 6 として I G B T を使用していたが、これに限定されるものではなく、I G B T 以外の他のトランジスタであっても良いし、入力されたパルス信号の波形に応じて回路をオンオフできる素子であれば良い。もっとも、フラッシュランプ F L の発光には相当に大きな電力が消費されるため、大電力の取り扱いに適した I G B T や G T O (Gate Turn Off) サイリスタをスイッチング素子 9 6 として採用するのが好ましい。

10

【 0 0 7 2 】

また、2段階の光照射を行うことができれば、図 6 とは異なる回路構成であっても良く、例えば、コイル定数の異なる 2 つの電力供給回路を 1 つのフラッシュランプ F L に接続するようにしても良い。

【 0 0 7 3 】

さらに、2段階の光照射を行うことができれば、光源としてはフラッシュランプ F L に限定されるものではなく、照射時間が 1 秒以下の光照射が可能なものであれば良く、例えばレーザであっても良い。

【 0 0 7 4 】

また、本発明に係る熱処理装置によって処理対象となる基板は半導体ウェハーに限定されるものではなく、液晶表示装置などに用いるガラス基板であっても良い。

20

【 符号の説明 】

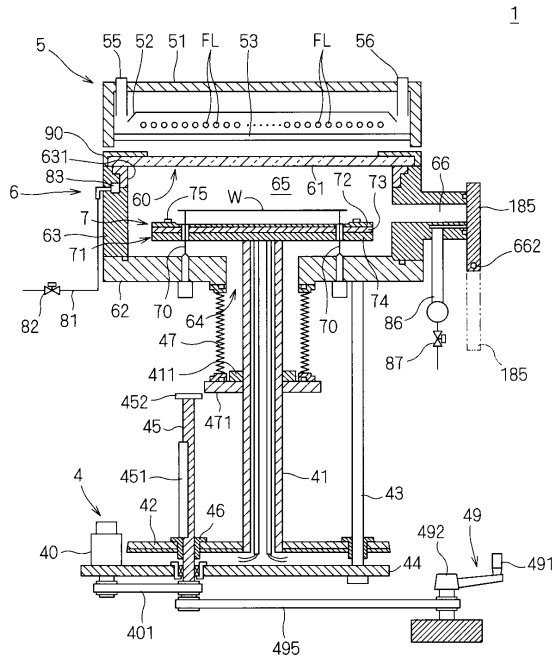
【 0 0 7 5 】

- 1 熱処理装置
- 3 制御部
- 4 保持部昇降機構
- 5 ランプハウス
- 6 チャンバー
- 7 保持部
- 3 1 パルス発生器
- 3 2 波形設定部
- 3 3 入力部
- 6 0 上部開口
- 6 1 チャンバー窓
- 6 5 熱処理空間
- 7 1 ホットプレート
- 7 2 サセプタ
- 9 1 トリガー電極
- 9 2 ガラス管
- 9 3 コンデンサ
- 9 4 コイル
- 9 6 スwitching素子
- 9 7 トリガー回路
- F L フラッシュランプ
- W 半導体ウェハー

