

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-129916

(P2005-129916A)

(43) 公開日 平成17年5月19日(2005.5.19)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/268	HO 1 L 21/268 J	5 F 0 5 2
HO 1 L 21/20	HO 1 L 21/268 F	5 F 1 1 0
HO 1 L 21/336	HO 1 L 21/20	
HO 1 L 29/786	HO 1 L 29/78 6 2 7 G	

審査請求 未請求 請求項の数 28 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2004-282947 (P2004-282947)
 (22) 出願日 平成16年9月29日 (2004. 9. 29)
 (31) 優先権主張番号 特願2003-341383 (P2003-341383)
 (32) 優先日 平成15年9月30日 (2003. 9. 30)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 森若 智昭
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内

F ターム (参考) 5F052 AA02 AA11 BA07 BA18 BB01
 BB02 BB07 CA07 DA01 DA02
 DA03 DB03 DB07 FA06 FA19
 HA01 JA01
 5F110 AA30 BB01 DD02 DD13 GG01
 GG02 GG13 GG43 GG44 GG45
 PP01 PP03 PP05 PP06 PP29
 PP34

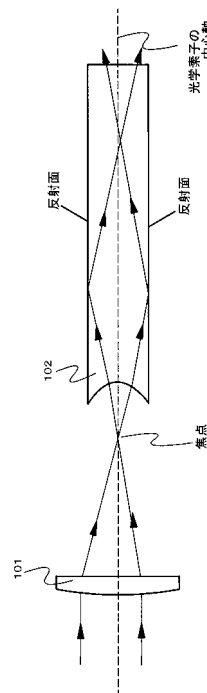
(54) 【発明の名称】 ビームホモジナイザ、レーザ照射装置、半導体装置の作製方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザの発振状態の変化や、メンテナンス前後において、被照射面におけるビームスポットのエネルギー分布が変化する。

【解決手段】 本発明は、長方形のビームスポットの形成用光学系において、被照射面における長方形のビームスポットの長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学系を、レーザビームの入射側に曲面形状を有し、かつ向かい合う二つの反射面を有する光学素子に置き換えるものである。入射側面とは、光学素子を構成する面であって、レーザビームの入射側に配置され、レーザビームが最初に該光学素子に入射する面と定義する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被照射面においてビームスポットの長方形の長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学素子を有し、

前記光学素子は前記エネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向い合う二つの反射面および前記レーザービームの入射側面に曲面形状を有することを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 2】

被照射面においてビームスポットの長方形の長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学素子と、

前記光学素子により形成されるエネルギー分布の均一な面を前記被照射面に投影する一つもしくは複数のシリンドリカルレンズとを有し、

前記光学素子は前記エネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向い合う二つの反射面および前記レーザービームの入射側面に曲面形状を有することを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、前記光学素子はライトパイプであることを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 4】

請求項 1 または 2 において、前記光学素子は光導波路であることを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項において、前記曲面形状はシリンドリカル面であることを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項において、前記曲面形状は、前記光学素子が作用する方向に曲率をもつことを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項において、前記長方形のビームスポットのアスペクト比は 10 以上であることを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項において、前記長方形のビームスポットのアスペクト比は 100 以上であることを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 9】

レーザー発振器と、

被照射面において長方形のビームスポットの長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学素子とを有し、

前記光学素子は前記エネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向い合う二つの反射面および前記レーザービームの入射側面に曲面形状を有することを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 10】

レーザー発振器と、

被照射面において長方形のビームスポットの長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学素子と、

前記光学素子により形成されるエネルギー分布の均一な面を前記被照射面に投影する一つもしくは複数のシリンドリカルレンズとを有し、

前記光学素子は前記エネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向い合う二つの反射面および前記レーザービームの入射側面に曲面形状を有することを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

請求項 9 または 10 において、前記光学素子はライトパイプであることを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 12】

請求項 9 又は 10 において、前記光学素子は光導波路であることを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 13】

請求項 9 乃至 12 のいずれか一項において、前記曲面形状はシリンドリカル面であることを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 14】

