

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5250241号  
(P5250241)

(45) 発行日 平成25年7月31日(2013. 7. 31)

(24) 登録日 平成25年4月19日(2013. 4. 19)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>H O 1 L 21/268</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 L 21/268	J
<b>H O 1 L 21/20</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 L 21/20	
<b>G O 2 B 27/09</b>	<b>(2006.01)</b>	G O 2 B 27/00	E

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2007-297385 (P2007-297385)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成19年11月16日(2007. 11. 16)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2008-147643 (P2008-147643A)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地
(43) 公開日	平成20年6月26日(2008. 6. 26)	(72) 発明者	田中 幸一郎
審査請求日	平成22年10月21日(2010. 10. 21)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2006-311077 (P2006-311077)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成18年11月17日(2006. 11. 17)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	審査官	桑原 清

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ照射方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

連続発振レーザまたは疑似連続発振レーザであるレーザ発振器と、  
前記レーザ発振器の射出側に配置された、反射面が向かい合うように配置された第 1 の  
反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーを含むビームホモジナイザと、  
前記ビームホモジナイザの射出側に配置された投影レンズと、を有し、  
被照射面で前記レーザビームが前記ホモジナイザにより強度分布が均一にされた方向と  
垂直な方向に走査され、  
前記ビームホモジナイザの第 1 の反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーが振動し、  
前記振動の周波数が  $f$  であり、前記走査の速度が  $V$  であり、前記被照射面での前記レー  
ザビームの走査方向の長さが  $d$  であるとき、  
 $f \quad V / d$  の関係を有することを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 2】

請求項 1 において、  
前記投影レンズが周波数  $f$  で振動することを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 において、  
前記投影レンズにより、前記ビームホモジナイザの射出口は、被照射面と共役関係にあ  
ることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 4】

10

20

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項において、

前記第 1 の反射ミラーおよび前記第 2 の反射ミラーの振動の振幅は、前記レーザ発振器から射出されるレーザビームの波長以上  $10\ \mu\text{m}$  以下とすることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 5】

連続発振レーザまたは疑似連続発振レーザであるレーザ発振器と、

前記レーザ発振器の射出側に配置され、反射面が向かい合うように配置された第 1 の反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーを含むビームホモジナイザと、

前記ビームホモジナイザの射出側に配置されたスリットと、

前記スリットの射出側に配置された投影レンズと、を有し、

被照射面で前記レーザビームが前記ホモジナイザにより強度分布が均一にされた方向と垂直な方向に走査され、

前記ビームホモジナイザの第 1 の反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーが振動し、

前記振動の周波数が  $f$  であり、前記走査の速度が  $V$  であり、前記被照射面での前記レーザビームの走査方向の長さが  $d$  であるとき、

$f = V / d$  の関係を有することを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 6】

請求項 5 において、

前記投影レンズが周波数  $f$  で振動することを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 7】

請求項 5 または請求項 6 において、

前記スリットが周波数  $f$  で振動することを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 8】

請求項 5 乃至請求項 7 のいずれか一項において、

前記投影レンズにより、前記スリットは、被照射面と共役関係にあることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 9】

請求項 5 乃至請求項 8 のいずれか一項において、

前記第 1 の反射ミラーおよび前記第 2 の反射ミラーの振動の振幅は、前記レーザ発振器から射出されるレーザビームの波長以上  $10\ \mu\text{m}$  以下とすることを特徴とするレーザ照射方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

レーザビームを被照射物に照射する装置およびその方法に関する。また、レーザビーム照射装置に用いられるビームホモジナイザに関する。

【背景技術】

【0002】

ガラス基板上に、高移動度の薄膜トランジスタ（以下、「TFT」と記す。）で集積回路を製造するために、ガラス基板上に CVD 法などで非晶質シリコン膜を堆積し、非晶質シリコン膜に熱エネルギーを与えて結晶化させて、結晶性シリコンを形成している。非晶質シリコン膜の結晶化には、熱によるガラス基板の変形を避けるためにレーザ照射処理が用いられている。

【0003】

レーザ照射処理により結晶化された結晶性シリコン膜の結晶構造は、レーザビームの強度に依存する。レーザビームの照射により非晶質シリコン膜が完全に溶融する場合、シリコン膜で固相（溶融していない部分）と液相（溶融した部分）の界面がレーザビームの走査と共に移動するため、走査方向に結晶成長がすすみ、大粒径の結晶性シリコン膜を形成することができる。一方、レーザビームの強度が小さく、非晶質シリコン膜が完全に溶融せず、膜の表層だけ溶融する場合は、シリコン膜と下地との界面に無数の結晶核がランダ

10

20

30

40

50

ムに発生し、この界面の結晶核からシリコン膜表面に向かって結晶が成長するため、完全に溶解させた場合よりも小粒径の結晶性シリコンが形成される。また、レーザビームの強度が小さ過ぎると結晶化できず、また、大き過ぎるとシリコン膜がアブレーションしてしまう。

#### 【 0 0 0 4 】

従って、レーザ照射処理で非晶質シリコン膜を結晶化するには、レーザビームによって熱エネルギーを均一に、かつ適切な大きさで、非晶質シリコン膜に与えることが求められている。これによって、ガラス基板上に、結晶構造が均一で、大粒径の結晶性シリコン膜を形成することができる。

#### 【 0 0 0 5 】

レーザ照射処理のスループットを向上させるため、光学系によりレーザ発振器から射出したビームを一方向に伸長し、伸長方向に直交する方向で集光させることで、線状ビームに加工している。レーザ発振器から射出されたビームの強度分布は均一ではない。例えば、シングルモードのレーザビームの場合、中心ほど強度が高いガウス分布であり、形状を線状に加工しても、レーザビームの強度分布は変化せず、ガウス分布のままであり、レーザビームの端部の強度が非晶質シリコンを完全に溶解するのに足りない。よって、このような線状レーザビームで非晶質シリコン膜を結晶化しても、得られた結晶性シリコン膜は結晶構造の違いによる周期的な縞模様が生じる。このような結晶性シリコン膜で T F T を作製すると、結晶構造の違いにより、T F T ごとに電気的特性が異なる。

#### 【 0 0 0 6 】

本発明者は、レーザビームの強度分布を均一にするためのビームホモジナイザを開発した（特許文献 1 の図 1 参照）。図 1 2 を用いて、特許文献 1 の図 1 に記載のビームホモジナイザを説明する。図 1 2（A）および図 1 2（B）はビームホモジナイザの平面図である。図 1 2（B）は、図 1 2（A）の紙面垂直方向を含む平面の平面図である。

#### 【 0 0 0 7 】

ビームホモジナイザは、反射面が向かい合って配置されている矩形状の 2 つの反射ミラー 1 1、1 2 である。ビームホモジナイザに入射したビーム 1 3 は、実線の矢印で示すように、反射ミラー 1 1 および反射ミラー 1 2 で反射を繰り返しながら、反射ミラー 1 1 と反射ミラー 1 2 の間の空間を伝搬し、ビームホモジナイザから射出する。ビームホモジナイザの射出口を含む平面 P において、ビーム 1 3 の照射領域はビームホモジナイザの射出口に相当する領域 1 4 である。ビームホモジナイザが光路に存在しないときは、ビーム 1 3 は、点線の矢印で示すように、空間を伝搬する。平面 P において、ビーム 1 3 による照射領域は領域 1 5 となる。つまり、ビームホモジナイザによって、照射領域 1 5（ビームホモジナイザがないときの照射領域）中の領域 1 5 a および領域 1 5 b に到達するビーム 1 3 を全て照射領域 1 4 に到達させている。

#### 【 0 0 0 8 】

ビームホモジナイザでは、入射したビームを反射させながら伝搬させることで、ビームが複数に分割され、これら分割されたビーム全てが射出口で重ね合わせるため、ビームの強度分布が均一化される。

#### 【 0 0 0 9 】

また、本願の発明者は、レーザビームを線状に加工でき、かつレーザビームの強度分布がガウス分布であることの影響をなくすためのレーザ照射装置の光学系を開発した（例えば、特許文献 2）。特許文献 2 には、スリットを通過させることでレーザビームの端部を遮蔽して、レーザビームに強度の弱い部分を照射しないようにしている。つまり、特許文献 2 では、記載のスリットを含む光学系により、確実に結晶化でき、また大粒径の結晶が得られるような大きさの熱エネルギーを非晶質シリコン膜に供給するようにしている。

