

PCT

- 〔続葉有〕

(54) 発明の名称: アニール装置





LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL,
PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

(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, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,
TG).

- (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, LS, MW, MZ,
NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：アニール装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体ウエハ等の被処理体に対してアニール処理を施すアニール装置に係り、特にレーザ素子やLED（Light Emitting Diode）素子からの加熱光を照射してアニール処理を行うアニール装置に関する。

背景技術

[0002] 一般に、半導体集積回路を製造するためには、シリコン基板等の半導体ウエハに対して、成膜処理、酸化拡散処理、改質処理、エッチング処理、アニール処理等の各種の処理が繰り返し行われる。それら処理のうち、イオンプラントレーション後にウエハ中にドーパされた不純物原子を活性化させるためのアニール処理においては、不純物の拡散を最小限に抑制するために、半導体ウエハをより高速で昇降温させる必要がある。

[0003] 従来のアニール装置では、ハロゲンランプ等を用いてウエハの加熱を行っていた。しかしながら、ハロゲンランプは点灯してから熱源として安定するまでに少なくとも1秒程度を要してしまう。そこで、最近にあつては、スイッチングの応答性により優れ、ハロゲンランプよりも更に高速昇降温が可能なLED素子を加熱源として用いたアニール処理が提案されている（特表2005-536045号公報）。

[0004] また、他の加熱源として、レーザ素子を用いて、このレーザ素子より発生する加熱光をウエハ表面にスキャンしつつウエハを加熱する技術も提案されている（例えば、特開2005-244191号公報）。

[0005] これらのように、加熱源としてLED素子やレーザ素子を用いる場合には、ウエハに対する高速昇降温操作が比較的可能である、という利点を有する。さらにLED素子の場合には、加熱光の波長がある程度の幅をもっているため、ウエハの表面状態に依存せずに面内均一に加熱できる、という利点を

有している。

[0006] しかしながら、ＬＥＤ素子を用いる場合には、発光効率が１０～３０％程度であって、レーザ素子の発光効率である４０～５０％程度よりもかなり低い。すなわち、レーザ素子の場合と比較してエネルギー効率が低い、という問題がある。

[0007] これに対して、レーザ素子の場合は、上述のようにＬＥＤ素子よりも発光効率の点では優れる。しかしながら、加熱光が単色光である（単一波長である）ために、加熱対象であるウエハ表面の構造や表面状態によって、温度分布の偏り（不均一）が生じてしまう、という問題がある。例えば、ウエハ表面にアモルファス部分やメタル部分や絶縁膜部分等が混在している場合、これらはその材料に依存して主たる光の吸収波長が異なる（特定の波長に対しては吸収率が異なる）。従って、これらに単色光であるレーザ光（加熱光）を照射すると、当該波長に対応する吸収率の材料間の相違に起因して、ウエハ表面に不均一な温度分布が生じてしまう。

発明の要旨

[0008] 本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、被処理体を短時間で且つ面内温度が均一な状態で加熱することができ、また、エネルギー変換効率も高く省エネルギーに寄与することができるというアニール装置を提供することにある。

[0009] 本発明は、被処理体に対してアニール処理を施すアニール装置において、前記被処理体が収容される処理容器と、前記処理容器内で前記被処理体を支持する支持手段と、前記処理容器内へ処理ガスを供給するガス供給手段と、前記処理容器内の雰囲気を排気する排気手段と、前記被処理体の裏面全体に向けて加熱光を照射する複数のレーザ素子を有する裏面側加熱手段と、を備えたことを特徴とするアニール装置である。

[0010] 本発明によれば、レーザ光を加熱光として、表面状態が均一な被処理体の裏面から被処理体に照射することによって、当該被処理体を短時間で且つ面内温度が均一な状態で加熱することができる。また、レーザ素子によるエネ

ルギー変換効率が高いことにより、省エネルギーに寄与することもできる。

[0011] 好ましくは、前記複数のレーザ素子は、前記被処理体の少なくとも裏面全体をカバーできる大きさの領域に亘って配置されている。

[0012] また、例えば、前記レーザ素子は、半導体レーザ素子、固体レーザ素子または気体レーザ素子よりなる。

[0013] また、好ましくは、前記レーザ素子から照射される前記加熱光は、シリコン基板を選択的に加熱することができる波長帯域を有する。

[0014] また、好ましくは、前記支持手段と前記裏面側加熱手段の内のいずれか一方は、回転可能に支持されている。

[0015] また、好ましくは、前記裏面側加熱手段に対向して配置されて前記被処理体の表面に向けて加熱光を照射する表面側加熱手段が更に設けられる。

[0016] この場合、好ましくは、前記表面側加熱手段は、前記被処理体の少なくとも表面全体をカバーできる大きさの領域に亘って配置された複数のLED (Light Emitting Diode) 素子またはSLD (Super Luminescent Diode) 素子を有する。

[0017] このように、表面側加熱手段としてLED素子やSLD素子を用いれば、被処理体の表面側から発光波長に幅のある加熱光を照射することができる。これにより、被処理体の表面状態に依存することなく、更に短時間で且つ面内温度が均一な状態で当該被処理体を加熱することができる。

[0018] また、好ましくは、前記裏面側加熱手段と前記表面側加熱手段の内の少なくともいずれか一方には、冷媒によって冷却を行う冷却機構が設けられている。

[0019] この場合、好ましくは、前記冷却機構は、前記冷媒を流すための冷媒通路を有しており、前記冷媒通路は、冷媒入口から冷媒出口に向けてその流路断面積が順次小さくなるように設定されている。

[0020] このように、冷媒入口から冷媒出口に向けて冷媒通路の流路面積を順次小さくなるように設定することにより、冷媒が冷却対象物から奪う冷媒通路の単位長さ当たりの熱量を一定にできる。この結果、冷媒通路の長さ方向に沿

って冷却対象物の温度を均一化させることが可能となる。

[0021] この場合、好ましくは、前記冷媒通路の幅は一定であり、前記冷媒通路の
高さは、前記冷媒の流量、前記冷媒の比熱、前記冷媒の密度及び前記冷媒入
口からの距離に基づいて定められる。更にこの場合、好ましくは、前記冷媒
通路の高さ $f(x)$ が、次の式

$$f(x) = \frac{A^2 \cdot (T_o - T(x))^2}{Q \cdot c_p \cdot \rho \cdot (T'(x))^2}$$

A : 熱伝達率を求める際の定数

Q : 冷媒の流量

c_p : 冷媒の比熱

ρ : 冷媒の密度

x : 冷媒入口からの距離

$T(x)$: 距離 x の時の冷媒の温度 (関数)

$T'(x)$: 関数 $T(x)$ の微分

T_o : 目標とする温度

で与えられる。

[0022] また、好ましくは、前記冷却機構には、冷却を促進させる複数のヒートパイ
プが設けられている。

[0023] また、好ましくは、前記裏面側加熱手段には、反射面が形成されている。

図面の簡単な説明

[0024] [図1] 図 1 は、本発明に係るアニール装置の一実施形態の概略構成を示す断面
図である。

[図2] 図 2 A は、表面側加熱手段の表面 (下面) を示す平面図である。図 2 B
は、表面側加熱手段の表面 (下面) の一部 (1 つの LED モジュール) の拡大
平面図である。

[図3] 図 3 は、表面側加熱手段の一部である図 1 中の A 部を示す拡大断面図で
ある。

[図4] 図4は、裏面側加熱手段の表面（上面）を示す平面図である。

[図5] 図5は、半導体レーザ素子の発光状態を説明するための説明図である。

[図6] 図6は、レーザ素子からのレーザ光（加熱光）の照射状態を示す模式図である。

[図7] 図7は、素子取付ヘッドの上側冷却機構の内の1つの冷媒通路を示す拡大斜視図である。

[図8] 図8は、本発明のアニール装置の変形実施形態の、支持手段を含む処理容器の下部を示す部分構成図である。

[図9] 図9は、冷媒通路の長さ方向における微小区間の冷媒の温度変化を求めるための模式図である。

[図10] 図10は、冷媒通路の高さ関数 $f(x)$ を示すグラフである。

[図11] 図11は、冷媒通路の断面形状の高さ変化の一例を示す図である。

[図12] 図12は、加熱手段のレーザユニットと半導体レーザ素子の配列状態を示す平面図である。

[図13] 図13は、図12に示す加熱手段から出力される加熱光（光出力）の分布を示すグラフである。

[図14] 図14は、レーザユニットを示す拡大斜視図である。

[図15] 図15A及び図15Bは、半導体レーザ素子から出力される光スポットの広がり方を示すグラフである。

[図16] 図16は、加熱手段のレーザユニットの配列状態の変形実施形態の一例を示す平面図である。

[図17] 図17は、図16に示す加熱手段から出力される加熱光（光出力）の分布を示すグラフである。

[図18] 図18は、レーザユニットの変形実施形態の一例を示す拡大斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

[0025] 以下に、本発明に係るアニール装置の一実施形態を添付図面に基づいて詳述する。図1は、本発明に係るアニール装置の一実施形態の概略構成を示す

断面図である。図 2 A は、表面側加熱手段の表面（下面）を示す平面図である。図 2 B は、表面側加熱手段の表面（下面）の一部の拡大平面図である。図 3 は、表面側加熱手段の一部である図 1 中の A 部を示す拡大断面図である。図 4 は、裏面側加熱手段の表面（上面）を示す平面図である。図 5 は、半導体レーザ素子の発光状態を説明するための説明図である。図 6 は、レーザ素子からのレーザ光（加熱光）の照射状態を示す模式図である。ここでは、被処理体として、シリコン基板よりなる半導体ウエハが用いられる。そして、その表面には不純物が注入されていて、当該ウエハをアニールする場合が例として説明される。

[0026] 図 1 に示すように、本実施形態のアニール装置 2 は、アルミニウム或いはアルミニウム合金製で内部が中空状になされた処理容器 4 を有している。この処理容器 4 は、筒体状の側壁 4 A と、当該側壁 4 A の上端部に接合された天井板 4 B と、側壁 4 A の底部に接合された底板 4 C と、によって構成されている。側壁 4 A には、被処理体である半導体ウエハ W を搬出入できる大きさの搬出入口 6 が形成されている。この搬出入口 6 には、開閉可能になされたゲートバルブ 8 が取り付けられている。

[0027] また、処理容器 4 内には、上記ウエハ W を支持する支持手段 10 が設けられている。この支持手段 10 は、複数本、例えば 3 本、の支持ピン 12（図 1 中では 2 本のみ記す）と、各支持ピン 12 の下端部に連結された昇降アーム 14 と、を有している。各昇降アーム 14 は、図示されないアクチュエータによって昇降され得るようになっていて、支持ピン 12 の上端部にウエハ W を支持させた状態でそれらの全体を昇降できるようになっている。

[0028] また、天井板 4 B の周辺部の一部には、ガス供給手段 16 が形成されている。このガス供給手段 16 は、天井板 4 B に形成されたガス導入口 18 と、当該ガス導入口 18 に連結されたガス管 20 と、からなっており、処理容器 4 内へ必要な処理ガスを図示されない流量制御器を介して流量制御しつつ導入できるようになっている。ここでは、処理ガスとして、N₂ ガスや Ar、He 等の希ガスを用いることができる。そして、天井板 4 B には、これを冷

却する冷媒を流す上側冷媒通路 19 が形成されている。

[0029] また、底板 4 C の周辺部の一部には、ガス排気口 22 が形成されている。このガス排気口 22 には、処理容器 4 内の雰囲気気を排気する排気手段 24 が設けられている。排気手段 24 は、ガス排気口 22 に接続されたガス排気管 26 を有しており、当該ガス排気管 26 に、圧力調整弁 28 及び排気ポンプ 30 が順次介設されている。また、底板 4 C には、これを冷却する冷媒を流す下側冷媒通路 31 が形成されている。

[0030] そして、天井板 4 B の中央に、大口径の開口が形成されており、この開口に表面側加熱手段 32 が設けられており、ウエハ W の表面（上面）を加熱できるようにになっている。また、底板 4 C の中央部にも、大口径の開口が形成されており、この開口に、表面側加熱手段 32 に対向させるように、本発明の特徴とする裏面側加熱手段 34 が設けられており、ウエハ W の裏面（下面）を加熱できるようにになっている。ここで、ウエハ W の表面とは、成膜やエッチング等の各種の処理が施されデバイス等が形成される面を指す。一方、ウエハ W の裏面とは、ウエハ表面とは反対側の面でデバイス等が形成されない面を指す。また、裏面側加熱手段 34 の加熱量が十分に大きい場合には、表面側加熱手段 32 を設けないで省略することもできる。