請求項 9 乃至 13 のいずれか一項において、前記曲面形状は、前記光学素子が作用する方向に曲率を持つことを特徴とするレーザー照射装置。 10

【請求項 15】

請求項 9 乃至 14 のいずれか一項において、前記長方形のビームスポットのアスペクト比は 10 以上であることを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 16】

請求項 9 乃至 14 のいずれか一項において、前記長方形のビームスポットのアスペクト比は 100 以上であることを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 17】

請求項 9 乃至 16 のいずれか一項において、前記レーザー発振器は、エキシマレーザー、YAGレーザー、ガラスレーザー、YVO₄レーザー、YLFレーザー、Arレーザー、GdVO₄レーザーのいずれかであることを特徴とするレーザー照射装置。 20

【請求項 18】

請求項 9 乃至 17 のいずれか一項において、前記被照射面を有する被照射体をビームスポットに対し相対的に移動させる走査ステージを有することを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 19】

請求項 18 において、前記被照射面を有する被照射体を前記走査ステージに運搬する自動搬送装置を有することを特徴とするレーザー照射装置。

【請求項 20】

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
レーザー発振器で発振したレーザービームを、前記非単結晶半導体膜を被照射面として、前記照射面において長方形のビームスポットの長辺方向または短辺方向に前記レーザービームのエネルギー分布を均一化する光学素子を有する光学系を用いて前記被照射面に長方形のビームスポットに整形して、前記ビームスポットの位置を移動させながら前記非単結晶半導体膜をレーザーアニールする工程とを有し、
前記光学素子は前記エネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向い合う二つの反射面および光学素子は前記レーザービームの入射側面に曲面形状を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。 30

【請求項 21】

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
レーザー発振器で発振したレーザービームを、前記非単結晶半導体膜を被照射面として、照射面において長方形のビームスポットの長辺方向または短辺方向に前記レーザービームのエネルギー分布を均一化する光学素子と前記光学素子により形成されるエネルギー分布の均一な面を前記被照射面に投影する一つまたは複数のシリンドリカルレンズとを有する光学系を用いて前記被照射面において長方形のビームスポットに整形して、前記ビームスポットの位置を移動させながら前記非単結晶半導体膜をレーザーアニールする工程とを有し、
前記光学素子は前記エネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向い合う二つの反射面および前記レーザービームの入射側面に曲面形状を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。 40

【請求項 22】

請求項 20 又は 21 において、前記光学素子はライトパイプであることを特徴とする半導 50

体装置の作製方法。

【請求項 23】

請求項 20 又は 21 において、前記光学素子は光導波路であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 24】

請求項 20 乃至 23 のいずれか一項において、前記曲面形状はシリンドリカル面であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 25】

請求項 20 乃至 24 のいずれか一項において、前記曲面形状は前記光学素子が作用する方向に曲率をもつことを特徴とする半導体装置の作製方法。

10

【請求項 26】

請求項 20 乃至 25 のいずれか一項において、前記長方形形状のビームスポットのアスペクト比は 10 以上であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 27】

請求項 20 乃至 25 のいずれか一項において、前記長方形形状のビームスポットのアスペクト比は 100 以上であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 28】

請求項 20 乃至 27 のいずれか一項において、前記レーザ発振器は、エキシマレーザ、YAGレーザ、ガラスレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、Arレーザ、GdVO₄レーザのいずれかであることを特徴とする半導体装置の作製方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は被照射面におけるビームスポットのエネルギー分布をある特定の領域で均一化するビームホモジナイザ及びそれを用いたレーザ照射装置に関する。さらに、当該レーザ照射装置を用いた半導体装置の作製方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、ガラス等の絶縁基板上に形成された非単結晶半導体膜（非単結晶半導体であって、すなわち単結晶ではなく多結晶、微結晶等の結晶性を有する半導体膜若しくは非晶質半導体）に対し、レーザアニールを施す技術が、広く研究されている。なお、ここでいうレーザアニールとは、半導体基板又は半導体膜に形成された損傷層や非晶質層を再結晶化する技術や、基板上に形成された非単結晶半導体膜を結晶化させる技術を指している。また、半導体基板又は半導体膜の平坦化や表面改質に適用される技術も含んでいる。