【特許文献 1】特開 2 0 0 4 1 3 4 7 8 5 号公報

【特許文献 2】国際公開 2 0 0 6 / 0 2 2 1 9 6 号パンフレット

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 1 0 】

図 1 2 に示すビームホモジナイザによる強度分布の均一化の効果を高めるためには、ビームの光路を長くして、ビームの反射回数を増やせばよい。しかしながら、光路を長くし、反射ミラー 1 1 と反射ミラー 1 2 の間で反射を繰り返すことで、レーザビームが干渉してしまう。レーザ照射処理に用いられるシングルモードのレーザビームは、マルチモードのレーザよりも干渉しやすい。

## 【 0 0 1 1 】

ビームホモジナイザによってレーザビームが干渉すると、ビームホモジナイザの射出口でのレーザビームの強度分布が周期的に変動し、被照射面では干渉縞として確認される。干渉によって、被照射面でレーザビームの強度が非晶質シリコン膜を完全に溶解するのに足りない部分が周期的に現れる場合、このようなレーザビームで非晶質シリコンを結晶化すると、結晶性シリコン膜の結晶構造がレーザビームの強度分布を反映し、結晶性シリコン膜に縞模様が生じてしまう。

10

## 【 0 0 1 2 】

また、特許文献 2 のようなスリットを用いた光学系では回折の問題がある。回折によって、レーザビーム端部近傍の強度が非晶質シリコン膜を完全に溶解させるのに不足したり、過剰になるおそれがある。

## 【 0 0 1 3 】

図 1 2 のビームホモジナイザやスリットは、レーザビームで被照射物を処理するための重要な光学部材であるが、照射光にレーザビームを用いる場合、干渉や回折は不可避免的な物理現象である。そこで、本発明は、光学部材で干渉や回折が生じて、レーザビームを照射することによる作用を被照射物に均一にかつ確実に与えることを可能にするビームホモジナイザ、レーザ照射装置およびレーザ照射方法を提供すること課題とする。

20

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 4 】

本発明は、干渉または回折が生ずる光学部材を振動させることで、レーザビームの強度分布を時間的に平均化し、その結果として、レーザビームの強度分布を均一化するというものである。また、本発明は、被照射面に投影するためのレンズを振動させ、光学部材によって干渉した、または回折したレーザビームをこの振動するレンズを通過させることで、レーザビームの強度分布を時間的に平均化し、その結果として、レーザビームの強度分布を均一化するというものである。

30

## 【 0 0 1 5 】

本発明は、レーザ照射装置に用いられるビームホモジナイザであって、反射面が向かい合うように配置された第 1 の反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーを有し、第 1 の反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーが振動する。

## 【 0 0 1 6 】

本発明のレーザ照射装置は、上記ビームホモジナイザを光学系に有することを特徴とする。光学系は、第 1 の反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーが振動するビームホモジナイザ、およびビームホモジナイザの射出側に配置された投影レンズを有する。さらに、投影レンズを振動させてもよい。

40

## 【 0 0 1 7 】

本発明の他のレーザ照射装置の光学系は、第 1 の反射ミラーおよび第 2 の反射ミラーが振動するビームホモジナイザ、ビームホモジナイザの射出側に配置されたスリット、およびスリットの射出側に配置された投影レンズを有する。

## 【 0 0 1 8 】

本発明の他のレーザ照射装置は、振動するスリットを光学系に有する。光学系は、振動するスリット、およびスリットの射出側に配置された投影レンズを含む。この投影レンズを振動させてもよい。

## 【 0 0 1 9 】

本発明の他のレーザ照射装置は、振動する投影レンズを光学系に有する。光学系は、反

50

射面が向かい合うように配置された第1および第2の反射ミラーを含むビームホモジナイザ、およびビームホモジナイザの射出側に配置された振動する投影レンズを含む。

【0020】

本発明の他のレーザ照射装置は、振動する投影レンズを光学系に有する。光学系は、スリット、およびスリットの射出側に配置された振動する投影レンズを含む。

【0021】

レーザ発振器に連続発振レーザまたは疑似連続発振レーザを用いた場合、ビームホモジナイザ、スリットおよび投影レンズの振動の周波数  $f$ 、被照射面でのレーザビームの走査速度  $V$ 、および被照射面でのレーザビームの走査方向の長さ  $d$  は、 $f = V / d$  の関係を有することにより、レーザビームの強度分布を時間的に平均化するという効果が、顕在化する。

10

【0022】

また、本発明のレーザ照射方法の1つは、ビームホモジナイザをレーザビームが通過し、ビームホモジナイザを通過したレーザビームを被照射物に照射するレーザ照射方法であり、ビームホモジナイザは反射面が向かい合うように配置された第1の反射ミラーおよび第2の反射ミラーを含み、第1の反射ミラーおよび第2の反射ミラーを振動させながら、レーザビームを被照射物に照射する。

【0023】

また、上記構成のレーザビームの照射方法において、ビームホモジナイザを通過したレーザビームの端部を遮蔽してから、被照射物にレーザビームを照射することができる。また、投影レンズも振動させながら、レーザビームを照射することもできる。

20

【0024】

また、本発明のレーザ照射方法の他の1つは、振動するスリットを通過させて、レーザビームを被照射物に照射する。

【0025】

本発明のレーザ照射方法の他の1つは、レーザビームをビームホモジナイザを通過させ、ビームホモジナイザを通過したレーザビームを振動する投影レンズを通過させて、被照射物に照射する。

【0026】

本発明のレーザ照射方法の他の1つは、レーザビームをスリットを通過させ、スリットを通過したレーザビームを振動する投影レンズを通過させて、被照射物に照射する。

30

【0027】

レーザビームが連続発振レーザまたは連続発振レーザから射出されたレーザビームである場合、ビームホモジナイザ、スリットおよび投影レンズの振動の周波数  $f$ 、被照射面でのレーザビームの走査速度  $V$ 、および被照射面でのレーザビームの走査方向の長さ  $d$  は、 $f = V / d$  の関係を有することにより、レーザビームの強度分布を時間的に平均化するという効果が、顕在化する。

【発明の効果】

【0028】

本発明のビームホモジナイザは、第1および第2の反射ミラーが振動するため、ビームホモジナイザの射出口でのレーザビームの強度分布を時間的に平均化することができる。従って、本発明の振動するビームホモジナイザを用いることで、レーザビームの強度分布から、干渉によって生じた強度不足の部分をなくして、均一な分布とすることができるため、レーザビームによって被照射物を均一に加熱することが可能になる。

40

【0029】

本発明ではスリットを振動させることにより、回折によるレーザビームの強度分布の変動を無くす、または少なくすることができる。従って、本発明の振動するスリットを用いることで、レーザビームによって、被照射物に必要な大きさの熱エネルギーを確実に供給することができるようになるため、レーザビームによって被照射物を均一に加熱することが可能になる。

50

## 【 0 0 3 0 】

本発明では投影レンズを振動させることにより、レーザビームの干渉、および回折によるレーザビームの強度分布の変動を無くす、または少なくすることができる。従って、本発明の振動する投影レンズを用いることで、レーザビームによって、被照射物に必要な大きさの熱エネルギーを確実に供給することができるようになるため、レーザビームによって被照射物を均一に加熱することが可能になる。

## 【 0 0 3 1 】

従って、本発明のように、振動するビームホモジナイザ、振動するスリットまたは振動する投影レンズを通過させてレーザビームを照射することで、被照射物に対するレーザビームによる加熱の効果を均一に、また確実に得ることが可能になる。例えば、レーザビームを照射して非晶質シリコン膜を結晶化する場合、本発明を適用することで、均一な結晶構造の結晶性シリコン膜を形成することが可能になる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 3 2 】

図面を参照しながら、本発明のレーザ照射装置の光学系、およびレーザ照射方法を説明する。なお、本発明は多くの異なる態様で実施することが可能であり、本発明の趣旨およびその範囲から逸脱することなくその形態および詳細を様々に変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は、各実施の形態および各実施例の記載内容に限定して解釈されるものではない。

## 【 0 0 3 3 】

## (実施の形態 1)

本実施の形態では、振動するビームホモジナイザを有する光学系について説明する。図 1 は、本実施の形態の光学系の平面図であり、左側に  $xz$  平面図を示し、右側に  $yz$  平面図を示している。 $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向は互いに直交する。図 1 には、被照射面が  $xy$  平面に平行な平面であり、レーザビームを  $y$  方向に平行に走査するような光学系を示している。