[0031] <表面側加熱手段の説明>

次に、表面側加熱手段 32 について説明する。表面側加熱手段 32 は、天井板 4 B の開口に僅かな隙間を隔てて嵌め込まれる素子取付ヘッド 36 を有している。この素子取付ヘッド 36 は、アルミニウムやアルミニウム合金等の熱伝導性の高い材料によって形成されている。この素子取付ヘッド 36 は、その上方側に形成された円形リング状の取付フランジ 36 A の部分で、天井板 4 B との間にポリエーテルイミド等よりなる熱絶縁体 38 を介在させた状態で、天井板 4 B に支持されている。

[0032] また、熱絶縁体 38 の上下側には、Ｏリング等よりなるシール材 40 が介設されており、この部分の気密性を保持できるようにになっている。そして、素子取付ヘッド 36 の下面には、ウエハ W の直径よりも少し大きい直径の素

子取付凹部 4 2 が形成されている。この素子取付凹部 4 2 の平面（平坦）部分に、ウエハ W の少なくとも表面全体をカバーできる大きさの領域に亘って、複数の LED モジュール 4 4 が設けられている。また、素子取付凹部 4 2 の開口部分には、例えば石英板よりなる光透過板 4 5 が取り付けられている。

[0033] 図 2 A に示すように、LED モジュール 4 4 は、ここでは例えば一辺が 25 mm 程度の正六角形状になされており、隣り合う辺が略接するような状態まで互いに接近ないし密集されて配置されている。LED モジュール 4 4 の数は、ウエハ W の直径が 300 mm の場合には、例えば 80 個程度設けられる。そして、図 2 B は、1 つの LED モジュールの拡大平面図を示している。図 2 B 及び図 3 に示すように、各 LED モジュール 4 4 は、その表面に多数の LED 素子 4 6 を縦横に配列することで構成されている。この場合、各 LED 素子 4 6 の寸法は、0.5 mm × 0.5 mm 程度であり、1 台の LED モジュール 4 4 に 1000 ~ 2000 個程度の LED 素子 4 6 が搭載されている。この LED 素子 4 6 は、1 つの LED モジュール 4 4 内で複数にグループ分けされて、同一グループ内の LED 素子 4 6 同士は直列接続されている。

[0034] そして、図 1 及び図 3 に示すように、LED モジュール 4 4 の上方に上側冷却機構 4 8 が設けられている。この上側冷却機構 4 8 は、素子取付ヘッド 3 6 内に設けられた断面矩形状の冷媒通路 5 0 を有している。この冷媒通路 5 0 の一端の冷媒入口 5 1 には、冷媒導入管 5 0 A が接続されており、他端の冷媒出口 5 3 には、冷媒排出管 5 0 B が接続されている。これにより、冷媒通路 5 0 に冷媒を流して、LED モジュール 4 4 から発生した熱を奪うことによって、LED モジュール 4 4 を冷却し得るようになっている。冷媒としては、フッリナートやガルデン（商品名）等を用いることができる。ここで、冷媒通路 5 0 は、素子取付ヘッド 3 6 の略全面に亘って、例えば蛇行状に折り返すように形成されて、LED モジュール 4 4 の上面側から効率的に熱を奪ってこれを冷却するようになっている。

[0035] そして、図 1 及び図 3 に示すように、各冷媒通路 50 の両側壁部分には、上下方向に延びるコ字状になされたヒートパイプ 52 が埋め込むようにして設けられている。これにより、LED モジュール 44 を更に効率的に冷却し得るようになっている。

[0036] 更に、天井板 4B の上方には、給電用の制御ボックス 54 が設けられていて、そこに各 LED モジュール 44 に対応した制御ボード 56 が設けられている。そして、制御ボード 56 からは各 LED モジュール 44 に対して給電線 58 が延びており、各 LED モジュール 44 に電力を供給できるようになっている。

[0037] <裏面側加熱手段の説明>

次に、裏面側加熱手段 34 について説明する。底板 4C の開口に、例えば透明な石英ガラス板よりなる厚い光透過板 62 が、リング等のシール部材 64 を介して、固定具 66 によって気密に取り付けられている。裏面側加熱手段 34 は、当該光透過板 62 の下方に配置された複数のレーザモジュール 60 を有している。具体的には、底板 4C の開口に設けられた光透過板 62 の下方を覆うようにして、レーザ取付ケーシング 61 が取り付けられており、このレーザ取付ケーシング 61 に、複数のレーザモジュール 60 が取り付け固定されている。

[0038] レーザモジュール 60 は、図 4 に示すように、ウエハ W の少なくとも裏面全体をカバーできる大きさの領域の全面に亘って、略均等に分散配置されている。この場合、1 つのレーザモジュール 60 の寸法は、例えば 50 mm × 60 mm × 25 mm 程度の大きさに設定されており、LED モジュール 44 と比較するとかなり大きく、また、1 つのレーザモジュール 60 の出力も大きいので、LED モジュール 44 のように密集させて設ける必要はない。

[0039] 従って、ウエハ W の直径が 300 mm の場合、レーザモジュール 60 は 50 ~ 100 個程度設けられる。各レーザモジュール 60 は、1 つのレーザ素子 68 と冷却機構としての冷却部 70 を有している。従って、レーザ素子 68 が、ウエハ W の裏面全体をカバーできる大きさの領域に亘って配置されて

いることになる。レーザ素子 68 は、図 5 に示すように、2 つの電極に挟まれてサンドイッチ状態になされた発光層 72 を有しており、当該発光層 72 から射出されるレーザ光すなわち加熱光 L1 の照射エリア 74 は、発光層 72 の延在方向に対して垂直な方向に長軸を持つ楕円形である。

[0040] この場合、加熱光 L1 の長軸方向への広がり角度は、30～50 度程度であり、短軸方向への広がり角度は、10 度以下である。従って、ウエハ W の裏面に対して面内均一な加熱を実現するためには、図 6 に示すように、当該楕円形の照射エリア 74 の長軸方向がウエハ W の半径方向になるように設定することが好ましい。レーザ素子 68 の発光波長は、紫外光～近赤外光の範囲、例えば 360～1000 nm の範囲、の特定の波長、特には、シリコン基板のウエハ W にとって吸収率が高い 800～970 nm の範囲内の特定の波長（単色光）、を用いるのがよい。具体的には、レーザ素子 68 として、例えば GaAs を用いた半導体レーザ素子を用いることができる。ここで、図 4 に示すレーザモジュール 60 の配列は、単に一例を示したに過ぎず、本発明はこれに限定されない。

[0041] 図 1 に戻って、レーザモジュール 60 の各レーザ素子 68 には、給電ライン 76 が接続されており、給電が行われるようになっている。また、レーザモジュール 60 の各冷却部 70 は、互いに冷媒通路 78 で直列に接続されている。そして、最上流側の冷却部 70 には冷媒導入管 80 が接続されると共に、最下流側の冷却部 70 には冷媒排出管 82 が接続されており、これに冷媒を流すことによってレーザモジュール 60 を冷却できるようになっている。この冷媒としては、水やフッリナートやガルデン（商品名）を用いることができる。

[0042] また、レーザ取付ケーシング 61 の内側面には、表面処理等が施された反射面 84 が形成されている。これにより、ウエハ W の裏面側によって反射された加熱光を、再度上方に向けて反射できるようになっている。尚、ここでは、レーザ素子 68 と冷却部 70 とが一体化されたレーザモジュール 60 を例にとって説明しているが、両者を分離して別々に設けた構造が採用されて

もよい。

- [0043] 以上のように形成されたアニール装置 2 の全体の動作制御、例えばプロセス温度、プロセス圧力、ガス流量、表面側加熱手段 3 2 や裏面側加熱手段 3 4 のオン・オフ等の各種制御は、例えばコンピュータよりなる制御部 8 6 により行われる。この制御に必要なコンピュータ読み取り可能なプログラムは、通常、記憶媒体 8 8 に記憶されている。記憶媒体 8 8 としては、例えばフレキシブルディスク、CD (Compact Disc)、CD-ROM、ハードディスク、フラッシュメモリ或いはDVD等が用いられる。
- [0044] 次に、以上のように構成されたアニール装置 2 を用いて行われるアニール処理について説明する。まず、図示されない搬送機構により、予め減圧雰囲気になされた図示されないロードロック室やトランスファチャンバ等から、開放されたゲートバルブ 8 を介して、例えばシリコン基板よりなる半導体ウエハ W が、予め減圧雰囲気になされた処理容器 4 内へ搬入される。
- [0045] このウエハ W の表面には、前述したようなアモルファスシリコンやメタルや酸化膜等が形成されており、加熱光の波長に対して異なる吸収率を有する各種の微細領域が形成された表面状態となっている。搬入された当該ウエハ W は、昇降アーム 1 4 を昇降駆動させることによって、昇降アーム 1 4 に設けられた支持ピン 1 2 上に移載される。その後、搬送機構が退避され、ゲートバルブ 8 が閉じられて、処理容器 4 内が密閉される。
- [0046] 次に、ガス供給手段 1 6 のガス管 2 0 から、処理ガス、ここでは例えば N_2 ガスや Ar ガス等、が流量制御されつつ流されて、処理容器 4 内が所定の圧力に維持される。これと同時に、天井板 4 B に設けられた表面側加熱手段 3 2 及び底板 4 C に設けられた裏面側加熱手段 3 4 が共にオン状態とされて、表面側加熱手段 3 2 の LED 素子 4 6 及び裏面側加熱手段 3 4 のレーザ素子 6 8 が共に点灯されて、それぞれから加熱光が照射される。これにより、ウエハ W がその上下の両面から加熱されてアニール処理される。この場合のプロセス圧力は、例えば 100 ~ 10000 Pa 程度、プロセス温度（ウエハ温度）は、例えば 800 ~ 1100 °C 程度であり、LED 素子 4 6 及びレー

ザ素子 68 の点灯時間は、それぞれ 1 ～ 10 sec 程度である。

[0047] ウエハWの表面（上面）は、各LED素子46から放射される、ある程度の幅を有する発光波長の加熱光によって加熱されるので、ウエハWの表面状態に依存することなく、ウエハWの表面側をその面内温度が略均一な状態に加熱することができる。

[0048] また、ウエハWの裏面（下面）には、各レーザ素子68から単色光の加熱光が放射される。この放射光により、ウエハWの裏面には、図6に示すように、楕円形状の照射エリア74がウエハの裏面全体に略均等になるように分散された状態で形成される。この場合、上述のように、レーザ素子68から照射される加熱光L1（図5参照）は単色光であるが、ウエハWの裏面はシリコンや酸化シリコンで均一な状態となっていて、加熱光L1の波長はシリコンや酸化シリコンにとって吸収率の高い波長、例えば360～1000nmの範囲内の特定波長、より好ましくは800～970nmの範囲内の特定波長、に設定されている。従って、ウエハの裏面側をその面内温度が略均一な状態に加熱することができる。すなわち、ウエハWは、表面側及び裏面側のそれぞれから面内温度の均一性が高い状態で、均等に且つ短時間で迅速に加熱されることができる。

[0049] また、裏面側加熱手段34に用いられるレーザ素子68（光変換効率：例えば40～50%）は、表面側加熱手段32に用いられるLED素子46（光変換効率：例えば10～30%）よりも、エネルギー変換効率が高い。従って、裏面側加熱手段にLED素子を用いる場合と比較すれば、省エネルギーに寄与することができると言える。

[0050] 更に、表面側加熱手段32と裏面側加熱手段34とによってウエハWの表裏（上下）の両面側から加熱するようにしたので、ウエハWの厚み方向における温度分布の偏りもほとんど生じない。これにより、ウエハWの表裏面の温度差に起因するウエハWの反り返り等の発生を防止することができる。

[0051] また、表面側加熱手段32において発生する多量の熱により、素子取付ヘッド36は加熱されるが、素子取付ヘッド36に設けられた上側冷却機構4

8の冷媒通路50に冷媒を流すことによって、これを効率的に冷却することができる。また、この場合、冷媒通路50の高さ方向に沿って、図1及び図3に示すようにヒートパイプ52を設けているので、この部分における熱変換効率が上昇し、その分、素子取付ヘッド36の冷却効率を更に上げることができる。例えば、素子取付ヘッド36の素材として銅を用いた場合は、熱伝導率は $300 \sim 350 \text{ W/m} \cdot \text{deg}$ であるに対して、ヒートパイプ52を設けることによって熱伝導率を $400 \sim 600 \text{ W/m} \cdot \text{deg}$ まで向上させることができる。

[0052] また同様に、裏面側加熱手段34においても多量に熱が発生して、レーザ素子68は熱くなるが、各レーザモジュール60に設けられた冷却機構としての冷却部70に冷媒を流すことにより、当該熱は除去されて、各レーザ素子68を効率的に冷却することができる。

[0053] 尚、ここでは、表面側加熱手段32と裏面側加熱手段34との両方を設けているが、前述したように、表面側加熱手段32を設けなくて、裏面側加熱手段34のみを設けてもよい。この場合には、両加熱手段32、34を設けた場合よりも昇温速度は少し低下するが、この場合にも、ウエハWの全体をその面内温度の均一性が高い状態で迅速に加熱することができる。