30

【0003】

結晶化にレーザアニールが使用されるのは、ガラス基板の融点が高いからである。レーザは基板の温度をあまり変えずに非単結晶半導体膜にのみ高いエネルギーを与えることができる。

【0004】

エキシマレーザ等の出力の大きいパルス発振式のレーザビームを、被照射面において、数 cm 角の四角いスポットや、長辺方向の長さ 10 cm 以上の長方形形状となるように光学系にて加工し、ビームスポットの照射位置を被照射面に対して相対的に走査させて、レーザアニールを行う方法が、量産性が良く、工業的に優れているため、好んで使用される。なお、長方形形状のビームスポットの内、特にアスペクト比が高いものを線状のビームスポットと呼ぶこととする。

40

【0005】

特に、線状のビームスポットを用いると、前後左右の走査が必要な点状のビームスポットを用いた場合とは異なり、線状のビームスポットのビーム幅が長い方向に直角な方向だけの走査で大面積の被照射面にレーザビームを照射することができるため、高い量産性が得られる。ビーム幅の長い方向に直角な方向に走査するのは、それが最も効率のよい走査

50

方向であるからである。この高い量産性により、現在のレーザーアニールにはパルス発振のエキシマレーザーのビームスポットを適当な光学系で加工した線状のビームスポットを使用することが主流になりつつある。

【0006】

図12に、被照射面においてビームスポットの断面形状を線状に加工するための光学系の例を示す。図12中に示す光学系はきわめて一般的なものである。この光学系は、ビームスポットの断面形状を線状に変換するだけでなく、同時に、被照射面におけるビームスポットのエネルギー分布均一化を果たすものである。一般に、ビームスポットのエネルギー分布を均一化する光学系を、ビームホモジナイザと呼ぶ。図12に示した光学系もビームホモジナイザである。

10

【0007】

XeClエキシマレーザー(波長308nm)を光源に使用するならば、上記光学系の母材は石英で形成されている。その他のエキシマレーザーで、さらに短波長のものを光源とする場合は、フローライトやMgF₂などの母材が用いられている。

【0008】

図12(a)の側面図では、XeClエキシマレーザーであるレーザー発振器1201から発せられたレーザービームは、シリンダリカルレンズアレイ1202aと1202bにより、レーザービームのスポットを1方向に分割されている。この分割された方向を、縦方向と呼ぶことにする。縦方向は、光学系の途中でミラーが入ったとき、ミラーが曲げた光の方向に曲がるものとする。この構成では、4分割となっている。これらの分割されたスポットは、シリンダリカルレンズ1204により、いったん1つのスポットにまとめられる。再び分離したスポットはミラー1206で反射され、その後、ダブレットシリンダリカルレンズ1207により、被照射面1208にて再び1つのスポットに集光される。ダブレットシリンダリカルレンズとは、2枚のシリンダリカルレンズで構成されているレンズのことをいう。これにより、線状のビームスポットの縦方向のエネルギー均一化がなされ、縦方向の長さが決定される。

20

【0009】

図12(b)の平面図で見ると、レーザー発振器1201から発せられたレーザービームは、シリンダリカルレンズアレイ1203により、レーザービームのスポットを、縦方向に対し直角方向に分割する。この直角方向を、横方向と呼ぶことにする。横方向は、光学系の途中でミラーが入ったとき、前記ミラーが曲げた光の方向に曲がるものとする。この構成では、7分割となっている。その後、シリンダリカルレンズ1205にて、7分割されたスポットは被照射面1208にて1つに合成される。ミラー1206以降が破線で示されているが、破線は、ミラー1206を配置しなかった場合の正確な光路とレンズや被照射面の位置を示している。これにより、線状のビームスポットの横方向のエネルギーの均一化がなされ、横方向の長さが決定される。

30

【0010】

上述したように、シリンダリカルレンズアレイ1202aとシリンダリカルレンズアレイ1202bとシリンダリカルレンズアレイ1203とがレーザービームのスポットを分割するレンズとなる。これらの分割数により、得られる線状ビームスポットのエネルギー分布の均一性が決まる。