30

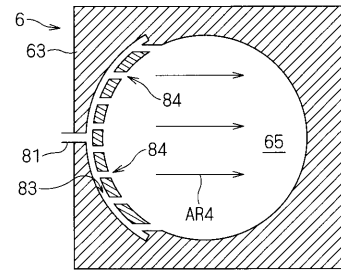
40

【図 1】

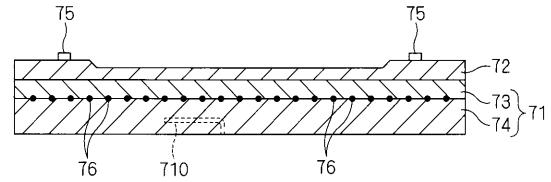


制御部
3

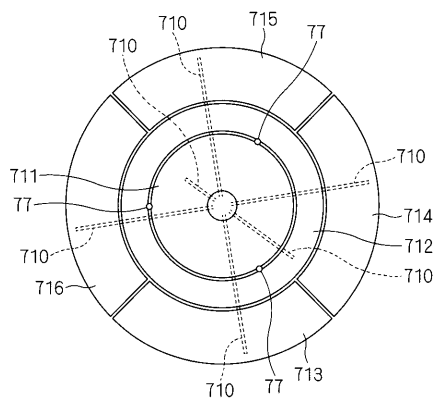
【図 2】



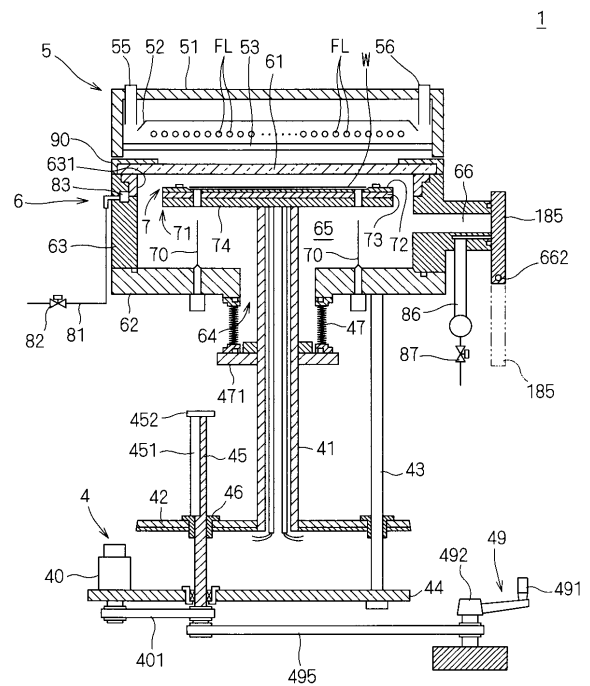
【図 3】



【図 4】

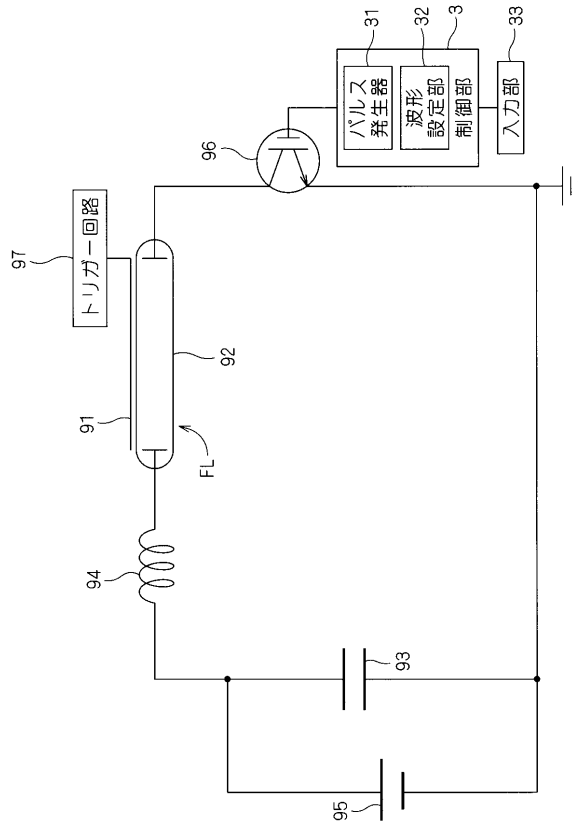


【図 5】

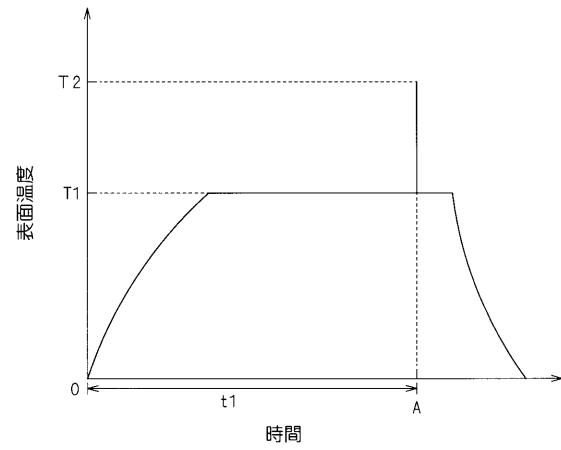


制御部
3

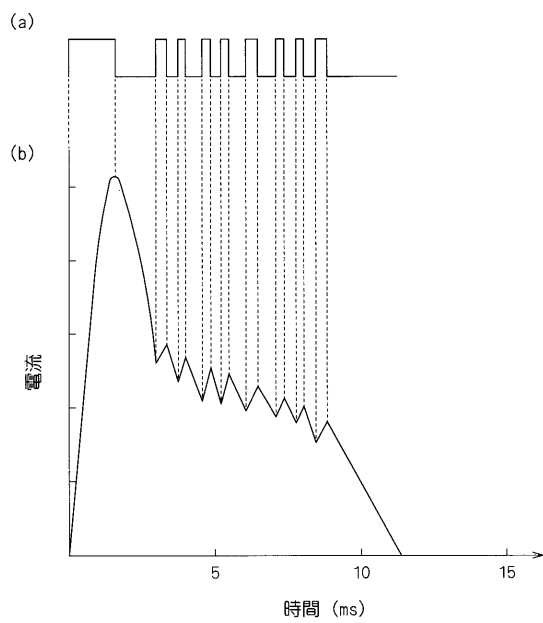
【図 6】



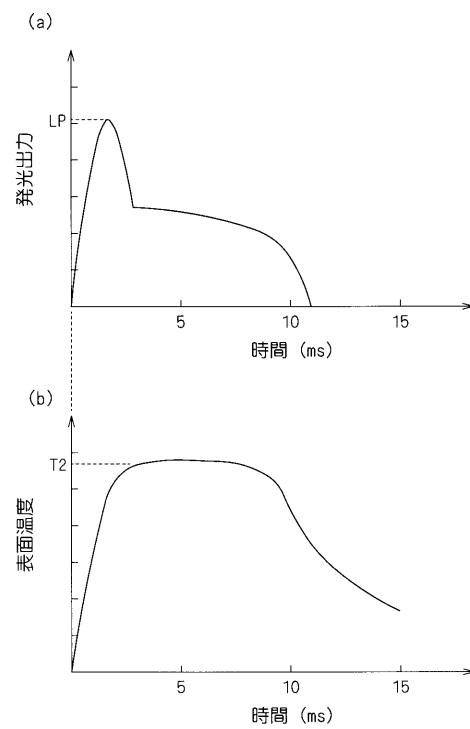