[0054] このように、被処理体、例えば半導体ウエハW、に対してアニール処理を施すアニール装置において、複数のレーザ素子68を有する裏面側加熱手段34を設けて、レーザ光を加熱光L1として、表面状態が均一な被処理体の裏面から被処理体に照射することによって、当該被処理体を短時間で且つ面内温度が均一な状態で加熱することができる。また、レーザ素子によるエネルギー変換効率が高いことにより、省エネルギーに寄与することもできる。

[0055] <裏面側加熱手段の変形例>

上記裏面側加熱手段の説明では、各レーザモジュール60は1つのレーザ素子を有していたが、ここでは上記各レーザ素子68は、複数個ずつ、具体的には3個ずつグループ化されてレーザモジュール160に搭載されてユニット化されており、このレーザモジュール160は密集させて複数個平面的

に組み合わせて設置されている。上記レーザモジュール１６０は、図１４にも示すように正多角形、すなわちここでは正六角形状の筒状になされた筐体１９４を有しており、この筐体１９４内に上記３個のレーザ素子６８を互いに平行になるように設置して、筐体１９４の上端面側から加熱光としてレーザ光を出力し得るようになっている。

[0056] 図１２に示す場合には、全部で３７個の正六角形状のレーザモジュール１６０が、各辺が隣り合わせになるようにして略同心円状に密集させて配置されている。従って、レーザ素子６８は、１１１個設けられている。また図１２には、各レーザ素子６８から出力される加熱光であるレーザ光が形成する楕円形状の照射エリア７４が記載されている。

[0057] ここでは図１４にも示すように、上記３つのレーザ素子６８は、一対の対向角を結ぶ線分に対してその長さ方向が直交するようにして並列的に配置して搭載されている。上記３つのレーザ素子６８は、電気的には内部で互いに直列的に接続されており、このレーザモジュール１６０からは２本の給電ライン７６が延びて、給電を行うようになっている。

[0058] また、このレーザモジュール１６０内には、レーザ素子６８からの発熱を冷却するため冷却部７０が一体化して設けられており、この冷却部７０には、冷媒を流通させるための可撓性のある冷媒流入管２０２及び冷媒流出管２０４がそれぞれ設けられている（図１４参照）。これらの冷媒流入管２０２及び冷媒流出管２０４は、隣り合うレーザモジュール１６０間で互いに直列に接続されており、全てのレーザモジュール１６０の冷却部７０に亘って冷媒を直列的に流すようになっている。

[0059] そして、最上流側の冷却部７０には冷媒導入管８０が接続されると共に、最下流側の冷却部７０には冷媒排出管８２が接続されており（図１参照）、これに冷媒を流すことによってレーザモジュール１６０を冷却するようになっている。この冷媒としては、水やフッリナートやガルデン（商品名）を用いることができる。

[0060] ここで先に図１２を参照して説明したように、正六角形状のレーザモジュ

ール160は、半導体ウエハWの裏面全面をカバーできる大きさの領域に同心円状に密集させて配置されている。各レーザモジュール160は、レーザ取付ケーシング61に対してそれぞれ個別に引き抜いて着脱可能になされており、その実装角度の調整が個別にできるようになっている。

[0061] この場合、加熱光L1の短軸方向への広がり角度は、図15Aに示すように ± 10 度以下であり、長軸方向への広がり角度は図15Bに示すように $\pm 15 \sim \pm 25$ 度程度である。従って、ここではウエハWの裏面に対して面内均一に加熱するために図12に示すように上記楕円形の照射エリア74の長軸方向がウエハWの周方向にできるだけ沿うように設定されている。

[0062] 具体的には、前述したように、ここでは各レーザモジュール160は同心円状に配置され、ここでは同心円状に4つのゾーンに区画されている。最内周のゾーンは、中心部に位置する1つのレーザモジュール160で構成され、その外側の中内周のゾーンは6個のレーザモジュール160で構成され、その外側の外内周のゾーンは12個のレーザモジュール160で構成され、更にその外側の最外周のゾーンは18個のレーザモジュール160で構成される。

[0063] そして、各レーザモジュール160は、実装角度（回転位置）の調整ができるように着脱が可能になされており、搭載されているレーザ素子68により形成される楕円形状の照射エリア74の長軸ができるだけウエハWの周方向に沿って揃うように実装角度（回転位置）が調整されて装着されている。この場合、レーザモジュール160の筐体194は正六角形なので、60度単位で実装角度を調整することができる。

[0064] 従って、上記4つの各ゾーンのレーザモジュール160には、その照射エリア74の長軸方向がウエハWの周方向とは完全には一致しないように取り付けざるを得ないレーザモジュール160が、全体的に、或いは一部において生じるが、ウエハWの周方向（接線方向）と上記長軸方向とがなす角度ができるだけ小さくなるようにレーザモジュール160の実装角度を、例えば60度ずつ回転させて位置調整して装着する。尚、最内周ゾーンのレーザモ

ジュール 160 に対しては、その特性上、実装角度は限定されず、どの方向を向いてもその外側の中内周ゾーンに対する照射エリアの広がりと同じである。

[0065] 図 13 に直径が 300 mm のウエハ W の半径方向と各ゾーンからの光出力及び各ゾーンの総合光出力との関係が示されている。図 13 のグラフ中において、曲線 A1 が最内周ゾーンからの光出力を示し、曲線 A2 が中内周ゾーンからの光出力を示し、曲線 A3 が外内周ゾーンからの光出力を示し、曲線 A4 が最外周ゾーンからの光出力を示し、曲線 A0 が上記曲線 A1 ~ A4 を加えた総合光出力を示している。

[0066] このグラフから明らかなように、各ゾーン毎に光出力はピークが急峻な状態で表われており、各ゾーン毎の加熱光の指向性が高くなって隣接ゾーンへの加熱光の広がりが非常に少なくなっている。従って、曲線 A0 に示すように、総合光出力は半導体ウエハの中心から半径方向の全ての領域に亘ってそれ程変化のない略一定の光出力が得られており、加熱光の照射量の面内均一性を高く設定できるようになっているのが判る。

[0067] ここで上記レーザ素子 68 の発光波長は、紫外光～近赤外光の範囲、例えば 360 ~ 1000 nm の範囲内の特定の波長、特に、シリコン基板のウエハ W に体する吸収率が高い 800 ~ 970 nm の範囲内の特定の波長（単色光）を用いるのがよい。上記レーザ素子 68 としては、例えば GaAs を用いた半導体レーザ素子を用いることができる。ここで図 12 に示すレーザモジュール 160 の配列は単に一例を示したに過ぎず、これに限定されない。

[0068] しかも、3 つのレーザ素子 68 を搭載したレーザモジュール 160 は、4 つの各ゾーン毎に個別に電力が制御され、指向性の高い楕円形状の照射エリア 74 の長軸方向がウエハ W の円周方向に沿うように照射されるので、照射エリア 74 のウエハ W の半径方向への広がりが非常に少なくなつて、図 13 に示すように各ゾーン毎に温度制御性が向上し、この結果、図 13 の曲線 A0 に示す総合光出力のように、ウエハ W の中心から周辺部までの照射量を比較的に均一化させることができるので、ウエハ W の面内温度の均一性を向上

させることができる。

[0069] また上述のように、楕円形状の照射エリア 7 4 の長軸方向がウエハ W の円周方向に沿うように照射されるので、ウエハ W の外側への光漏れが少なくなり、その分、光エネルギーを効率的に使用することができる。

[0070] また、長期間の使用等によりウエハ面内の温度分布が変化したり、或いは異なる熱処理を行うために温度分布を微調整したりする場合には、該当部分に対応するレーザモジュール 1 6 0 をレーザ取付ケーシング 6 1 より個別に抜き出して、これを例えば 6 0 度回転して再度取り付けるようにして実装角度を変えることによって加熱光 L 1 の照射量の分布が最適になるように調整することができる。

[0071] <レーザモジュールの配列状態の変形実施形態>

次に裏面側加熱手段のレーザモジュールの配列状態の変形実施形態について説明する。先に説明した実施形態では、図 1 2 に示したように、楕円形状の照射エリア 7 4 の長軸方向ができるだけウエハ W の周方向に沿うようにして照射がなされるように各レーザモジュール 1 6 0 の実装角度を調整したが、これに限定されず、照射エリア 7 4 の長軸方向がウエハの半径方向に沿うようにして照射がなされるように配置してもよい。

[0072] 図 1 6 は裏面側裏面側加熱手段のレーザモジュールの配列状態の変形実施形態の一例を示す平面図、図 1 7 は図 1 6 に示す裏面側加熱手段から出力される加熱光（光出力）の分布を示すグラフである。上述したように、ここでは、裏面側加熱手段 3 4 の各レーザモジュール 1 6 0 のレーザ素子 6 8 により形成される楕円形状の照射エリア 7 4 の長軸ができるだけウエハ W の半径方向に沿って揃うように実装角度（回転位置）が調整されている。この場合にも、4 つの各ゾーンのレーザモジュール 1 6 0 には、その照射エリア 7 4 の長軸方向がウエハ W の半径方向とは完全には一致しないように取り付けざるを得ないレーザモジュール 1 6 0 が一部において生ずる。

[0073] この時の加裏面側加熱手段 3 4 の各ゾーンからの光出力の分布は図 1 7 に示されており、曲線 B 1 が最内周ゾーンからの光出力を示し、曲線 B 2 が中

内周ゾーンからの光出力を示し、曲線B 3が外内周ゾーンからの光出力を示し、曲線B 4が最外周ゾーンからの光出力を示し、曲線B 0が上記曲線B 1～B 4を加えた総合光出力を示している。

[0074] このグラフから明らかなように、図1 3に示す場合と比較して各ゾーン毎に光出力はピークがなだらかな状態で表われており、各ゾーン毎の加熱光の指向性が低くなって隣接ゾーンへの加熱光の広がりがかなり発生している。従って、曲線B 0に示すように、総合光出力は半導体ウエハの中心部がかなり大きくて半径方向へ行くに従ってなだらかに小さくなっている。従って、この場合には、先に図1 2及び図1 3を参照して説明した場合よりは、加熱光の照射量の面内均一性は劣化するが、それでも、加熱光の照射量の面内均一性をある程度は高くすることができることが判る。

[0075] このような図1 2及び図1 6における各レーザモジュール1 6 0の実装角度は両極端の場合をそれぞれ示したものであってそれぞれ単に一例を示したに過ぎず、これらの実装角度に限定されないのは勿論である。

[0076] <レーザモジュールの変形実施形態>

次にレーザモジュール1 6 0の変形実施形態について説明する。図1 4に示す先のレーザモジュール1 6 0にあっては、これに搭載される3つのレーザ素子6 8は、一对の対向角を結ぶ線分に対してその長さ方向が直交するようにして並列的に配置したが、これに限定されず、3つのレーザ素子6 8を、一对の対向辺と直交する線分に対してその長さ方向が直交するようにしてもよい。

[0077] 図1 8はこのようなレーザモジュールの変形実施形態の一例を示す拡大斜視図である。図1 8に示すように、ここではレーザモジュール1 6 0に搭載される3つのレーザ素子6 8は、一对の対向辺と直交する線分に対してその長さ方向が直交するように配置して搭載されている。このように形成したレーザモジュール1 6 0を図1 2又は図1 6に示すような状態で配列させるようにしてもよい。

[0078] 更には、図1 4に示すようなレーザモジュール1 6 0と図1 8に示すよう

なレーザモジュール１６０とを混在させて組み合わせて設けるようにしてもよい。例えば、図１２において、中内周ゾーンには全て図１４に示すレーザモジュール１６０を適用し、外内周ゾーン及び最外周ゾーンの内の照射エリア７４の長軸方向がウエハＷの周方向とは大きく異なる部分に図１８に示すレーザモジュール１６０をそれぞれ適用するようにしてもよい。これによれば、ウエハＷの半径方向へ広がる加熱光の量を更に少なくすることができるので、その分、光エネルギーを更に効率的に利用することができる。

[0079] 尚、以上の各実施形態では、１つのレーザモジュール１６０に搭載したレーザ素子６８の数が３個の場合を例にとって説明したが、この数に限定されないのは勿論である。また、ここではレーザモジュール１６０の形状は正六角形としたが、これに限定されず、正三角形、正五角形、正八角形等の正多角形にしてもよい。

[0080] <ヒートパイプの変形例>

上記実施形態では、素子取付ヘッド３６に設けられたヒートパイプ５２は、図３に示すように、冷媒通路５０の外側に完全に埋め込まれるようにして設けられているが、これに限定されない。例えば、図７に示すように構成してもよい。図７は、素子取付ヘッドの上側冷却機構のうちの１つの冷媒通路を示す拡大斜視図である。