40

【0011】

エキシマレーザーの発生するレーザービームの形状は一般的に長方形であり、アスペクト比で表現すると、1~5位の範囲に入る。レーザービームのスポットの強度は、レーザービームのスポットの中央ほど強い、ガウシアン分布を示す。前記レーザービームのスポットサイズは、図12に示した光学系により、エネルギー分布が一様のスポット形状320mm×0.4mmの線状のビームスポットに変換される。

【0012】

上記の構成で加工された線状のビームスポットをそのビームスポットの縦方向に徐々にずらしながら重ねて照射する。そうすると、非単結晶珪素膜全面に対しレーザーアニールを

50

施して結晶化させたり結晶性を向上させることができる。現在は、量産工場において、上記のような光学系により長く線状に加工されたビームスポットを使って半導体膜のレーザーアニールが行われている。

【0013】

ビームホモジナイザには、反射鏡を用いているもの（例えば、特許文献1参照。）がある。

【特許文献1】特開2001-291681号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

パルス発振式であるエキシマレーザーの発振状態の変化によるビーム軸の変動やビーム広がり角の変化、エキシマレーザーのレーザー媒質であるガスと外気を遮断するウインドウのクリーニングにより、被照射面におけるビームスポットの均一性が悪化するなど、量産装置としての完成度はあまり高いものとは言えない。なお、ビーム軸とはビームが通る道筋のことであり、ビーム軸の変動とは、ビームの平行移動を含むビームの進行方向の変化を意味する。本発明は上記の問題点を鑑みて、エキシマレーザーの発振状態の変化や、メンテナンス前後において、被照射面におけるビームスポットのエネルギー分布の変化を極力抑えるビームホモジナイザを提供する。また、本発明は前記ビームホモジナイザを用いたレーザー照射装置及び半導体装置の作製方法を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

20

【0015】

本発明において、被照射面におけるビームスポットのエネルギー分布を均一化する方法に、レーザービームの入射側面に曲面形状を有し、かつ向い合う二つの反射面を有する光学素子を用いる。このような光学素子として、例えばライトパイプや光導波路があげられる。ライトパイプとは、通常、全反射によって一端から他端に光を伝送する直方体、円錐、ピラミッド形、円柱などの形状に形成された透明部材からなる光学素子のことを言い、照明光学の分野に属するものである。また、光導波路とは、光ファイバー等に代表されるような光通信分野に属し、放射光を一定領域に閉じ込め、その光線の流れを案内して目的の領域に光伝送する能力を持った光学素子である。なお、光伝送にはミラーによる反射を用いることもある。したがって、ライトパイプと光導波路は属する分野が異なるものの、光学的な作用はほぼ同じと見なすことができる。

30

【0016】

本発明のビームホモジナイザは、被照射面におけるビームスポットを長方形に形成するためのビームホモジナイザであって、前記長方形の長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を前記被照射面において均一化する光学素子を有し、前記光学素子はレーザービームの入射側面に曲面形状を有することを特徴とする。ここで、入射側面とは、光学素子を構成する面であって、レーザービームの入射側に配置され、レーザービームが最初に該光学素子に入射する面と定義する。曲面形状として例えばレンズがあげられる。

【0017】

本発明において、前記光学素子のレーザービームの入射側面に曲面形状を有する理由は以下のとおりである。ビーム軸の中心軸が前記光学素子の中心軸と一致しない場合、レーザービームは前記光学素子の入射側面に対して斜め方向から入射することになる。レーザービームが前記光学素子の入射側面に対して斜め方向から入射すると、前記光学素子におけるレーザービームの反射が光学素子の中心軸に対して非対称となり、前記光学素子の射出口におけるレーザービームのビームスポットのエネルギー分布が十分に均一化されない。そこで、前記光学素子の入射側面に曲面形状を設け、前記光学素子内におけるレーザービームの反射を光学素子の中心軸に対称もしくは対称に近い状態に修正することで、前記光学素子のレーザービームの射出口でのビームスポットのエネルギー分布を均一化することが可能となる。

40

【0018】

50

本発明は、被照射面におけるビームスポットを長方形状に形成するためのビームホモジナイザであって、前記長方形状の長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を前記被照射面において均一化する光学素子と、前記光学素子により形成されるエネルギー分布の均一な面を前記被照射面に投影する一つもしくは複数のシリンドリカルレンズとを有し、前記光学素子は、レーザビームの入射側面に曲面形状を有し、かつ向かい合う二つの反射面を有することを特徴する。