## 【 0 0 3 4 】

図 1 の光学系は、ビームホモジナイザ 100 と、投影レンズ 101 を有する。ビームホモジナイザは、矩形状の第 1 の反射ミラー 103 および第 2 の反射ミラー 104 を有する。図 2 はビームホモジナイザ 100 の立体斜視図である。第 1 の反射ミラー 103 には振動子 105 a が取り付けられ、第 2 の反射ミラー 104 には振動子 105 b が取り付けられている。振動子 105 a、105 b の振動を第 1 の反射ミラー 103、第 2 の反射ミラー 104 に伝えて、これらの反射ミラー 103、104 を振動させる。振動子 105 a、105 b には圧電素子を用いればよい。

## 【 0 0 3 5 】

ビームホモジナイザ 100 において、第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 は、反射面を内側に、 $x$  方向に間隔を開けて対向して配置されている。第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 の間隔は  $500\text{ }\mu\text{m}$  以上  $1\text{ mm}$  以下が好ましい範囲である。図 1 には、第 1 の反射ミラー 103 および第 2 の反射ミラー 104 の反射面が  $yz$  平面に平行になるように対向している状態を図示している。

## 【 0 0 3 6 】

第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 の間に入射したレーザビーム LB は、反射ミラー 103 および反射ミラー 104 で反射しながら、第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 の間の空間を伝搬し、第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 の間から射出される。つまり、第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 により光導波路が構成されている。

## 【 0 0 3 7 】

投影レンズ 101 はビームホモジナイザ 100 の射出口の像を平面 Pa に投影するレンズである。ビームホモジナイザ 100 を通過したレーザビーム LB は、投影レンズ 101 により、平面 Pa に投影される。平面 Pa は被照射物の被照射面に相当し、 $xy$  平面に平

10

20

30

40

50

行である。投影レンズ 101 により、ビームホモジナイザ 100 の射出口は、被照射面である平面 P a と共役の関係にある。

【0038】

上述したように、ビームホモジナイザ 100（光導波路）をレーザビームが通過することで、ビームホモジナイザ 100 の射出口に干渉縞が生ずる。投影レンズ 101 ではこの干渉縞を投影するため、平面 P a におけるレーザビーム L B の強度分布は、射出口での干渉縞を反映し、温度分布を均一にして被照射物を加熱することができなくなる。このような問題点を解消するため、振動子 105 a、105 b により、第 1 の反射ミラー 103 および第 2 の反射ミラー 104 をそれぞれ振動させる。振動により、ビームホモジナイザ 100 の射出口で干渉縞が振動するため、レーザビーム L B の射出口での x 方向の強度分布は時間的に平均化される。つまり、レーザビーム L B の強度が干渉によって x 方向で周期的に変化していたのを、ビームホモジナイザ 100 の振動により、レーザビーム L B の強度の変動幅を小さくし、x 方向の強度分布を均一化している。よって、ビームホモジナイザ 100 を振動させることで、レーザビーム L B の x 方向の強度分布に強度不足の部分をなくすることができる。

10

【0039】

ビームホモジナイザ 100 の射出口の像は強度分布が均一な像として、投影レンズ 101 により被照射物に投影されるため、レーザビーム L B によって被照射物を均一に加熱することができる。

【0040】

20

第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 の振動は、直線運動でもよいし、反射面を傾ける回転運動でもよい。ビームホモジナイザ 100 による干渉縞を、平面 P a においてレーザビーム L B の走査方向（y 方向）と直交する方向（x 方向）に振動させることができればよい。

【0041】

第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 を直線運動させる場合、図 3（A）に示すように、第 1 の反射ミラー 103 の移動方向が第 2 の反射ミラー 104 移動方向と同じ方向でもよいし、図 3（B）に示すように、第 1 の反射ミラー 103 の移動方向が第 2 の反射ミラー 104 と逆方向でもよい。また、回転運動の場合も、図 3（C）に示すように第 1 の反射ミラー 103 と第 2 の反射ミラー 104 を同じ方向に傾けてもよいし、図 3（C）に示すように異なる方向に傾けてもよい。

30

【0042】

なお、反射ミラー 103、104（またはビームホモジナイザ 100）を同じ方向に振動させるとは、図 3（A）または図 3（C）のように反射ミラー 103、104 を動かすことをいうこととする。また、反射ミラー 103、104（またはビームホモジナイザ 100）を異なる方向に振動させるとは、図 3（B）または図 3（D）のように反射ミラー 103、104 を動かすことをいうこととする。

【0043】

図 3（A）～（D）に示すようにビームホモジナイザ 100 を振動させることで、ビームホモジナイザ 100 の射出口で干渉縞が x 方向に振動する。その結果として、ビームホモジナイザ 100 の射出口で、レーザビーム L B の x 方向の強度分布が時間的に平均化されるため、レーザビーム L B の x 方向の強度分布に強度不足の部分をなくすることができる。

40

【0044】

以上述べたように、図 1 の光学系では、ビームホモジナイザ 100 による平面 P a での干渉縞が、平面 P a でレーザビーム L B を走査する方向と直交する方向に振動するように、ビームホモジナイザ 100 を振動させることにより、走査方向と直交する方向のレーザビーム L B の強度分布を時間的に平均化することができる。従って、図 1 の光学系を用いて、所定の一方方向（y 方向）に走査しながらレーザビームを照射することで、被照射物の温度を均一に上昇させることができるので、レーザビーム L B の照射による作用を均一に

50

被照射物に与えることができる。

#### 【0045】

レーザービームの強度分布を時間的に平均化する効果を顕在化するには、第1の反射ミラー103と第2の反射ミラー104の振動の振幅 $d_{am}$ 、つまり振動の1周期における変位は上限を $10\mu\text{m}$ 程度とし、下限はレーザービームLBの波長とするのが好ましい。振動の振幅 $d_{am}$ は、振動しないときに平面Paに投影される干渉縞の間隔と、投影レンズ101の倍率をもとに決めることができる。なお、第1の反射ミラー103、第2の反射ミラー104の反射面を傾けるような振動の場合、振幅 $d_{am}$ は、第1の反射ミラー103、第2の反射ミラー104それぞれの端部のx方向の変位の最大値である(図3(C)および図3(D)参照)。

10

#### 【0046】

ビームホモジナイザ100を振動することによる効果を顕在化するには、ビームホモジナイザ100の振動の1周期は、平面PaにおけるレーザービームLBのy方向の長さと同じ距離をレーザービームLBが走査するのに要する時間と同じか、その時間よりも短くすることが好ましい。よって、振動の周波数 $f_1$ 、平面Paにおけるy方向のレーザービームLBの長さ $d$ 、およびレーザービームLBの平面Paにおけるy方向の走査速度 $V$ の関係が、 $f_1 = V/d$ であるのが好ましい。なお、この数式で周波数 $f_1$ を決めることができるのは、レーザービームLBが連続発振レーザー(以下、「CWレーザー」という。)、または疑似連続発振レーザー(以下、「疑似CWレーザー」という。)から射出されるビームの場合である。例えば、 $d = 20\mu\text{m}$ 、 $V = 500\text{mm/sec}$ であれば、周波数 $f_1$ を $25000\text{Hz}$ 以上とすることで、ビームホモジナイザ100の振動の効果が顕著になる。

20

#### 【0047】

また、レーザービームLBがパルス発振レーザーから射出されるビームの場合は、振動の周期はレーザーのパルス幅以下とするのが好ましい。よって、振動の周波数 $f_1$ はパルス幅の逆数以上、つまり $f_1 \geq 1/\text{パルス幅}$ を満たすと、ビームホモジナイザ100の振動による効果を顕在化することができる。

#### 【0048】

数万Hz以上の周波数で振動させるため、反射ミラー103、104は、軽量で、かつ振動により反射面が歪むことのない強度のある構造物とする。反射ミラー103、104には、例えば、ポラスシリコンの薄い板、表面に反射性の被膜をコーティングしたセラミックの薄い板、および、内部が中空構造またはハニカム構造で、表面に反射性の被膜をコーティングした板などを用いることができる。

30

#### 【0049】

図1の光学系で、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104を同じ方向に振動させると、ビームホモジナイザ100の光軸も振動してしまう。そこで、投影レンズ101も振動させることで、ビームホモジナイザ100の光軸の振動を補償することができる。第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104の振動に同期させて投影レンズ101を振動させることで、レーザービームLBによる平面Paでの照射領域を振動させないようにする。投影レンズ101を振動させるには、投影レンズ101に、圧電素子等である振動子を取り付けることで可能である。