[0081] この場合、コ字状に成形されたヒートパイプ５２の上端部が、冷媒通路５０内の上部に露出されている。そして、このようなヒートパイプ５２が、冷媒通路５０の流れ方向に沿って、略等ピッチで複数（多数）個配列されている。この態様によれば、ヒートパイプ５２の上端部が冷媒と直接的に接するので、冷却のための熱交換率を更に良好にでき、その分、冷却効率を高めることができる。

[0082] <変形実施形態>

次に、本発明に係るアニール装置の変形実施形態について説明する。先の実施形態では、半導体ウエハＷの裏面に照射される照射エリア７４の位置が固定的になっているため、ウエハＷの面内方向に僅かに温度分布が生ずる恐

れがあると言える。そこで、この変形実施形態では、上記照射エリア 74 が相対的に走査（移動）できるように構成され、面内方向におけるウエハ温度の均一性を更に向上させるようになっている。図 8 は、このようなアニール装置の変形実施形態の、支持手段を含む処理容器の下部を示す部分構成図である。図 8 では、図 1 に示す構成部分と同一構成部分については同一参照符号を付して、その説明は省略する。

[0083] 照射エリア 74 を相対的に走査（移動）させるために、ここでは、半導体ウエハ W を支持する支持手段 10 が回転機構 89 に取り付けられ、回転されるようになっている。すなわち、ここでは、ウエハ W を支持する支持手段 10 が、回転機構 89 の一部を構成する回転浮上体 90 と一体的に構成されている。支持手段 10 の各昇降アーム 14 の基端部が、リング状の部材 92 に取り付け固定されている。一方、上下方向に延びる複数の短冊状の支柱 93 が、仮想筒体の周方向に沿って等ピッチで配置され、これらの上端側が筒体状の浮上側上部強磁性体 94 に連結されており、当該浮上側上部強磁性体 94 に更にリング状の部材 92 が接続されている。

[0084] また、各支柱 93 の下端側は、円形リング状の浮上側下部強磁性体 96 に連結されている。当該円形リング状の浮上側下部強磁性体 96 は、水平方向にフランジ状に延びている。このような構成により、後述するように、回転浮上体 90 を浮上させた状態で上下動させることができ、これによってウエハ W を支持する支持ピン 12 を昇降できるようになっている。

[0085] そして、処理容器 4 の下部の底板 4C には、回転浮上体 90 を収容し当該回転浮上体 90 を上下方向に所定のストローク量だけ昇降できる大きさの空間が内部に形成された 2 重円筒体構造の浮上用収容部 98 が、連結されている。浮上用収容部 98 の下部領域は、浮上側下部強磁性体 96 を収容し当該浮上側下部強磁性体 96 を上下方向に所定のストローク量だけ昇降できる大きさの水平収容部 100 となっている。

[0086] そして、水平収容部 100 を区画する上側区画壁 100A の上面側に、その周方向に沿って、浮上用電磁石アセンブリ 102 が所定のピッチで複数

個配列されている。また、上側区画壁 100A の下面側に、強磁性体 104 が取り付けられている。また、水平収容部 100 を区画する下側区画壁 100B の内面側（上面側）には、強磁性体 104 との間で浮上側下部強磁性体 96 を間に挟むように、垂直位置センサ 106 が取り付けられている。

[0087] これにより、垂直位置センサ 106 によって浮上側下部強磁性体 96 の高さ位置を検出しながら、浮上用電磁石アセンブリ 102 の電磁力を調整することによって、支持手段 10 を任意の高さに設定することができるようになっている。この場合、垂直位置センサ 106 は周方向に沿って複数個設けられて、回転浮上体 90 の傾きを防止するようになっている。

[0088] ここでは、回転浮上体 90 が底板側に接触した状態から例えば 2 mm 上昇した位置を定位置として、回転制御が行われるようになっている。そして、この定位置より例えば 10 mm 上昇した位置が、ウエハ W の受け渡しを行う移載位置とされている。

[0089] また、浮上用収容部 98 の外周壁 98A の外側に、回転用電磁石アセンブリ 108 が、その周方向に沿って所定のピッチで複数個配列されている。また、この外周壁 98A の内側に、強磁性体 110 が取り付けられている。また、浮上用収容部 98 の内周壁 98B の外周側には、強磁性体 110 との間で浮上側上部強磁性体 94 を間に挟むように、水平位置センサ 112 が取り付けられている。これにより、水平位置センサ 112 によって浮上側上部強磁性体 94 の水平位置を検出しながら、回転用電磁石アセンブリ 108 に回転磁界を加えることにより、回転浮上体 90 を定位置に位置させつつ回転させることができるようになっている。

[0090] 以上のように、回転浮上体 90 上にウエハ W を支持させた状態で、これを回転させることができるので、図 6 に示すようなウエハ W の裏面に照射される楕円形状の照射エリア 74 が、ウエハ W の周方向へ相対的に回転移動することができる。これにより、ウエハ W の面内温度の均一性を一層向上させることができる。

[0091] また、このようにウエハ W を回転させることにより、処理容器 4 の内壁面

の周方向における熱的コンディションの不均一性をもキャンセルすることができる。この点からも、ウエハWの面内温度の均一性を更に向上させることができる。上記の回転機構89の構成は、単に一例を示したに過ぎず、これに限定されるものではない。例えば、特開平2002-280318号公報等の開示された回転機構が用いられてもよい。更には、ここでは半導体ウエハW側を回転させるようにしたが、これに替えて、裏面側加熱手段34側を回転させるようにしてもよい。

[0092] <冷却機構の変形例>

前述した上側冷却機構48にあっては、その冷媒通路50に冷媒を流すことによってLEDモジュール44の上面側から熱を奪って、これを冷却するようにしている。そして、冷媒通路50の断面矩形状の流路断面積は、冷媒通路50の流れ方向に沿って一定となるように設定されている。このため、冷媒入口に近い部分では、冷媒が冷却対象物であるLEDモジュール44側から熱を十分に奪って冷却が効率的に行われるが、冷媒が下流側に流下して行くに従って冷媒の温度が上昇するので冷却効率が少しずつ低下して行くことが考えられる。

[0093] すなわち、冷媒通路50の流れ方向に沿って冷却効率が変化することになる。このため、冷却対象物であるLEDモジュール44の配列位置に応じて温度分布の偏りが生じて、温度が不均一になるという危惧がある。すなわち、冷媒通路50の上流側に配列されたLEDモジュール44は効率的に冷却されるのに対して、下流側に配置されたLEDモジュール44は効率的に冷却されずに、LEDモジュール44間で温度分布の不均一が生じる、という危惧がある。

[0094] そこで、この冷却機構の変形例では、上記危惧を取り除くために、冷媒通路50の冷媒入口51から冷媒出口53に向けてその流路断面積が順次小さくなるように設定されている。これにより、冷媒通路50の流れ方向に沿って冷却効率が一定になるようにして、冷却対象物の全体の温度を一定に維持し、温度の不均一が生じないようにしている。

[0095] ここで、冷媒通路50の流れ方向に沿って冷却効率を一定にして冷却対象物の温度を一定にするための原理について説明する。図9は、冷媒通路の長さ方向における微小区間の冷媒の温度変化を求めるための模式図である。ここでは、本発明の理解を容易にするために、冷媒通路の幅を一定（単位長＝1m）とし、冷媒通路の高さを” $f(x)$ ”なる関数として表してシミュレーションを行った。図9中において、横軸” x ”は、冷媒入口51から冷媒出口53に向かう距離を示し、縦軸” y ”は冷媒通路50の高さ” $f(x)$ ”を示している。

[0096] そして、冷媒が流量” Q ”で冷媒入口51より冷媒出口53に向けて流れているものとする。そして、距離” x ”の位置における冷媒の温度を” $T(x)$ ”として表している。ここで、 x 軸に沿った冷媒通路50の底面の温度が T_0 で一定となるような条件を満たせば、冷媒通路50の流れ方向に沿って冷却対象物の温度を一定に維持できることになる。

[0097] まず、冷媒の熱伝達率 h は、以下の式1のように表される。

$$h = 0.664 (\rho^{1/2}) (\mu^{-1/6}) (c_p^{1/3}) (k^{2/3}) (L^{-1/2}) (u^{1/2}) \dots (1)$$

ここで、各記号は以下の通りである。

ρ : 冷媒の密度 (kg/m^3)

μ : 冷媒の粘度 ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{sec}$)

c_p : 冷媒の比熱 ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)

k : 冷媒熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

L : 冷却部長さ (m)

u : 冷媒の速度 (m/sec)

温度変化がさほど無いと考えれば、冷媒の速度以外は定数 A と置くことができ、冷媒の速度のみの関数とみなせることになる。すなわち、下記のように定数 A を定義する。

$$0.664 (\rho^{1/2}) (\mu^{-1/6}) (c_p^{1/3}) (k^{2/3}) (L^{-1/2}) = A \text{ (定数)}$$

[0098] そして、図 9 中において、冷媒が Δx だけ進んだ時に冷媒に流入する熱量を” W” とすると、以下の式 2 のように表される。

$$W = \{T(x + \Delta x) - T(x)\} \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta x \cdot f(x) \\ = A \cdot \Delta x \cdot (T_o - T(x)) \cdot \Delta t \sqrt{u(x)} \dots\dots (2)$$

c_p : 冷媒の比熱

ρ : 冷媒の密度

$u(x)$: 位置 x の時の冷媒流速

Δt : 冷媒が Δx 進むのに要した時間

A : 熱伝達率を求める際の定数

ここで、 $\Delta t / \Delta x = 1 / u(x)$ 、 $u(x) = Q / f(x)$ として上記式をまとめると、以下の式 3 のようになる。

$$c_p \cdot \rho \cdot (T(x + \Delta x) - T(x)) / \Delta x = A \cdot (T_o - T(x)) \\) / \sqrt{(Q \cdot f(x))} \dots\dots (3)$$

上記式 3 を整理すると、以下の式 4 のようになる。

$$f(x) = A^2 \cdot (T_o - T(x))^2 / (Q \cdot c_p^2 \cdot \rho^2 \cdot (T'(x)) \\)^2) \dots\dots (4)$$

なお、” $T'(x) = (T(x + \Delta x) - T(x)) / \Delta x$ ” である。

[0099] このように、冷媒通路 50 の高さ関数 $f(x)$ は、冷媒の温度変化 $T(x)$ に依存する形になる。換言すれば、温度変化を決定すれば、冷媒通路 50 の高さも自ずと決定されることになる。

[0100] ここで、具体的な数値例を用いて、上記式 4 に代入すると、式 5 のようになる。具体的な数値例は、以下の通りである。

冷媒流量 Q : 2 リットル / min (= $2 \times 10^{-3} / 60 \text{ m}^3 / \text{sec}$)

目標温度 T_o : 100°C

冷媒通路の幅 : 10 mm

冷媒通路の長さ : 5 m

媒体入口温度 : -50°C 、媒体出口温度 : -40°C

(温度変化は一次的に変化すると仮定すると、” $T(x) = 2 \cdot x - 50$

”となる。)

冷媒の比熱 c_p : $1000 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K}$

冷媒の密度 ρ : $1800 \text{ kg} / \text{m}^3$

定数 A : 230

ここで、単位及び冷媒通路の幅を考慮して、冷媒流量 Q は単位 $[\text{m}^3 / \text{sec}]$ に換算することとし、また、前述のシミュレーションでは冷媒通路の幅を単位長 1 m ($= 1000 \text{ mm}$) に設定したので、これを 10 mm の冷媒通路の幅に換算するために、 $f(x)$ を $1/100$ 倍する。

$$f(x) = 230^2 \cdot [100 - (2 \cdot x - 50)]^2 / [(2 \times 10^{-3} / 60) \times 1000^2 \times 1800^2 \times 2^2 \times 100] \dots\dots (5)$$

ここで、上記式 5 をグラフに表すと、図 10 のようになる。すなわち、冷媒通路 50 の冷媒入口 51 では、冷媒通路 50 の高さを 27.6 mm 程度に設定し、冷媒入口 51 からの距離に従って冷媒通路 50 の高さを順次低くして流路断面積を小さくし、冷媒出口 53 では冷媒通路 50 の高さを 24 mm 程度に設定する、という態様に対応する。

[0101] この態様に対応する冷媒通路 50 の断面形状の高さ変化の一例が、図 11 に示される。この場合、冷媒通路 50 の高さが、下流側に行くに従って順次低くなっている。この場合、冷媒の流速は、下流に行く程次第に速くなっているのは勿論である。

[0102] このように、冷媒通路 50 の高さを下流側に行くに従って順次低くなるように設定することにより（冷媒通路 50 の幅が一定の場合）、冷媒通路 50 の下面の温度を 100°C ($= T_o$) に一定に維持できることが判る。