【0019】

本発明は、被照射面におけるビームスポットを長方形状に形成するためのビームホモジナイザであって、前記ビームホモジナイザは複数の光学素子を有し、前記複数の光学素子のうち少なくとも、前記長方形状の長辺方向のエネルギー分布を前記被照射面において均一化する第1の光学素子と、前記長方形状の短辺方向のエネルギー分布を前記被照射面において均一化する第2の光学素子とを有し、前記第1の光学素子及び前記第2の光学素子はレーザビームの入射側面に曲面形状を有し、かつ向かい合う二つの反射面を有することを特徴とする。

10

【0020】

本発明は、上記の被照射面におけるビームスポットを長方形状に形成するビームホモジナイザにおいて、被照射面における前記長方形状のビームスポットの長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学素子を、ライトパイプまたは光導波路に置き換えたものである。

【0021】

本発明のビームホモジナイザにおいて、前記曲面形状はシリンドリカル面で構成され、前記光学素子が作用する方向に曲率を有することを特徴とする。

20

【0022】

本発明は、上記のビームホモジナイザにおいて、被照射面におけるビームスポットのアスペクト比が10以上、好ましくは100以上の長方形状であることを特徴としている。

【0023】

本発明のレーザ照射装置は、被照射面におけるビームスポットが長方形状であるレーザ照射装置であって、レーザ発振器と、ビームホモジナイザとを有し、前記ビームホモジナイザにおいて、前記長方形状の長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する手段として光学素子を有し、前記光学素子は、レーザビームの入射側面に曲面形状を有し、かつ向かい合う二つの反射面を有することを特徴とする。

30

【0024】

本発明は、被照射面におけるビームスポットが長方形状であるレーザ照射装置であって、レーザ発振器と、ビームホモジナイザと、前記ビームホモジナイザにより形成されるエネルギー分布の均一な面を前記被照射面に投影する一つもしくは複数のシリンドリカルレンズとを有し、前記ビームホモジナイザにおいて、前記長方形状の長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する手段として光学素子を有し、前記光学素子のレーザビームの入射側面に曲面形状を有し、かつ向かい合う二つの反射面を有することを特徴とする。

【0025】

本発明は、被照射面におけるビームスポットが長方形状であるレーザ照射装置であって、レーザ発振器と、ビームホモジナイザとを有し、前記ビームホモジナイザは複数の光学素子を有し、前記複数の光学素子のうち少なくとも、前記長方形状の長辺方向のエネルギー分布を均一化する手段として第1の光学素子と、前記長方形状の短辺方向のエネルギー分布を均一化する手段として第2の光学素子とを有し、前記第1の光学素子及び前記第2の光学素子のレーザビームの入射側面に曲面形状を有し、かつ向かい合う二つの反射面を有することを特徴とする。

40

【0026】

本発明は、被照射面におけるビームスポットが長方形状であるレーザ照射装置であって、上記の長方形状のレーザビーム形成用光学系において、被照射面におけるビームスポット

50

の長辺方向または短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学素子を、ライトパイプまたは光導波路で実現するものである。

【0027】

本発明のレーザ照射装置において、前記曲面形状は前記光学素子が作用する方向に曲率を持つシリンドリカル面で構成されることを特徴とする。

【0028】

本発明は、上記のレーザ照射装置の発明において、被照射面におけるビームスポットのアスペクト比が10以上、好ましくは100以上の長方形状であることを特徴としている。

【0029】

本発明は、上記のレーザ照射装置の発明において、前記被照射面を有する被照射体をビームスポットに対し相対的に移動させる走査ステージ、および前記被照射面を有する被照射体を前記走査ステージに運搬する自動搬送装置を有することを特徴としている。

【0030】

本発明は、上記のレーザ照射装置の発明において、前記レーザ発振器は、エキシマレーザ、YAGレーザ、ガラスレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、Arレーザ、GdVO₄レーザのいずれかであることを特徴としている。