40

#### 【0050】

投影レンズ101の移動方向、ならびに振動の周期および振幅は、レーザービームLBの照射領域が平面Paで変動しないように設定する。投影レンズ101の振動の周波数 $f_2$ は第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104の振動の周波数 $f_1$ と同じにすればよい。投影レンズ101の振動の振幅は、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104の振動の振幅、投影レンズ101の倍率をもとに決めることができる。投影レンズ101を振動させるための振動子には圧電素子を用いることができる。

#### 【0051】

(実施の形態2)

本実施の形態では、振動するビームホモジナイザを有する光学系を説明する。図4は本

50



実施の形態の光学系の平面図である。図4でも、図1と同様に、左側に $xz$ 平面図を示し、右側に $yz$ 平面図を示している。また、図4の光学系も、被照射面が $xy$ 平面に平行な平面であり、レーザービームを $y$ 方向に平行に走査するような光学系である。

【0052】

図4の光学系は、図1の光学系にスリット120を追加した光学系に相当する。スリット120はビームホモジナイザ100の射出側と投影レンズ101の間に配置される。投影レンズ101は、スリット120の像を平面Paに投影する。図1の光学系と同様、図4の光学系も、ビームホモジナイザ100を振動させながら、かつレーザービームLBを $y$ 方向に走査しながら、被照射物にレーザービームLBを照射することにより、ビームホモジナイザ100での干渉の影響を抑えて、被照射物を均一に加熱することができる。

10

【0053】

図1の光学系では、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104を同じ方向に振動させると、ビームホモジナイザ100の光軸が振動するため、被照射領域の位置も振動する。また、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104を異なる方向に振動させると、ビームホモジナイザ100の射出口の大きさが変わるため、平面PaでのレーザービームLBの被照射領域の範囲が変動する。図4の光学系では、ビームホモジナイザ100の振動によって、被照射領域が変化しないようにするため、ビームホモジナイザ100の射出口側にスリット120が配置されている。投影レンズ101はスリット120の射出側に配置される。投影レンズ101により、スリット120は被照射面である平面Paと共役関係にある。

20

【0054】

スリット120の間隔は、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104の間隔と同程度とすればよい。レーザービームLBがスリットを通過することで、強度分布が均一化された部分が選択的に取り出されるように、スリット120の間隔はビームホモジナイザ100の振動の振幅 $d_{am}$ や、レーザービームLBの広がり considering 決定される。

【0055】

ビームホモジナイザ100の射出口から射出されたレーザービームLBはスリット120で端部が遮蔽される。投影レンズ101はスリット120の像を平面Paに投影する。スリット120は振動しないため、ビームホモジナイザ100が振動していても、平面PaでのレーザービームLBの被照射領域の範囲および位置が変動しない。また、レーザービームLBをスリット120を通過させることにより、ビームホモジナイザ100の振動により強度分布が均一化された部分が、レーザービームLBから選択的に取り出されるため、レーザービームLBにより均一に被照射物を加熱することができる。

30

【0056】

(実施の形態3)

本実施の形態では、振動するスリットを有する光学系について説明する。図5は本実施の形態の光学系の平面図である。図5でも、図1と同様に、左側に $xz$ 平面図を示し、右側に $yz$ 平面図を示している。また、図5の光学系も、被照射面が $xy$ 平面に平行な平面であり、レーザービームを $y$ 方向に平行に走査するような光学系である。

【0057】

図5に示すように、光学系は振動するスリット130、およびスリット130の射出側に配置された投影レンズ101を有する。投影レンズ101はスリット130の像を平面Paに投影するためのレンズである。投影レンズ101により、スリット130は被照射面である平面Paと共役関係にある。

40

【0058】

レーザー照射処理に使用されるレーザービームLBは、一般的に、シングルモードのレーザービームであり、その強度分布はガウシアン分布である。そのため、レーザービームLBの端部の強度はレーザー照射処理に必要な値に不足する。スリット130により、強度が不足しているレーザービームLBの端部を遮蔽しているため、一定値以上の強度のレーザービームLBを照射することができる。

50

## 【 0 0 5 9 】

スリット 1 3 0 は遮蔽板 1 3 1、1 3 2 を有する。遮蔽板 1 3 1、1 3 2 は平面 P a でレーザビーム L B の x 方向の長さを規定するように配置されている。遮蔽板 1 3 1、1 3 2 は x 方向に間隔を開けて配置されている。遮蔽板 1 3 1、1 3 2 の間隔は  $500\text{ }\mu\text{m}$  以上  $5\text{ mm}$  以下が好ましい。遮蔽板 1 3 1、1 3 2 には、それぞれ、振動子 1 3 5 a、1 3 5 b が取り付けられている。振動子 1 3 5 a、1 3 5 b の振動を遮蔽板 1 3 1、1 3 2 に伝えて、これら遮蔽板 1 3 1、1 3 2 を振動させている。振動子 1 3 5 a、1 3 5 b には圧電素子などを用いることができる。

## 【 0 0 6 0 】

レーザビーム L B はスリット 1 3 0 を通過することで回折する。回折の影響で、平面 P a でのレーザビーム L B の端部近傍の強度が必要な値よりも小さく、または大きくなるおそれがある。図 5 の光学系ではスリット 1 3 0 を x 方向に振動させることによって、平面 P a でのレーザビーム L B の端部近傍の x 方向の強度分布を時間的に平均化できるため、レーザビーム L B の端部近傍で強度が不均一になることを回避することができる。レーザビーム L B を平面 P a において y 方向に走査することで、レーザビーム L B の端部近傍が照射される部分も、温度を十分に上昇させることができるため、レーザビーム L B の照射領域全体で均一に温度を上昇させることができる。

## 【 0 0 6 1 】

つまり、図 5 の光学系では、平面 P a でレーザビーム L B が走査される方向に直交する方向 (x 方向) にレーザビーム L B 端部が振動するように、スリット 1 3 0 を振動させることで、レーザビーム L B によって被照射物が均一に加熱されるようにしている。

## 【 0 0 6 2 】

遮蔽板 1 3 1、1 3 2 は x 方向に直線運動するように振動される。別の言い方をすると、スリット 1 3 0 をレーザビームの走査方向 (y 方向) と直交する方向 (x 方向) に振動させる。遮蔽板 1 3 1、1 3 2 の移動の方向は、図 6 (A) に示すように同じ方向でもよいし、図 6 (B) に示すように逆方向でもよい。なお、スリット 1 3 0 (遮蔽板 1 3 1、1 3 2) を同じ方向に振動させるとは、図 3 (A) のように遮蔽板 1 3 1、1 3 2 を動かすことをいうこととする。また、スリット 1 3 0 (遮蔽板 1 3 1、1 3 2) を異なる方向に振動させるとは、図 6 (B) ように遮蔽板 1 3 1、1 3 2 を動かすことをいうこととする。

## 【 0 0 6 3 】

スリット 1 3 0 を振動することによる効果を顕在化するには、スリット 1 3 0 の振動の周波数  $f_3$  および振幅  $d_{am}$  は、図 1 のビームホモジナイザ 1 0 0 の振動の条件と同様とすればよい。すなわち、スリット 1 3 0 の振幅  $d_{am}$  の好ましい範囲は  $10\text{ }\mu\text{m}$  以下、レーザビーム L B の波長以上である。周波数  $f_3$  は、レーザビーム L B が CW レーザまたは疑似 CW レーザから射出されるレーザビームの場合、 $f_3 = V/d$  とするのが好ましい。d は、平面 P a におけるレーザビーム L B の y 方向の長さであり、V はレーザビーム L B の平面 P a における y 方向の走査速度である。また、レーザビーム L B がパルス発振レーザから射出されるレーザビームの場合、周波数  $f_3$  はパルス幅の逆数以上、 $f_3 = 1/\tau$  とするのが好ましい。

## 【 0 0 6 4 】

図 6 (A) に示すようにスリット 1 3 0 を同じ方向に振動させると、スリット 1 3 0 の光軸も振動するが、投影レンズ 1 0 1 を振動させることで、スリット 1 3 0 の光軸の振動を補償することができる。スリット 1 3 0 の振動に同期させて投影レンズ 1 0 1 を振動させることで、レーザビーム L B による平面 P a での照射領域を振動させないようにすることができる。

## 【 0 0 6 5 】

レーザビーム L B の照射領域が平面 P a で変動しないように、投影レンズ 1 0 1 の移動方向、並びに振動の振幅および周波数を設定する。周波数はスリットの振動の周波数と同じにすればよい。振幅は、スリットの振動の振幅  $d_{am}$ 、投影レンズ 1 0 1 の倍率をもと

10

20

30

40

50

に決めることができる。投影レンズ 101 に圧電素子などでなる振動子を取り付けることで、投影レンズ 101 を振動させることができる。

【0066】

(実施の形態 4)