[0103] 上記具体例では、冷媒通路 50 の幅を一定にした場合について説明したが、冷媒通路 50 の高さを一定にした場合には、冷媒通路 50 の幅を順次小さくして流路断面積を次第に狭くすることができる。尚、上記数値例は単に一例を示したに過ぎず、これに限定されないのは勿論である。

[0104] このように、冷媒入口 51 から冷媒出口 53 に向けて冷媒通路 50 の流路断面積が順次小さくなるように設定することにより、冷媒が冷却対象物、例え

ばLEDモジュール44、から奪う冷媒通路50の単位長さ当たりの熱量を一定にできる。この結果、冷媒通路50の長さ方向に沿って冷却対象物の温度を均一化させることが可能となる。

[0105] 尚、レーザ素子68として、GaAsを用いた半導体レーザを例にとって説明したが、これに限定されず、YAGレーザ素子、ガーネットレーザ素子等の他の固体レーザ素子を用いることができるのは勿論である。さらに、気体レーザ素子も用いることができる。また、ここでは、表面側加熱手段32としてLED素子46を用いた場合を例にとって説明したが、これに限定されず、SLD (Super Luminescent Diode) 素子を用いることもできる。

[0106] また、ここでは、被処理体として半導体ウエハを例にとって説明したが、この半導体ウエハには、シリコン基板やGaAs、SiC、GaNなどの化合物半導体基板も含まれる。更には、これらの基板に限定されず、液晶表示装置に用いられるガラス基板やセラミック基板等にも本発明を適用することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 被処理体に対してアニール処理を施すアニール装置において、
前記被処理体が収容される処理容器と、
前記処理容器内で前記被処理体を支持する支持手段と、
前記処理容器内へ処理ガスを供給するガス供給手段と、
前記処理容器内の雰囲気気を排気する排気手段と、
前記被処理体の裏面全体に向けて加熱光を照射する複数のレーザ素子を有する裏面側加熱手段と、
を備えたことを特徴とするアニール装置。
- [請求項2] 前記複数のレーザ素子は、前記被処理体の少なくとも裏面全体をカバーできる大きさの領域に亘って配置されている
ことを特徴とする請求項1に記載のアニール装置。
- [請求項3] 前記レーザ素子は、半導体レーザ素子、固体レーザ素子または気体レーザ素子よりなる
ことを特徴とする請求項1または2に記載のアニール装置。
- [請求項4] 前記レーザ素子から照射される前記加熱光は、シリコン基板を選択的に加熱することができる波長帯域を有する
ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載のアニール装置。
- [請求項5] 前記支持手段と前記裏面側加熱手段の内のいずれか一方は、回転可能に支持されている
ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載のアニール装置。
- [請求項6] 前記裏面側加熱手段に対向して配置され、前記被処理体の表面に向けて加熱光を照射する表面側加熱手段
を更に備えたことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のアニール装置。
- [請求項7] 前記表面側加熱手段は、前記被処理体の少なくとも表面全体をカバー

一できる大きさの領域に亘って配置された複数のLED (Light Emitting Diode) 素子またはSLD (Super Luminescent Diode) 素子を有することを特徴とする請求項6に記載のアニール装置。

[請求項8] 前記裏面側加熱手段と前記表面側加熱手段の内の少なくともいずれか一方には、冷媒によって冷却を行う冷却機構が設けられていることを特徴とする請求項6または7に記載のアニール装置。

[請求項9] 前記冷却機構は、前記冷媒を流すための冷媒通路を有しており、前記冷媒通路は、冷媒入口から冷媒出口に向けてその流路断面積が順次小さくなるように設定されていることを特徴とする請求項8に記載のアニール装置。

[請求項10] 前記冷媒通路の幅は一定であり、前記冷媒通路の高さは、前記冷媒の流量、前記冷媒の比熱、前記冷媒の密度及び前記冷媒入口からの距離に基づいて定められることを特徴とする請求項9記載のアニール装置。

[請求項11] 前記冷媒通路の高さ $f(x)$ が、次の式

$$f(x) = \frac{A^2 \cdot (T_0 - T(x))^2}{(Q \cdot c_p \cdot \rho \cdot (T'(x))^2)}$$

A : 熱伝達率を求める際の定数

Q : 冷媒の流量

c_p : 冷媒の比熱

ρ : 冷媒の密度

x : 冷媒入口からの距離

T(x) : 距離 x の時の冷媒の温度 (関数)

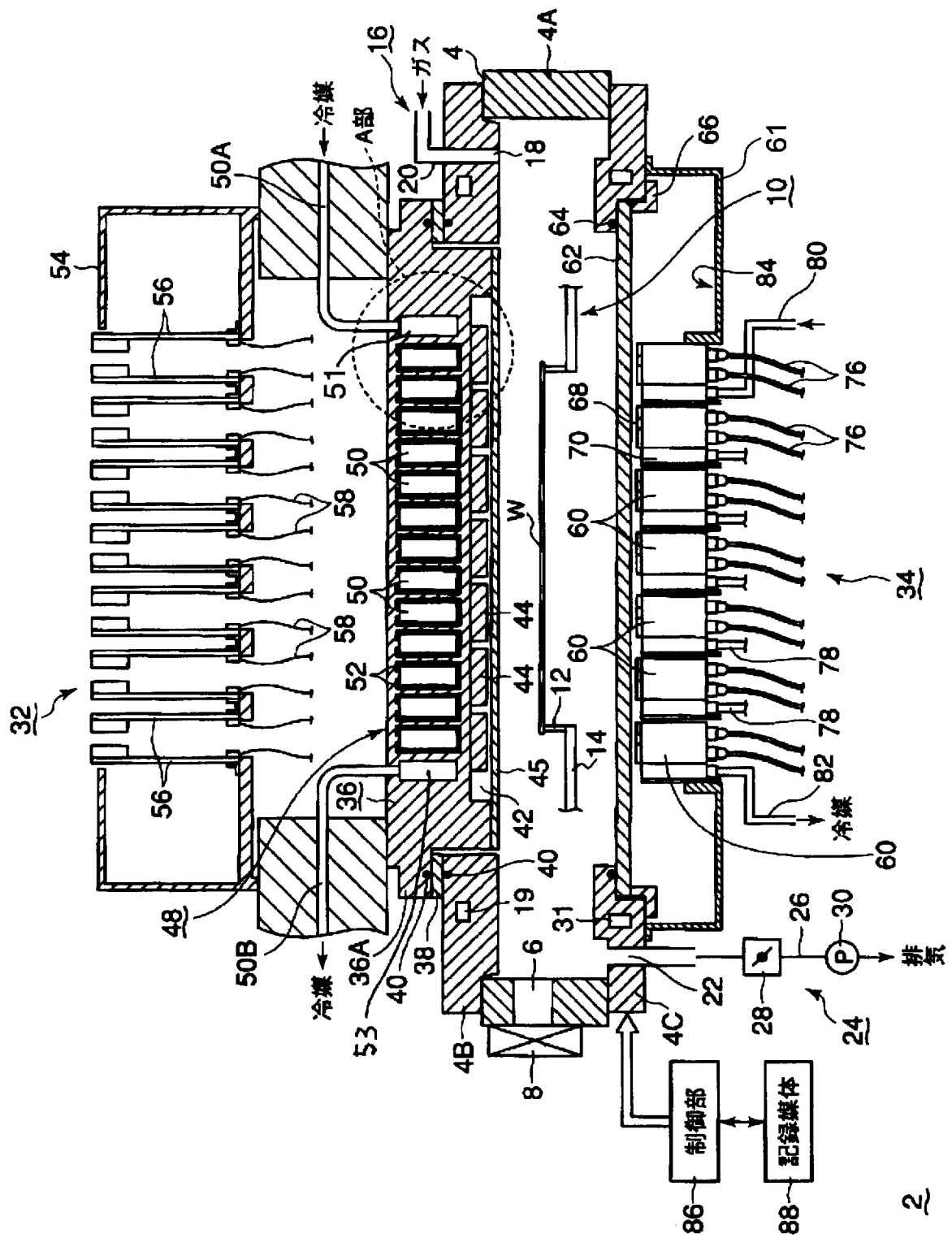
T'(x) : 関数 T(x) の微分

T₀ : 目標とする温度

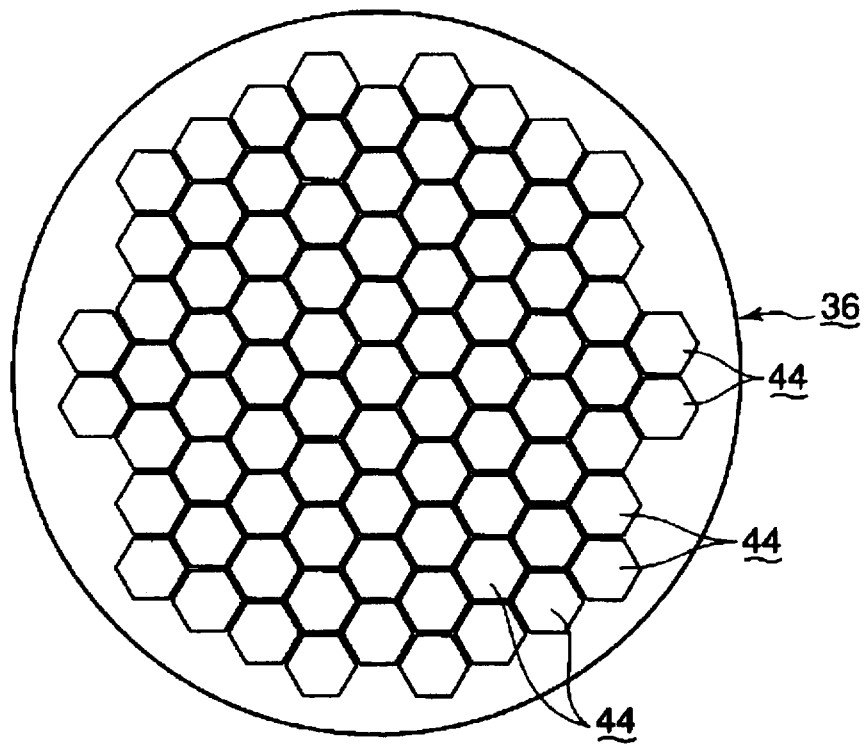
で与えられることを特徴とする請求項10記載のアニール装置。

- [請求項12] 前記冷却機構には、冷却を促進させる複数のヒートパイプが設けられている
ことを特徴とする請求項 8 乃至 11 のいずれか一項に記載のアニール装置。
- [請求項13] 前記裏面側加熱手段には、反射面が形成されている
ことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載のアニール装置。
- [請求項14] 前記各レーザ素子から出力される加熱光は、楕円形状の照射エリアを有しており、
前記各レーザ素子は、前記楕円形状の照射エリアの長軸方向が前記被処理体の周方向に沿うように配置されている
ことを特徴とする請求項 1 記載のアニール装置。
- [請求項15] 前記複数のレーザ素子は、同心円状に複数のゾーンにグループ化されており、各グループ毎に制御可能になされている
ことを特徴とする請求項 14 記載のアニール装置。
- [請求項16] 前記レーザ素子は、複数個ずつまとめて複数のレーザモジュールに搭載されてユニット化されている
ことを特徴とする請求項 14 または 15 に記載のアニール装置。
- [請求項17] 前記レーザモジュールは、正多角形状に形成されている
ことを特徴とする請求項 16 記載のアニール装置。
- [請求項18] 前記レーザモジュールは、位置調整ができるように着脱可能に取り付けられている
ことを特徴とする請求項 16 または 17 に記載のアニール装置。

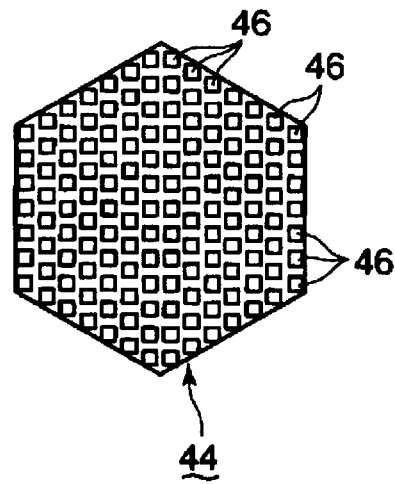
[図1]



[図2]