【図 7】



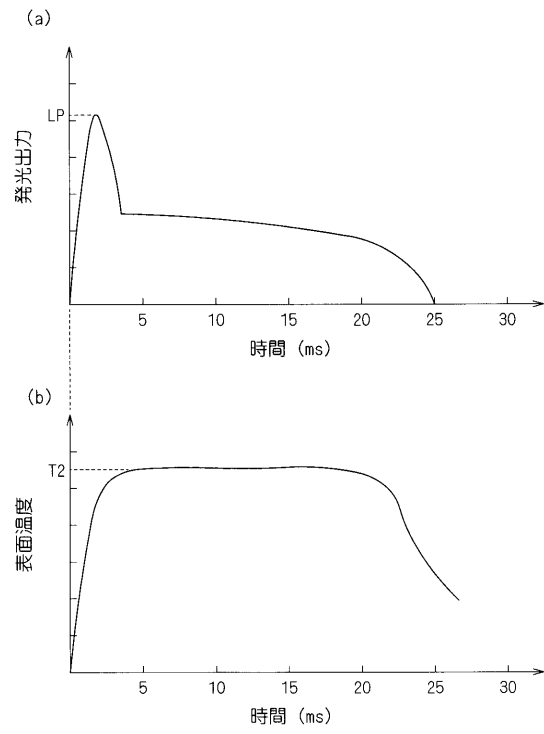
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 横内 健一

京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1-1 大日本スクリーン製造株式会社内

審査官 溝本 安展

(56)参考文献 特表2004-536457(JP,A)
特開2002-252174(JP,A)
特開2005-142344(JP,A)
特開2006-073728(JP,A)
特表2003-528462(JP,A)
特開2009-164201(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/26

H01L 21/265