本実施の形態では、振動する投影レンズを有する光学系について説明する。図 7 は、本実施の形態の光学系の平面図であり、左側に  $xz$  平面図を示し、右側に  $yz$  平面図を示している。 $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向は互いに直交する。図 7 には、被照射面が  $xy$  平面に平行な平面であり、レーザビームを  $y$  方向に平行に走査するような光学系を示している。

【0067】

本実施の形態の光学系は、図 1 の光学系で、ビームホモジナイザ 100 を固定し、投影レンズ 101 のみを振動させた光学系である。図 1 の光学系と異なるのは、ビームホモジナイザ 100 を振動させる振動子 105a、105b を取り外し、投影レンズを振動させるための圧電素子などでなる振動子 145 が投影レンズ 101 に取り付けられている点である。

【0068】

ビームホモジナイザ 100 をレーザビーム LB が通過することで干渉が生じ、投影レンズ 101 は干渉縞を平面 Pa する。そこで、図 7 の光学系では、平面 Pa で  $x$  方向の干渉縞がなくなるように、投影レンズ 101 を  $x$  方向に振動する。投影レンズ 101 の振動は、 $xy$  平面で  $x$  方向に直線運動させればよい。

【0069】

投影レンズ 101 を走査方向と直交する方向 ( $x$  方向) に振動させることにより、平面 Pa において走査方向と直交する方向のレーザビーム LB の強度分布を時間的に平均化することができる。従って、図 7 の光学系を用いて、所定の一方方向 ( $y$  方向) に走査しながらレーザビーム LB を照射することで、被照射物の温度を均一に上昇させることができるので、レーザビーム LB の照射による作用を均一に被照射物に与えることができる。投影レンズ 101 を振動させることで、図 1 の光学系と同様の効果を得ることができる。

【0070】

レーザビームの強度分布を時間的に平均化する効果を顕在化するには、投影レンズ 101 の振動の振幅  $d_{am}$ 、つまり振動の 1 周期における変位は上限を  $10\mu m$  程度とし、下限はレーザビーム LB の波長とするのが好ましい。また、投影レンズ 101 の振動の振幅  $d_{am}$  は、振動しないときに平面 Pa に投影される干渉縞の間隔とすればよい。

【0071】

レーザビームの強度分布を時間的に平均化する効果を顕在化するには、投影レンズ 101 の振動の周波数  $f_2$  は、レーザビーム LB が CW レーザまたは疑似 CW レーザから射出されたビームの場合、 $f_3 = V/d$  とするのが好ましい。 $d$  は、平面 Pa におけるレーザビーム LB の  $y$  方向の長さであり、 $V$  はレーザビーム LB の平面 Pa における  $y$  方向の走査速度である。また、レーザビーム LB がパルス発振レーザから射出されたビームの場合、周波数  $f_3$  はパルス幅の逆数以上、 $f_3 \geq 1/\text{パルス幅}$  とするのが好ましい。

【0072】

(実施の形態 5)

本実施の形態では、振動する投影レンズを有する光学系について説明する。図 8 は、本実施の形態の光学系の平面図であり、左側に  $xz$  平面図を示し、右側に  $yz$  平面図を示している。 $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向は互いに直交する。図 8 には、被照射面が  $xy$  平面に平行な平面であり、レーザビームを  $y$  方向に平行に走査するような光学系を示している。

【0073】

本実施の形態の光学系は、図 5 の光学系で、スリット 130 を固定し、投影レンズ 101 のみを振動させた光学系である。図 8 の光学系が、図 5 の光学系と異なる点は、スリット 130 を振動させる振動子 135a、135b を取り外し、投影レンズを振動させるために圧電素子などでなる振動子 145 が、投影レンズ 101 に取り付けられている点である。

## 【 0 0 7 4 】

図 8 の光学系ではスリット 1 3 0 を有するため、スリット 1 3 0 での回折の影響で、平面 P a でのレーザービーム L B の端部近傍の強度が必要な値よりも小さくなる、または大きくなるおそれがある。そこで、図 8 の光学系では、投影レンズ 1 0 1 を x 方向に振動させて、平面 P a でレーザービーム L B の端部近傍で強度分布が均一になるようにしている。つまり、投影レンズ 1 0 1 を振動させることで、図 5 の光学系と同様の効果を得ることができる。

## 【 0 0 7 5 】

投影レンズ 1 0 1 の振動は、x y 平面で x 方向に直線運動させればよい。図 8 の光学系では、平面 P a でレーザービーム L B が走査される方向に直交する方向 ( x 方向 ) にレーザービーム L B 端部が振動するように、投影レンズ 1 0 1 を振動させることで、平面 P a でのレーザービーム L B の端部近傍の x 方向の強度分布を時間的に平均化させることが可能である。よって、所定の一方方向 ( y 方向 ) に走査しながらレーザービーム L B を照射することで、被照射物の温度を均一に上昇させることができるので、レーザービーム L B の照射による作用を均一に被照射物に与えることができる。

## 【 0 0 7 6 】

レーザービームの強度分布を時間的に平均化する効果を顕在化するには、投影レンズ 1 0 1 の振動の振幅  $d_{am}$ 、つまり振動の 1 周期における変位は上限を  $10 \mu m$  程度とし、下限はレーザービーム L B の波長である。また、投影レンズ 1 0 1 の振動の振幅  $d_{am}$  は、振動しないときに平面 P a に投影される干渉縞の間隔とすればよい。

## 【 0 0 7 7 】

レーザービームの強度分布を時間的に平均化する効果を顕在化するには、投影レンズ 1 0 1 の振動の周波数  $f_2$  は、レーザービーム L B が C W レーザまたは疑似 C W レーザから射出されるレーザービームの場合、 $f_2 = V / d$  とするのが好ましい。d は、平面 P a におけるレーザービーム L B の y 方向の長さであり、V はレーザービーム L B の平面 P a における y 方向の走査速度である。また、レーザービーム L B がパルス発振レーザから射出されるレーザービームの場合、周波数  $f_2$  はパルス幅の逆数以上、 $f_2 = \tau^{-1}$  とするのが好ましい。

## 【 0 0 7 8 】

図 1、図 4、図 5、図 7 および図 8 に示す光学系を有するレーザー照射装置は、非晶質シリコンなどの非晶質材料を結晶化する加熱処理に用いることができる。これらの光学系を通してレーザービームを照射して、非晶質材料を結晶化することにより、均一な結晶構造の結晶性材料を得ることができる。例えば、非晶質シリコン膜を結晶化することで、結晶構造が均一で、大粒径の結晶性シリコン膜を形成することができる。

## 【 0 0 7 9 】

また、図 1、図 4、図 5、図 7 および図 8 の光学系を有するレーザー照射装置は、結晶化のための加熱処理の他、半導体材料に添加した n 型不純物や p 型不純物を活性化するための加熱処理、シリコンと金属を反応させてシリサイドを形成するための加熱処理、レーザースクライブ処理など、様々な加熱処理に用いることができる。

## 【 0 0 8 0 】

図 1、図 4、図 5、図 7 および図 8 の光学系でレーザービーム L B を走査するには、レーザービーム L B を被照射物に対して相対的に移動できればよい。よって、レーザービーム L B のみを移動する、被照射物のみを移動する、またはレーザービーム L B および被照射物双方を移動する、いずれの方法でもレーザービーム L B を走査することができる。

## 【 0 0 8 1 】

図 1、図 4、図 5、図 7 および図 8 の光学系では、投影レンズ 1 0 1 に凸シリンドリカルレンズを用い、x 方向でレーザービームを集光するように配置しているが、投影レンズ 1 0 1 に凸球面レンズを用いることもできる。

## 【 0 0 8 2 】

図 1、図 4 および図 7 ビームホモジナイザ 1 0 0 を有する光学系において、ビームホモジナイザ 1 0 0 の入射側に、少なくとも x 方向にパワーを有する集光レンズを配置するの

10

20

30

40

50

が好ましい。集光レンズによって、レーザービームLBを集光させることで、レーザービームLBをビームホモジナイザ100に入射させやすくすることができる。集光レンズには、例えば、凸シリンドリカルレンズ、凸球面レンズが用いられる。