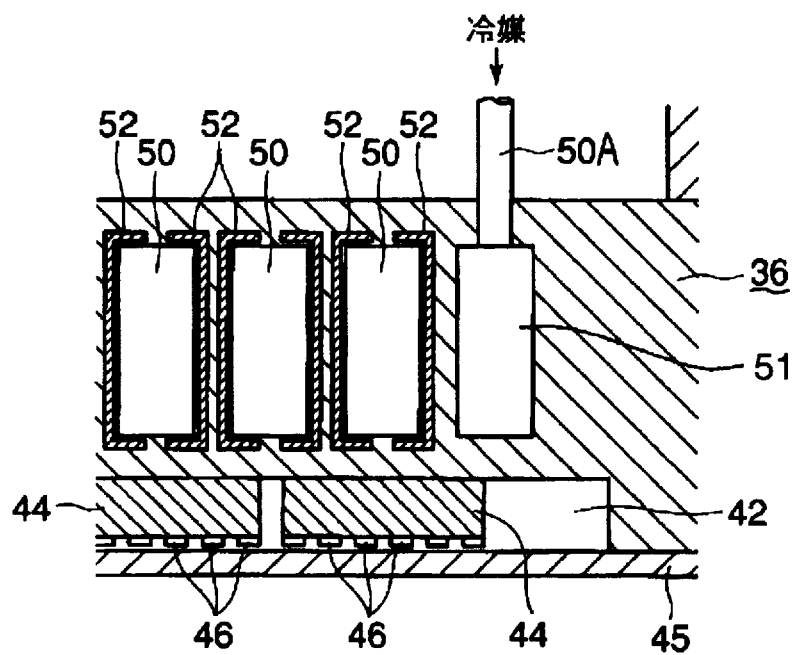


A

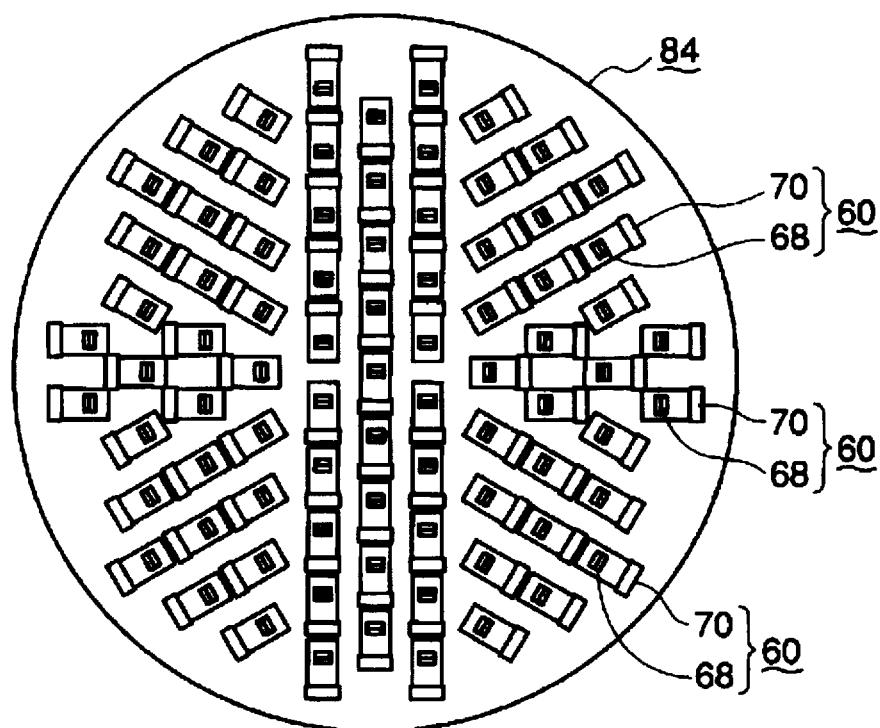


B

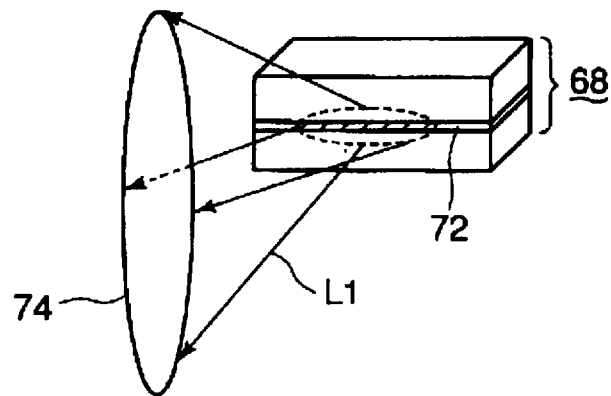
[図3]



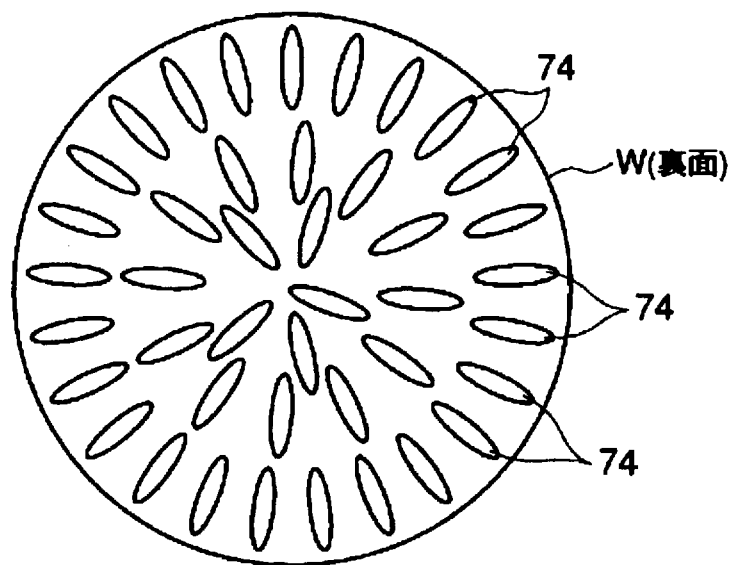
[図4]



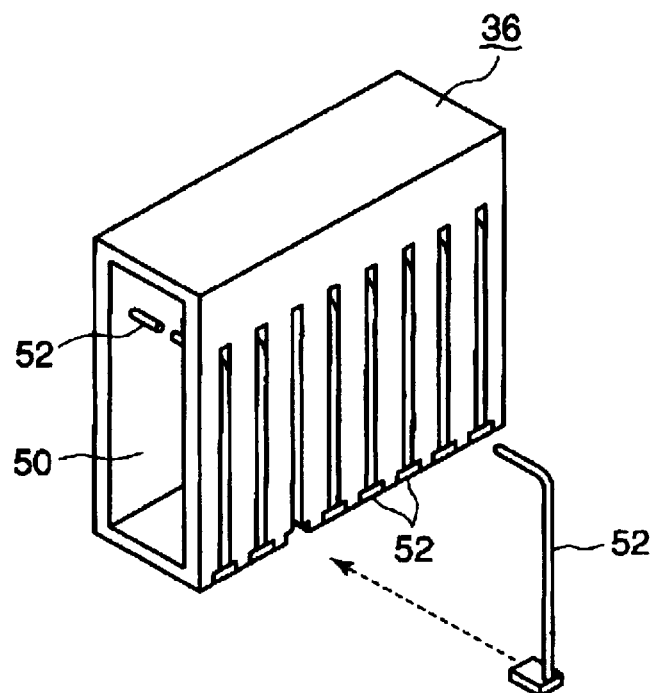
[図5]



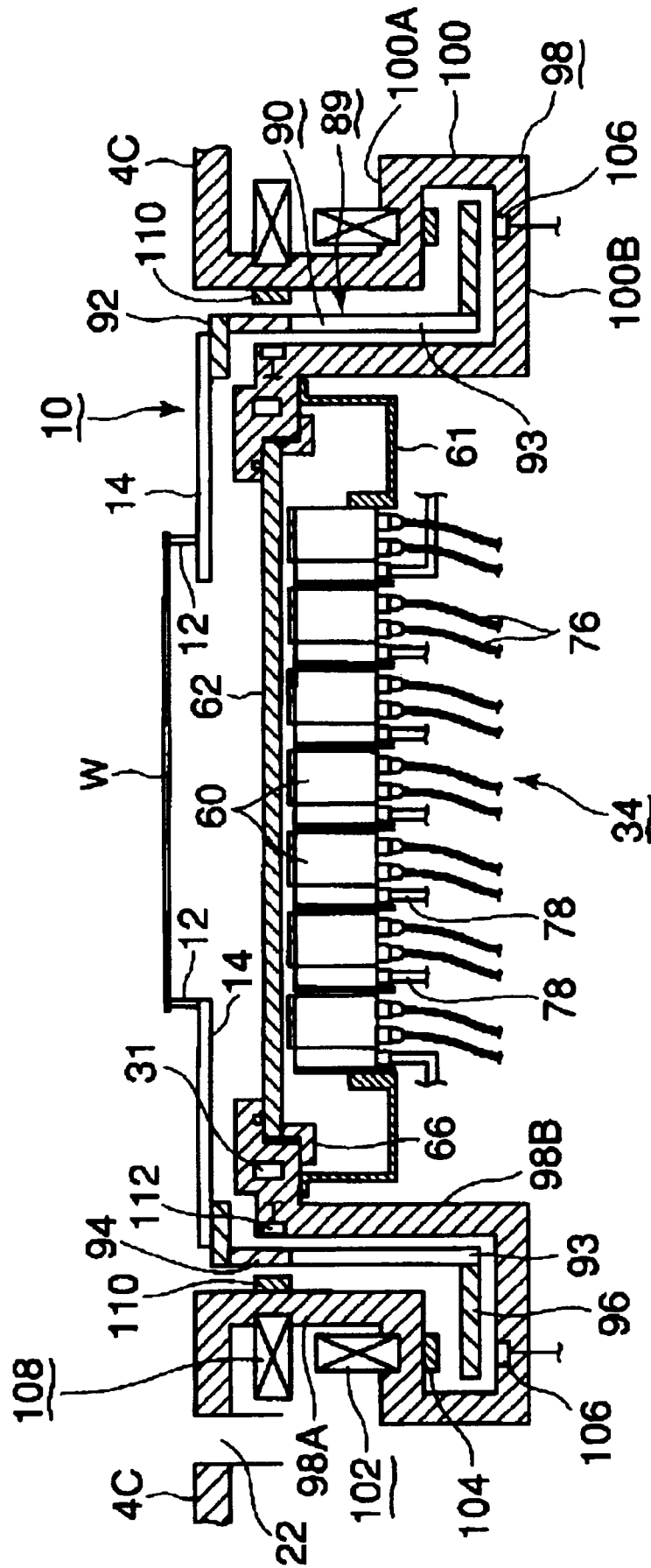
[図6]



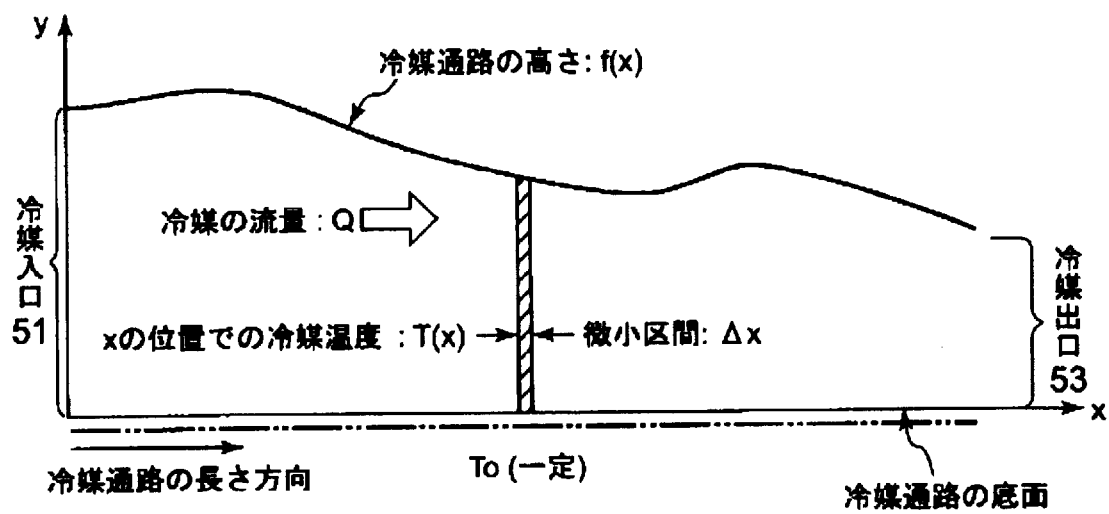
[図7]



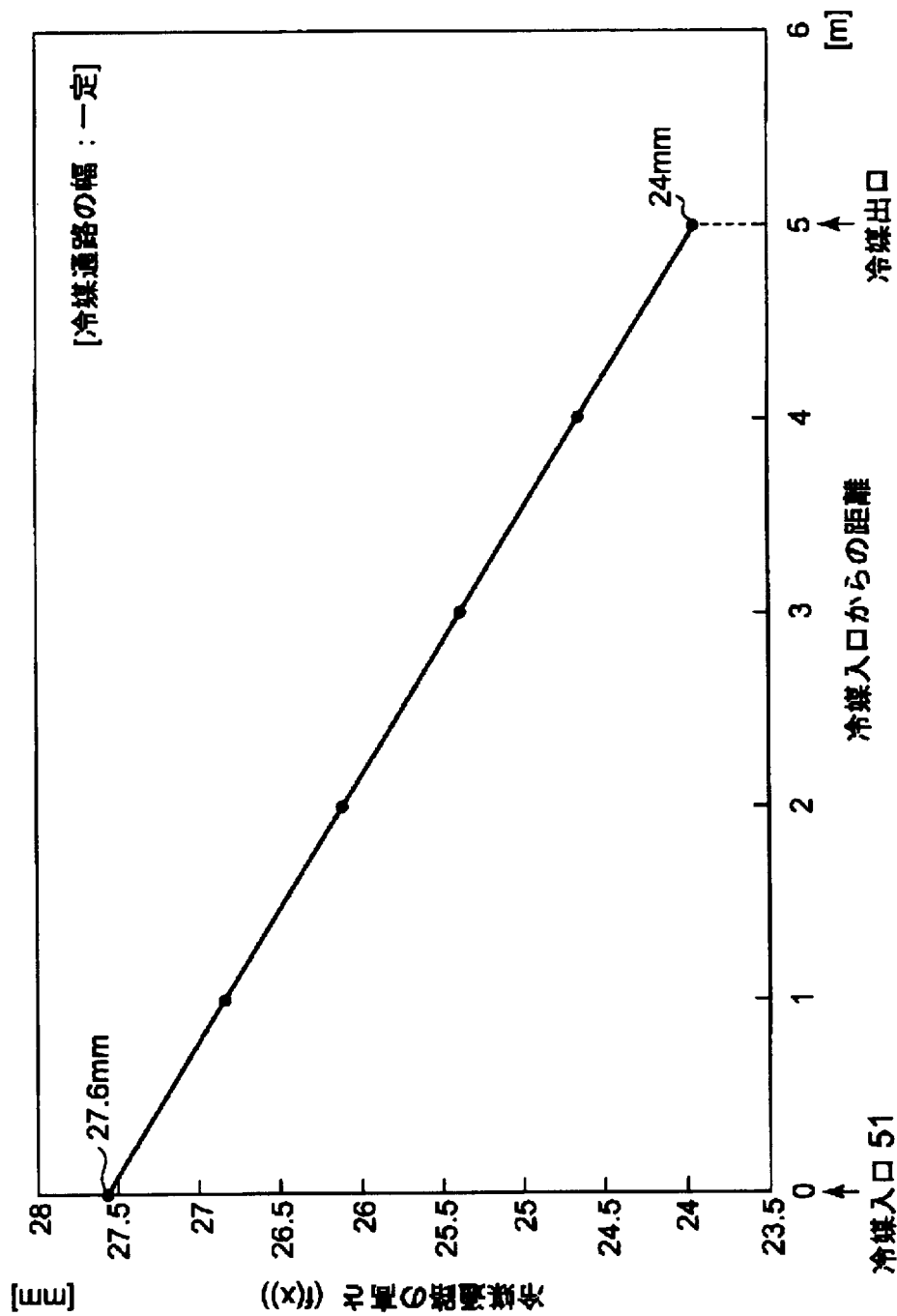
[図8]



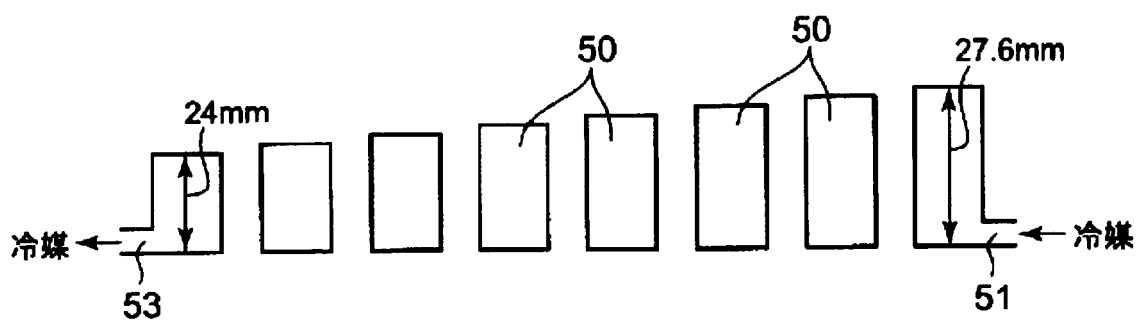
[図9]



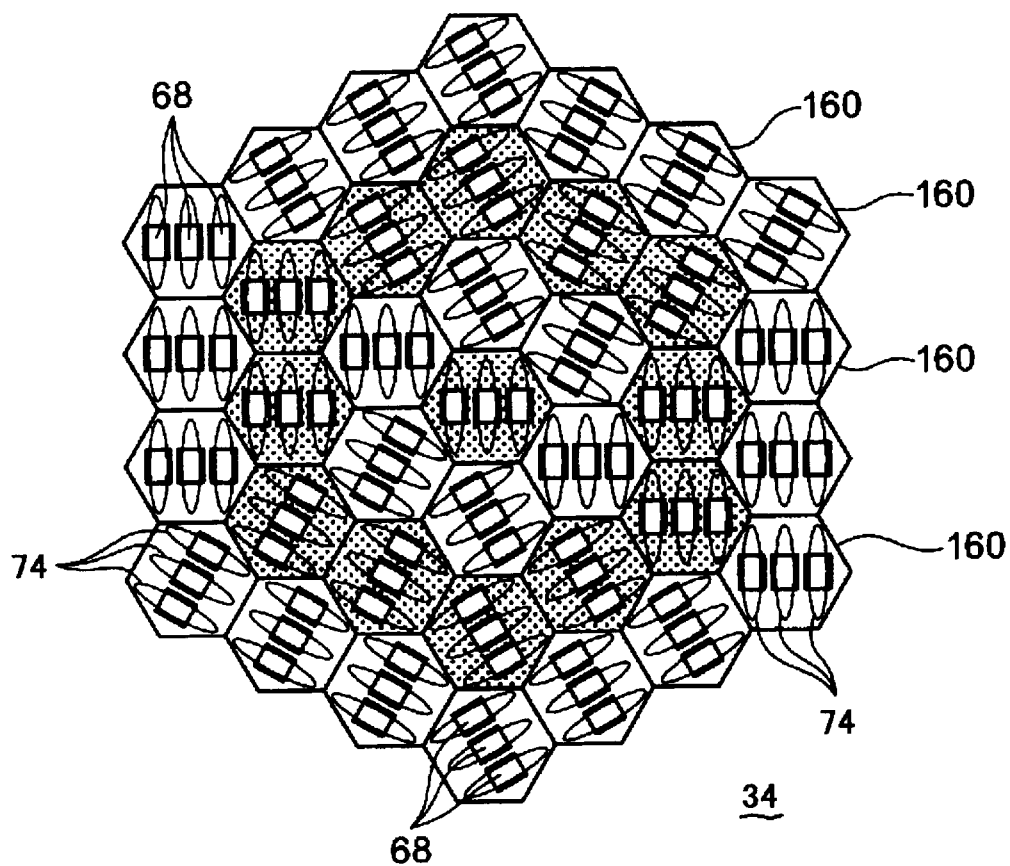
[図10]



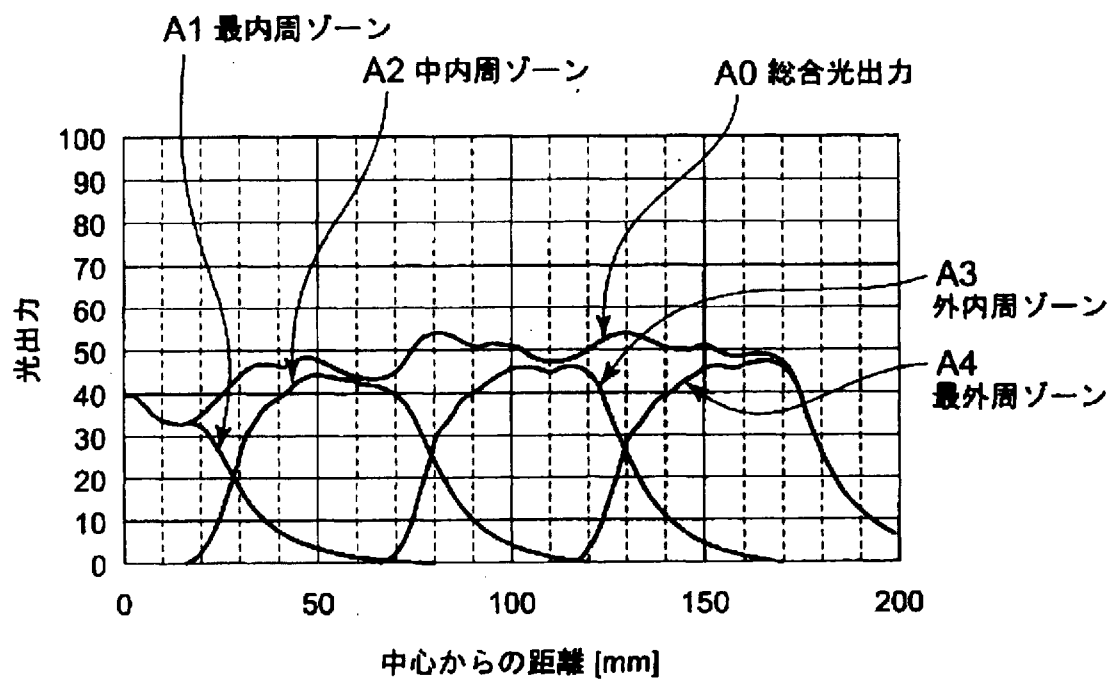
[図11]



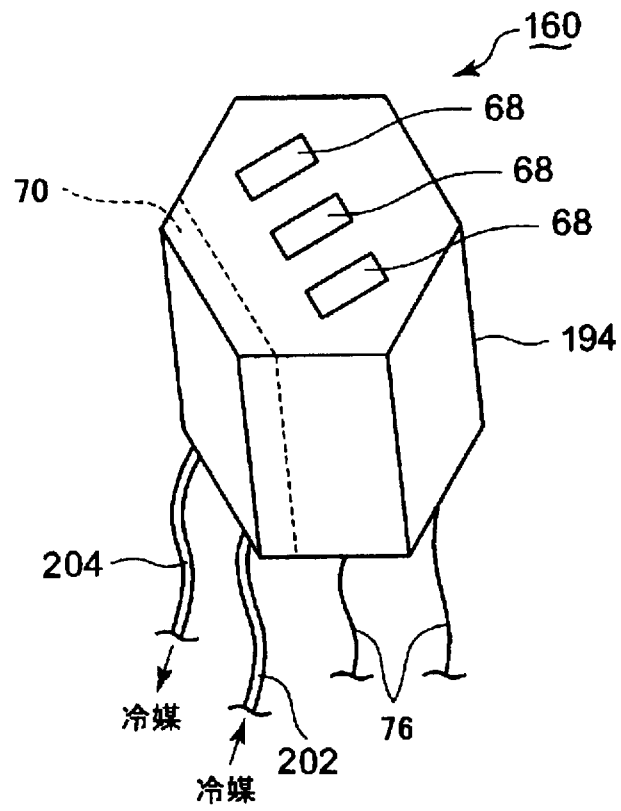
[図12]



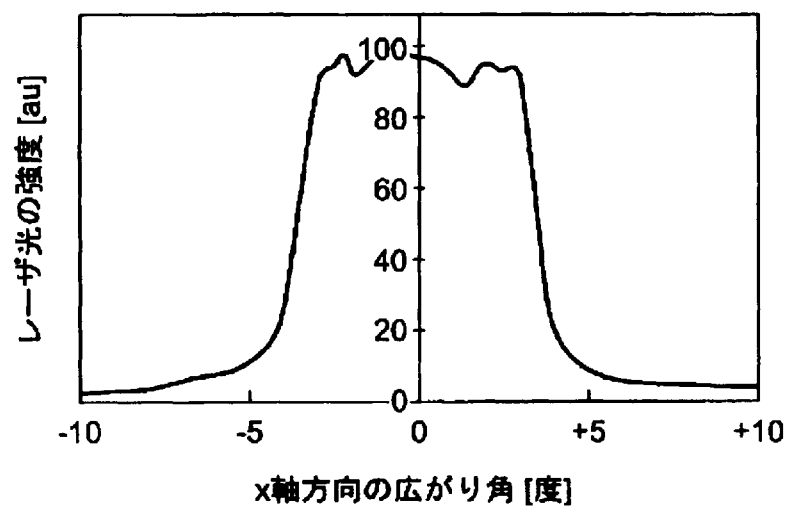
[図13]