【0083】

図1および図9のように、ビームホモジナイザ100を有する光学系において、ビームホモジナイザ100の射出側に、平面PaにおいてレーザービームLBをy方向に集光する集光レンズを配置するのが好ましい。また、図4の光学系ではスリット120の射出側に、図5の光学系ではスリット130の射出側に、平面PaにおいてレーザービームLBをy方向に集光する集光レンズを配置するのが好ましい。y方向にレーザービームLBを集光させることで、レーザービームLBの平面Paでの強度を高くすることができ、レーザービームLBのエネルギーを効率良く被照射物に供給できる。集光レンズは投影レンズ101の入射側でも、射出側のいずれでもよい。集光レンズには、例えば、凸シリンドリカルレンズ、凸球面レンズが用いられる。

10

【実施例1】

【0084】

本実施例では、光学系に振動するビームホモジナイザを有するレーザー照射装置、および振動するビームホモジナイザを用いたレーザー照射方法について説明する。図9に、本実施例のレーザー照射装置の構成例を示す。図9のレーザー照射装置の光学系に、図4の光学系が適用されている。図9において、図4と同じ符号は同じ構成要素を示している。後述するが、y方向がレーザービームの走査方向に平行な方向であり、x方向がレーザービームの走査方向に直交する方向である。

20

【0085】

図9に示すように、レーザー照射装置は、レーザー発振器201、被照射物Obの保持手段である吸着ステージ202を有する。レーザー発振器201には、CWレーザー、疑似CWレーザーまたはパルス発振レーザーが用いられる。

【0086】

レーザー照射装置には、吸着ステージ202をx方向に移動するためのXステージ203、吸着ステージ202をy方向に移動するためのYステージ204を有する。Xステージ203、Yステージ204によって、被照射物Obをxy平面で2次元的に移動する。つまり、Xステージ203、Yステージ204によって被照射物Obを移動することにより、被照射物Obの被照射面におけるレーザービームLBのビームスポット $S_b$ をxy平面で走査する。

30

【0087】

レーザー照射装置の光学系は、レーザー発振器201の射出側から、集光レンズ150、ビームホモジナイザ100、スリット120、偏向ミラー151、投影レンズ101、集光レンズ152が配置されている。投影レンズ101を集光レンズ152の射出側に配置してもよい。

【0088】

ビームホモジナイザ100は矩形状の第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104を有し、ビームスポット $S_b$ のx方向の強度分布を均一にするように配置されている。第1の反射ミラー103と第2の反射ミラー104の間隔は500 $\mu$ m以上1mm以下とすればよい。第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104には、図1と同様、それぞれ振動子を取り付けられている。振動子の振動により、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104はx方向、つまりビームスポット $S_b$ の長尺方向に振動する。

40

【0089】

スリット120は、ビームスポット $S_b$ のx方向の両端を遮蔽するように配置されている。偏向ミラー151は、レーザービームLBの光路を偏向するために配置されている。偏向ミラー151は、光路を偏向する必要がある箇所に適宜配置される。従って、本発明の光学系において、偏向ミラー151の位置、および数は図9に限定されるものではない

50

。投影レンズ101はスリット120の像を被照射物Obに投影するためのレンズである。投影レンズ101により、スリット120は被照射面と共役の関係となっている。集光レンズ152は、ビームスポット $S_b$ をy方向、つまりビームスポット $S_b$ をその短尺方向に集光するためのレンズである。

#### 【0090】

図9の光学系では、投影レンズ101、集光レンズ150、152に全て凸型シリンドリカルレンズが用いられている。集光レンズ150は、レーザビームLBをx方向に集光してビームスポット $S_b$ が形成されるように配置されている。集光レンズ150はレーザビームLBを集光してビームホモジナイザ100に入射するためのレンズである。投影レンズ101はスリット120の像を被照射物Obに投影するためのレンズであり、ビームスポット $S_b$ をx方向に集光するように配置されている。集光レンズ152はビームスポット $S_b$ をy方向に集光するためのレンズである。集光レンズ152により、ビームスポット $S_b$ はその短尺方向に集光される。ビームスポット $S_b$ をy方向に集光することで、被照射物Obに熱エネルギーを効率良く供給することができる。

10

#### 【0091】

レーザ発振器201から射出されたレーザビームLBは、集光レンズ150で集光され、ビームホモジナイザ100に入射する。ビームホモジナイザ100に入射したレーザビームLBは、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104の間を反射しながら伝搬し、x方向の強度分布が均一化される。また、第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104がx方向に振動しているため、ビームホモジナイザ100の射出口のx方向の強度分布が時間的に平均化される。つまり、ビームホモジナイザ100の射出口において、レーザビームLBの干渉による周期的な強度分布が均一化される。第1の反射ミラー103および第2の反射ミラー104の振動の条件は、実施の形態1で述べたとおりである。レーザ発振器201がCWレーザまたは疑似CWレーザであるか、もしくはパルス発振レーザであるかによって、振動の周波数を最適化する。

20

#### 【0092】

ビームホモジナイザ100から射出されたレーザLBは、スリット120を通過することで端部が遮蔽される。スリット120を通過したレーザLBは、偏向ミラー151で偏向された後、投影レンズ101でx方向に集光され、集光レンズ152でy方向に集光され、被照射物Obに照射される。Yステージ204によりビームスポット $S_b$ をy方向に走査しながら、レーザビームLBを被照射物Obに照射する。

30

#### 【0093】

レーザビームLBは図9の光学系を経ることで、被照射面でのビームスポット $S_b$ の形状がx方向の長さがy方向の長さよりも長くなるような形状に加工される。より具体的には、ビームスポット $S_b$ の形状は線状、長円状または矩形状となる。なお、図9の光学系において、ビームスポット $S_b$ の形状は、アスペクト比(x方向の長さ/y方向の長さ)が10以上となるような形状が好ましい。アスペクト比は100以上がより好ましい。

#### 【0094】

図9のレーザ照射装置において、ビームホモジナイザ100において、レーザビームLBの走査方向と直交する方向(x方向、ビームスポット $S_b$ の長尺方向)のビームスポット $S_b$ の強度分布を均一化しているため、ビームスポット $S_b$ を所定の一方方向(y方向、ビームスポット $S_b$ の短尺方向)に走査することにより、被照射物Obを均一に加熱することができ、均一に温度上昇させることができる。

40

#### 【0095】

なお、本実施例では、図4の光学系(実施の形態6)を適用した光学系の構成例を説明したが、図1の光学系を適用することもできる。図1の光学系を適用するには、図9において、スリット120を省けばよい。この場合、投影レンズ101は、ビームホモジナイザ100の射出口が被照射面と共役の関係になるように配置される。また、ビームホモジナイザ100を同じ方向に振動させるならば、投影レンズ101に振動子を取り付けると

50

よい。ビームホモジナイザ 100 と共に、投影レンズ 101 を x 方向に振動させることで、ビームスポット  $S_b$  が振動しないようにすることができる。

【実施例 2】

【0096】

本実施例では、光学系に振動するスリットを有するレーザ照射装置、および振動するスリットを用いたレーザ照射方法について説明する。図 10 に、本実施例のレーザ照射装置の構成例を示す。図 10 のレーザ照射装置の光学系に、図 5 の光学系が適用されている。図 10 において、図 5 および図 9 と同じ符号は、これらの図面と同じ構成要素を示している。図 10 のレーザ照射装置も、図 9 と同様、y 方向がレーザビームの走査方向に平行な方向であり、x 方向がレーザビームの走査方向に直交する方向である。

10

【0097】

図 10 に示すように、レーザ照射装置は、レーザ発振器 201、吸着ステージ 202、X ステージ 203、Y ステージ 204 を有する。

【0098】

レーザ照射装置の光学系は、レーザ発振器 201 の射出側から、x 方向に振動するスリット 130、偏向ミラー 151、投影レンズ 101、集光レンズ 152 が順次配置されている。なお、投影レンズ 101 を集光レンズ 152 の射出側に配置してもよい。偏向ミラー 151 は、光路を偏向する必要がある箇所に適宜配置される。従って、本発明の光学系において、偏向ミラー 151 の位置、および数は図 10 に限定されるものではない。

【0099】

20

スリット 130 は 2 つの遮蔽板 131、132 を有する。遮蔽板 131、132 はビームスポット  $S_b$  の x 方向の両端を遮蔽するように配置されている。遮蔽板 131、132 には、それぞれ、振動子に取り付けられ、振動子によって x 方向に振動される。

【0100】

図 10 では、投影レンズ 101、集光レンズ 152 に凸型シリンドリカルレンズが用いられている。投影レンズ 101 はスリット 130 の像を被照射物 Ob に投影するためのレンズであり、レーザビーム LB を x 方向に集光してビームスポット  $S_b$  を形成するように配置されている。スリット 130 が被照射面と共役の関係になるように、投影レンズ 101 が配置されている。集光レンズ 152 はビームスポット  $S_b$  を y 方向に集光するためのレンズである。

30

【0101】

レーザ発振器 201 から射出されたレーザビーム LB は、スリット 130 において、x 方向の端部が遮蔽される。スリット 130 を通過したレーザビーム LB は、偏向ミラー 151 で偏向された後、投影レンズ 101 で x 方向に集光され、集光レンズ 152 で y 方向に集光され被照射物 Ob に照射される。ビームスポット  $S_b$  を Y ステージ 204 に y 方向に走査しながら、レーザビーム LB を照射する。

【0102】

レーザビーム LB が図 10 の光学系を経ることで、被照射面でのビームスポット  $S_b$  の形状は、x 方向の長さが y 方向の長さよりも長くなるような形状に加工される。より具体的には、ビームスポット  $S_b$  の形状は線状、長円状または矩形状となる。なお、図 10 の光学系において、ビームスポット  $S_b$  の形状は、アスペクト比 (y 方向の長さ / x 方向の長さ) が 10 以上となるような形状が好ましい。アスペクト比は 100 以上がより好ましい。

40

【0103】

スリット 130 の回折により、ビームスポット  $S_b$  端部近傍の強度が影響を受けるが、スリット 130 を振動させることにより、ビームスポット  $S_b$  の端部近傍の x 方向の強度分布が時間的に平均化されるため、ビームスポット  $S_b$  の端部近傍での強度が不足する、あるいは過剰になることを回避することができる。スリット 130 の振動の条件は、実施の形態 3 で述べたとおりである。レーザ発振器 201 が CW レーザまたは疑似 CW レーザであるか、もしくはパルス発振レーザであるかによって、振動の周波数を最適化す

50

る。

【0104】

つまり、図10の光学系では、レーザビームLBを所定の一方方向(y方向、ビームスポット $S_o$ の短尺方向)に走査しながら、被照射面でスリット130の像がレーザビームLBの走査方向に直交する方向(x方向、ビームスポット $S_o$ の長尺方向)に振動するように、スリット130を振動させることで、被照射物Obを均一に加熱することを可能にしている。

【0105】

なお、スリット130を同じ方向に振動させる場合、実施の形態3で説明したように、スリット130と同期させて、投影レンズ101を振動させるようにして、スリット130の光軸のずれを補償するようにすることもできる。

【実施例3】

【0106】

本実施例では、光学系に振動する投影レンズを有するレーザ照射装置、および振動する投影レンズを用いたレーザ照射方法について説明する。図11に、本実施例のレーザ照射装置の構成例を示す。図11のレーザ照射装置の光学系に、図7の光学系が適用されている。図11において、図7および図9と同じ符号は、これらの図面と同じ構成要素を示している。図7のレーザ照射装置も、図9と同様、y方向がレーザビームの走査方向に平行な方向であり、x方向がレーザビームの走査方向に直交する方向である。

【0107】

図11に示すように、レーザ照射装置は、レーザ発振器201、吸着ステージ202、Xステージ203、Yステージ204を有する。

【0108】

レーザ照射装置の光学系は、レーザ発振器201の射出側から、固定されたスリット130、偏向ミラー151、投影レンズ101、集光レンズ152が順次配置されている。なお、投影レンズ101を集光レンズ152の射出側に配置してもよい。偏向ミラー151は、光路を偏向する必要がある箇所に適宜配置される。従って、本発明の光学系において、偏向ミラー151の位置、および数は図11に限定されるものではない。

【0109】

投影レンズ101には、図7と同様、振動子を取り付けられ、振動子によってx方向に振動される。投影レンズ101の振動の条件は、実施の形態4で述べたとおりである。レーザ発振器201がCWレーザまたは疑似CWレーザであるか、もしくはパルス発振レーザであるかによって、振動の周波数を最適化する。

【0110】

レーザビームLBは図11の光学系を経ることで、図9の光学系と同様、被照射面でのビームスポット $S_o$ の形状がx方向の長さがy方向の長さよりも長くなるような形状に加工される。より具体的には、ビームスポット $S_o$ の形状は線状、長円状または矩形状となる。なお、図10の光学系において、ビームスポット $S_o$ の形状は、アスペクト比(y方向の長さ/x方向の長さ)が10以上となるような形状が好ましい。アスペクト比は100以上がより好ましい。

【0111】

スリット130の回折により、ビームスポット $S_o$ の端部近傍の強度が影響を受け、不均一になるが、投影レンズ101を振動させることにより、図9のレーザ照射装置と同様、ビームスポット $S_o$ の端部近傍のx方向の強度分布が時間的に平均化されるため、ビームスポット $S_o$ の端部近傍で強度が不均一になることを回避することができる。

【0112】

図11の光学系では、レーザビームLBを所定の一方方向(y方向、ビームスポット $S_o$ の短尺方向)に走査しながら、投影レンズ101をレーザビームLBの走査方向に直交する方向(x方向、ビームスポット $S_o$ の長尺方向)に振動させることで、ビームスポット $S_o$ を走査方向に直交する方向(x方向、ビームスポット $S_o$ の長尺方向)振動

10

20

30

40

50



させ、ビームスポット S o b の端部近傍での強度分布を均一化している。そのため、図 11 のレーザ照射装置では、被照射物 O b を均一に加熱することが可能である。

#### 【0113】

なお、本実施例では、振動する投影レンズを有するレーザ照射装置として、図 7 の光学系を有するレーザ照射装置を示したが、レーザ照射装置に図 8 の光学系を適用することもできる。この場合、図 10 に示すレーザ照射装置において、スリット 130 の振動子を取り外し、投影レンズ 101 に振動子を取り付け、x 方向に振動されるように構成する。投影レンズ 101 の振動の条件は、実施の形態 5 と同様である。このように、図 10 のレーザ照射装置の構成を変更することでも、図 10 のレーザ照射装置と同様に、被照射物 O b を均一に加熱することが可能である。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0114】

【図 1】振動するビームホモジナイザを有する光学系の構成例を示す図であり、x z 平面および z y 平面の平面図を示す。

【図 2】ビームホモジナイザの立体斜視図である。

【図 3】ビームホモジナイザの振動を説明する図、(A) は同じ方向に直線運動する場合、(B) は異なる方向に直線運動する場合、(C) は同じ方向に回転運動する場合、(D) は異なる方向に回転運動する場合を示す。

【図 4】振動するビームホモジナイザを有する光学系の構成例を示す図であり、x z 平面および z y 平面の平面図を示す。

20

【図 5】振動するスリットを有する光学系の構成例を示す図であり、x z 平面および z y 平面の平面図を示す。

【図 6】スリットの振動を説明する図であり、(A) は同じ方向に直線運動する場合を示し、(B) は異なる方向に直線運動する場合を示す。

【図 7】振動する投影レンズを有する光学系の構成例を示す図であり、x z 平面および z y 平面の平面図を示す。

【図 8】振動する投影レンズを有する光学系の構成例を示す図であり、x z 平面および z y 平面の平面図を示す。

【図 9】振動するビームホモジナイザを有するレーザ照射装置の構成例を示す立体斜視図である。

30

【図 10】振動するスリットを有するレーザ照射装置の構成例を示す立体斜視図である。

【図 11】振動するスリットを有するレーザ照射装置の構成例を示す立体斜視図である。

【図 12】(A)、(B) 特許文献 1 に記載されたビームホモジナイザの平面図であり、(B) は (A) と直交する方向の平面図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0115】

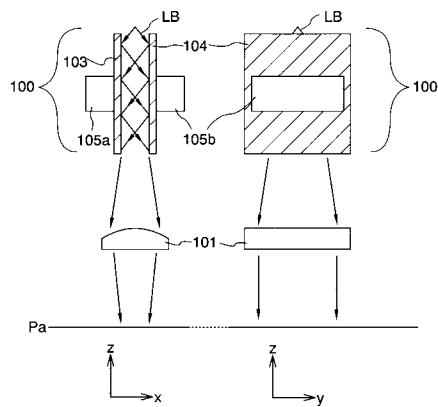
- 11、12 反射ミラー
- 100 ビームホモジナイザ
- 101 投影レンズ
- 103 第 1 の反射ミラー
- 104 第 2 の反射ミラー
- 105 a、105 b 振動子
- 120 スリット
- 130 スリット
- 131、132 遮蔽板
- 135 a、135 b 振動子
- 145 振動子
- 150 集光レンズ
- 151 偏向ミラー
- 152 集光レンズ