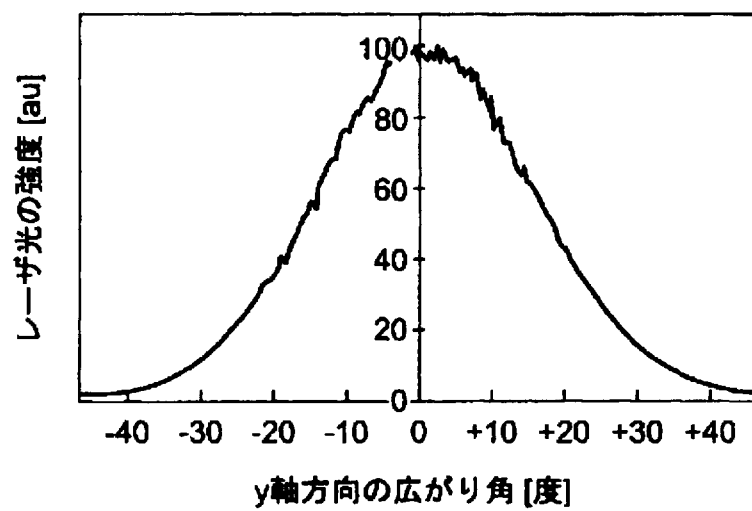
[図14]



[図15]

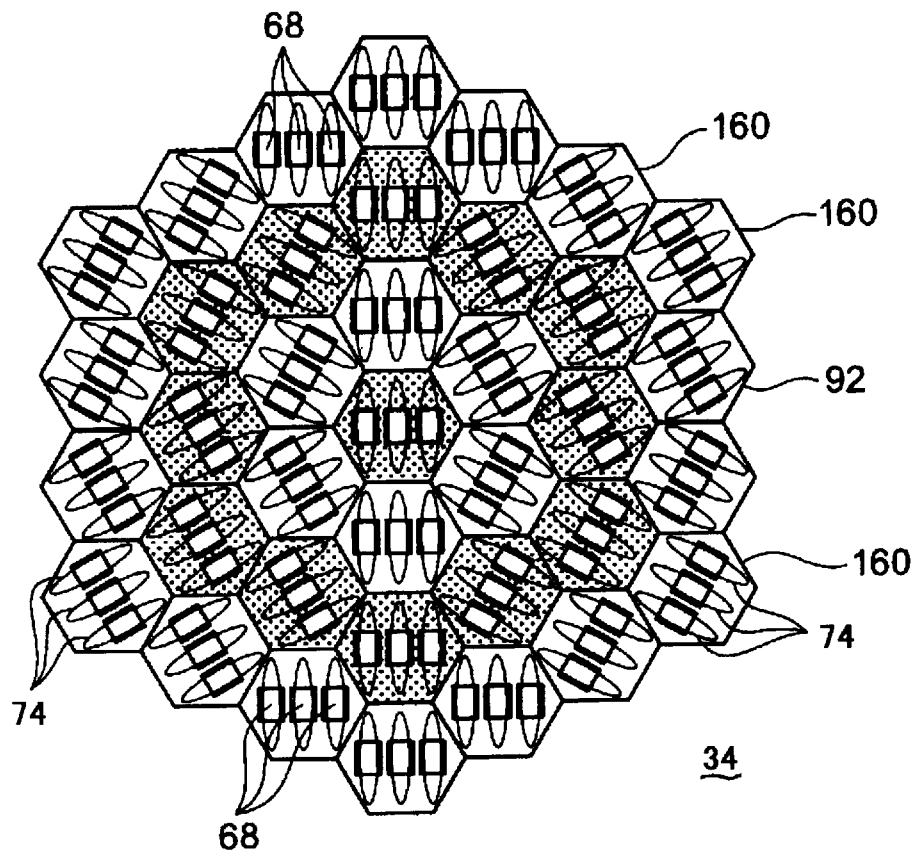


A

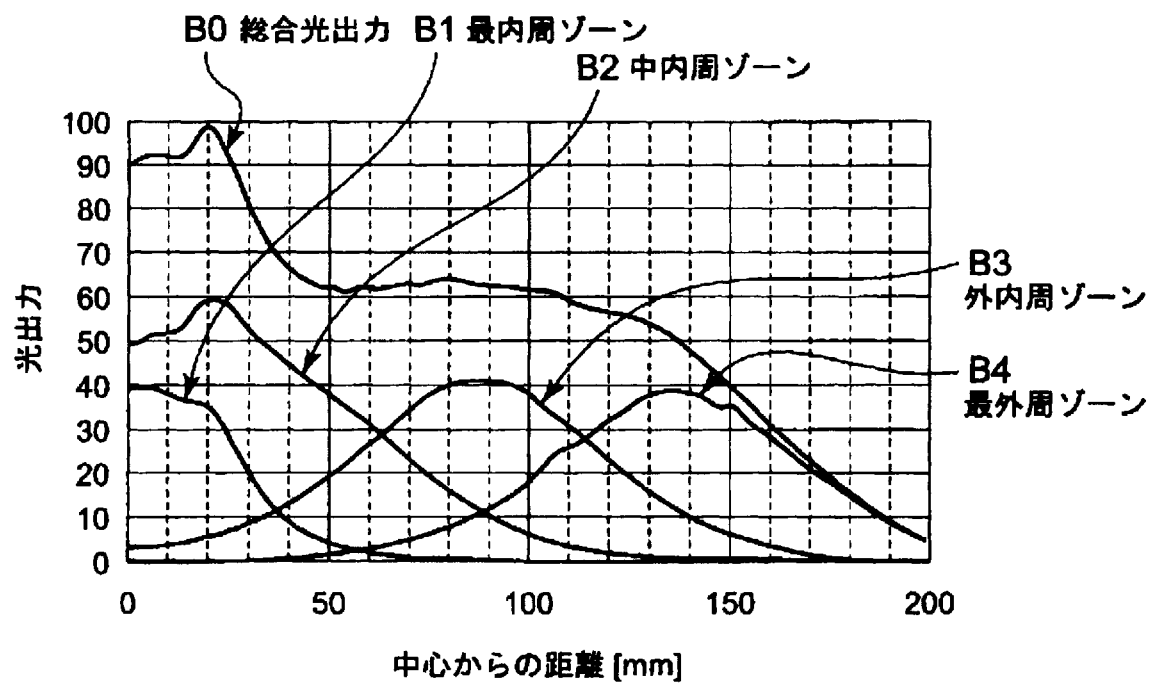


B

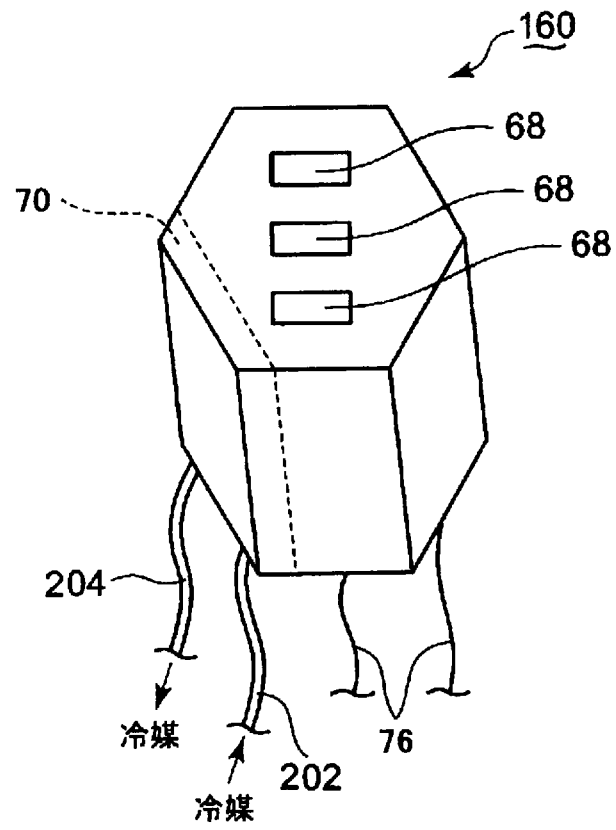
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/061518

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/268(2006.01)i, H01L21/26(2006.01)i, H01L21/265(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, H01L21/26, H01L21/265

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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 A	WO 2008/029742 A1 (Tokyo Electron Ltd.), 13 March, 2008 (13.03.08), Par. Nos. [0024] to [0051], [0074]; Figs. 1 to 7 & JP 2008-227435 A & CN 101405842 A & KR 10-2009-0045314 A	1-4, 6-8, 13 5, 12, 14-18 9-11
Y	JP 2005-536045 A (ASM America Inc.), 24 November, 2005 (24.11.05), Fig. 8 & US 2004/0026400 A1 & US 2005/0077280 A1 & US 2007/0116443 A1 & WO 2004/015348 A1	5, 12
Y	JP 2002-270531 A (Tokyo Electron Ltd.), 20 September, 2002 (20.09.02), Par. Nos. [0071] to [0076]; Figs. 6, 7 & US 7075037 B2 & US 2006/0098963 A1 & US 2006/0102612 A1	12

☒ 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
10 September, 2009 (10.09.09)

Date of mailing of the international search report
06 October, 2009 (06.10.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/061518

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-077857 A (Dainippon Screen Mfg. Co., Ltd.), 14 March, 2003 (14.03.03), Par. Nos. [0030] to [0037]; Fig. 4 (Family: none)	14-18
Y	JP 2006-059931 A (Canon Anelva Corp.), 02 March, 2006 (02.03.06), Par. Nos. [0052] to [0054]; Fig. 4 (Family: none)	16-18
Y	JP 2003-077852 A (Dainippon Screen Mfg. Co., Ltd.), 14 March, 2003 (14.03.03), Par. Nos. [0024] to [0027]; Figs. 1, 2 (Family: none)	18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/061518

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Document 1 discloses an annealing apparatus which is provided with a processing container wherein a subject to be processed is stored, a supporting means which supports the subject to be processed in the processing container, a gas supply means which supplies a processing gas into the processing container, an air-releasing means which releases the atmosphere from the processing container, and a rear-side heating means having a plurality of laser elements which radiate heating light toward the entire rear surface of the subject to be processed. The inventions in claims 1 and 2 do not appear to be novel to the invention in document 1 and do not have a special technical feature.

Therefore, there is no feature common to all the inventions in claims 1-18.

Since there is no other common feature considered to be a special technical feature in the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, there is no technical relationship among these inventions in the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence.

Consequently, it is clear that the inventions in claims 1-18 do not satisfy the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/268 (2006. 01) i, H01L21/26 (2006. 01) i, H01L21/265 (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（I P C））

Int.Cl. H01L21/268, H01L21/26, H01L21/265

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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 A	WO 2008/029742 A1（東京エレクトロン株式会社）2008. 03. 13, 段落【0024】－【0051】、【0074】、第1－7図 & JP 2008-227435 A & CN 101405842 A & KR 10-2009-0045314 A	1-4, 6-8, 13 5, 12, 14-18 9-11
Y	JP 2005-536045 A（エーエスエム アメリカ インコーポレイテッド）2005. 11. 24, 第8図 & US 2004/0026400 A1 & US 2005/0077280 A1 & US 2007/0116443 A1 & WO 2004/015348 A1	5, 12

☒ 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

1 0 . 0 9 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 0 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

萩原 周治

電話番号 03-3581-1101 内線 3498

4 L

9 8 3 5

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	JP 2002-270531 A (東京エレクトロン株式会社) 2002. 09. 20, 段落【0071】－【0076】, 第6, 7図 & US 7075037 B2 & US 2006/0098963 A1 & US 2006/0102612 A1	12
Y	JP 2003-077857 A (大日本スクリーン製造株式会社) 2003. 03. 14, 段落【0030】－【0037】, 第4図 (ファミリーなし)	14-18
Y	JP 2006-059931 A (キヤノンアネルバ株式会社) 2006. 03. 02, 段落【0052】－【0054】, 第4図 (ファミリーなし)	16-18
Y	JP 2003-077852 A (大日本スクリーン製造株式会社) 2003. 03. 14, 段落【0024】－【0027】, 第1, 2図 (ファミリーなし)	18

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
特別ページ参照。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

文献 1 には、被処理体が収容される処理容器と、処理容器内で前記被処理体を支持する支持手段と、処理容器内へ処理ガスを供給するガス供給手段と、処理容器内の雰囲気を排気する排気手段と、被処理体の裏面全体に向けて加熱光を照射する複数のレーザ素子を有する裏面側加熱手段とを備えたアニール装置が記載されており、請求項 1，2 に係る発明は、文献 1 に記載された発明に対して新規性が認められず、特別な技術的特徴を有しない。

それ故、請求の範囲 1－18 に係る発明すべてに共通の事項はない。

PCT 規則 13.2 の第 2 文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通の事項は存在しないので、それらの発明の間に規則 13.2 の第 2 文の意味における技術的な関連をみいだすことはできない。

よって、請求の範囲 1－18 に係る発明は発明の単一性の要件を満たしていないことが明らかである。