40

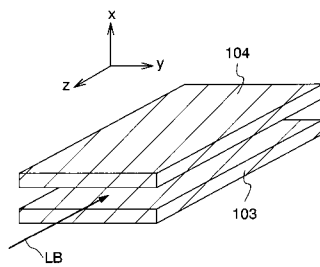
50

- 201 レーザ発振器  
 202 吸着ステージ  
 203 Xステージ  
 204 Yステージ  
 LB レーザビーム  
 Pa 平面（被照射面）  
 Ob 被照射物  
 Sob 被照射面におけるレーザービームスポット

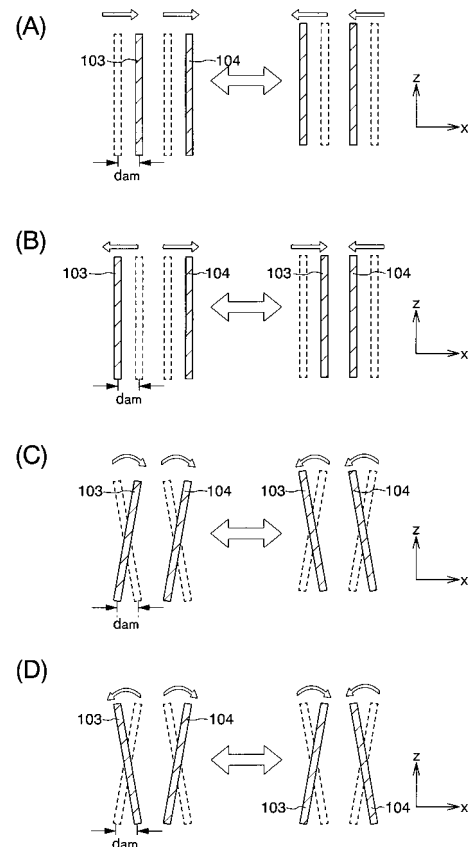
【図1】



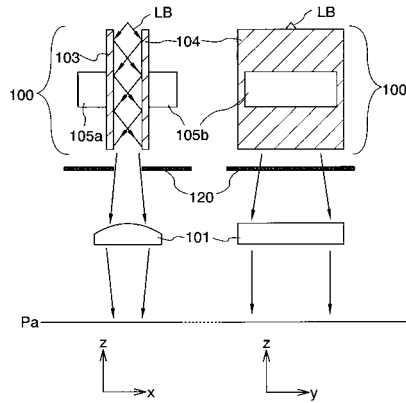
【図2】



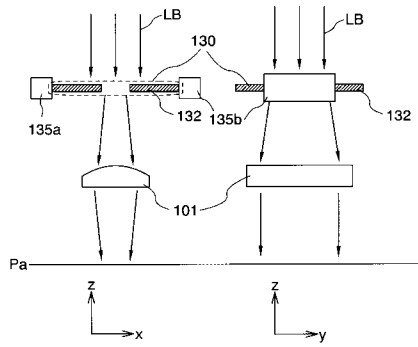
【図3】



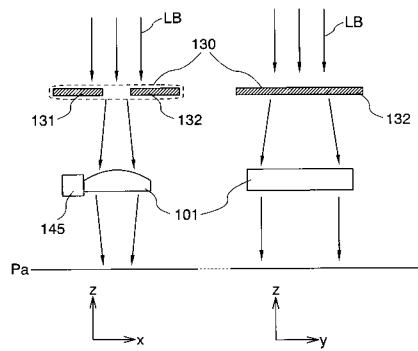
【図 4】



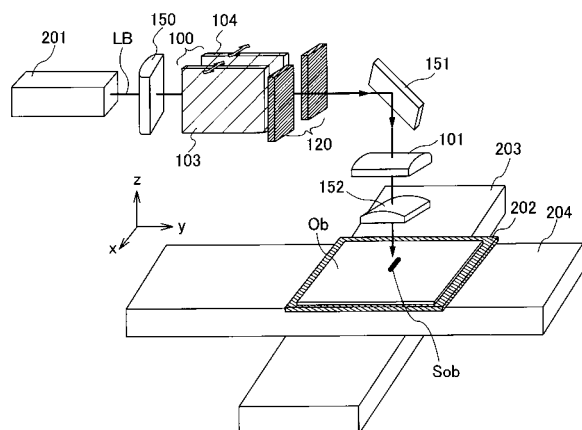
【図 5】



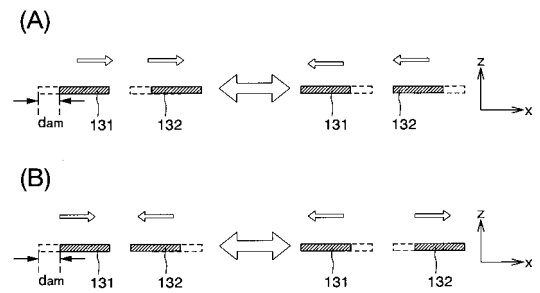
【図 8】



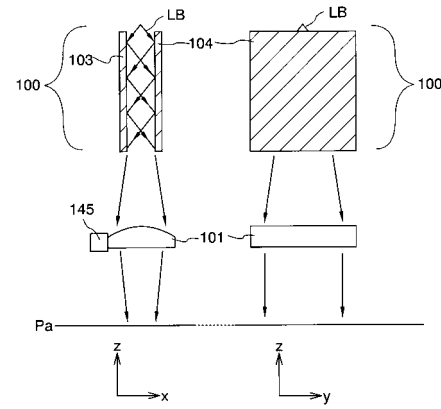
【図 9】



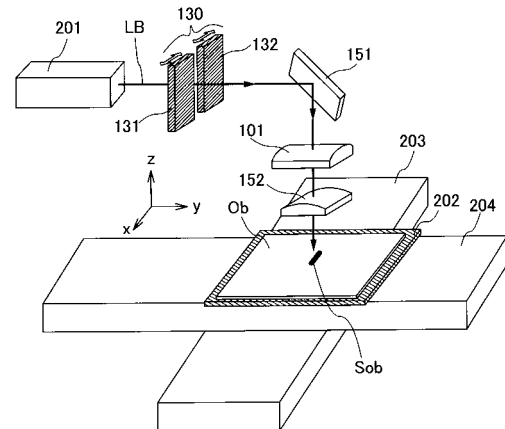
【図 6】



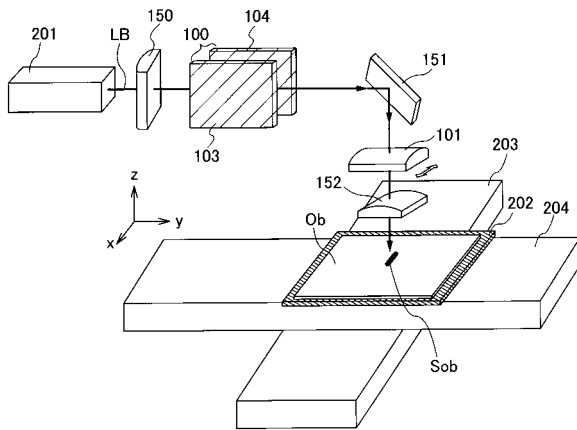
【図 7】



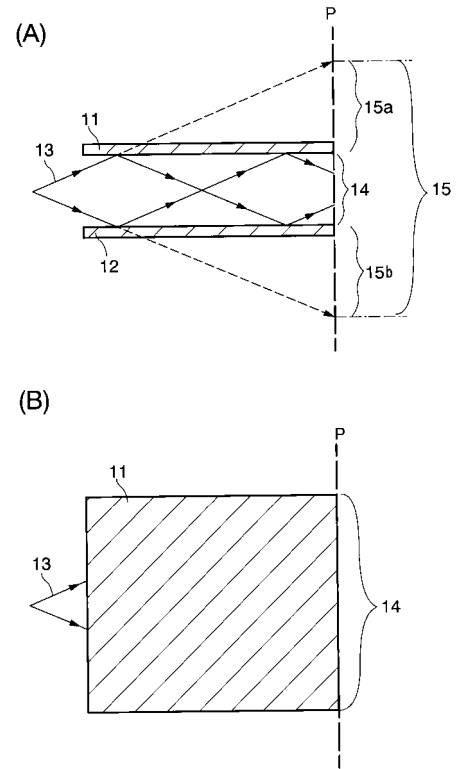
【図 10】



【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 0 5 - 2 8 5 6 8 4 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 3 3 8 9 6 2 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 2 1 2 0 2 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 1 5 6 9 8 2 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 1 3 5 3 0 8 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 2 1 / 2 6 8  
H 0 1 L 2 1 / 2 0  
G 0 2 B 2 7 / 0 9