【0031】

本発明の半導体装置の作製方法は、基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、レーザ発振器で発振したレーザビームを、前記非単結晶半導体膜を被照射面として、前記レーザビームを均一化する光学素子を有する光学系を用いて被照射面において長方形状のビームスポットに整形して、前記ビームスポットの位置を移動させながら前記非単結晶半導体膜をレーザアニールする工程とを有し、前記光学素子は前記長方形状のビームスポットの長辺方向または短辺方向に作用し、前記光学素子におけるレーザビームの入射側面には、曲面形状を有し、かつ向い合う二つの反射面を有することを特徴とする。

【0032】

本発明の半導体装置の作製方法は、基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、レーザ発振器で発振したレーザビームを、前記非単結晶半導体膜を被照射面として、前記レーザビームを均一化する光学素子と前記光学素子により形成されるエネルギー分布の均一な面を前記被照射面に投影する一つもしくは複数のシリンドリカルレンズとを有する光学系を用いて前記被照射面において長方形状のビームスポットに整形して、前記ビームスポットの位置を移動させながら前記非単結晶半導体膜をレーザアニールする工程とを有し、前記光学素子は前記長方形状のビームスポットの長辺方向または短辺方向に作用し、前記光学素子におけるレーザビームの入射側面には、前記光学素子が作用する方向に曲面形状を有し、かつ向い合う二つの反射面を有することを特徴とする。

【0033】

本発明の半導体装置の作製方法は、基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、レーザ発振器で発振したレーザビームを、前記非単結晶半導体膜を被照射面として、複数の光学素子を有する光学系を用いて前記被照射面において長方形状のビームスポットに整形して、前記ビームスポットの位置を移動させながら前記非単結晶半導体膜をレーザアニールする工程とを有し、前記複数の光学素子の内少なくとも、前記長方形状のビームスポットの長辺方向に作用する第1の光学素子と、前記長方形状のビームスポットの短辺方向に作用する第2の光学素子とを有し、前記第1の光学素子及び前記第2の光学素子におけるレーザビームの入射側面には、それぞれ前記第1の光学素子及び前記第2の光学素子が作用する方向に曲面形状を有し、かつ向い合う二つの反射面を有することを特徴とする。

【0034】

本発明は、上記の半導体装置の作製方法の発明において、上記の長方形状のレーザビーム形成用光学系において、被照射面におけるビームスポットの短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学素子を、ライトパイプまたは光導波路に置き換えたものである。

【0035】

10

20

30

40

50

本発明の半導体装置の作製方法において、前記曲面は前記光学素子が作用する方向に曲面形状を有するシリンダリカル面であることを特徴としている。

【0036】

本発明は、上記の半導体装置の作製方法の発明において、被照射面におけるビームスポットのアスペクト比が10以上、好ましくは100以上の長方形形状であることを特徴としている。

【0037】

本発明は、上記の半導体装置の作製方法の発明において、前記レーザ発振器は、エキシマレーザ、YAGレーザ、ガラスレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、Arレーザ、GdVO₄レーザのいずれかであることを特徴としている。

10

【発明の効果】

【0038】

本発明に係るレーザビームの入射側面に曲面形状を有し、レーザビームを均一化する光学素子を用いて長方形形状のビームスポットを形成するビームホモジナイザを用いれば、エネルギー分布が均一な長方形形状のビームスポットを被照射面において形成することが可能となる。また、被照射面上に形成されるビームスポットの位置及びエネルギー分布がレーザ発振器の発振状態の影響を受けにくくなるため、ビーム形状の安定性を高めることが可能となる。

【0039】

本発明のビームホモジナイザを用いたレーザ照射装置から射出される長方形形状のビームスポットを、半導体膜に長方形形状の短辺方向に走査すると、ビームスポットのエネルギー分布の不均一性に起因する結晶性の不均一性の発生を抑制することができ、基板面内の結晶性の均一性を向上させることができる。また、本発明により、レーザ照射装置としての高い安定性が確保でき、またメンテナンス性の向上により、ランニングコストの低減が図れる。本発明を、ポリシリコンTFTの量産ラインに適用すれば、動作特性の高い特性の揃ったTFTを効率良く生産することができる。さらに、前記ポリシリコンTFTを液晶表示装置や、EL素子に代表される発光素子を用いた発光装置に適用すると、表示むらの極めて少ない表示装置を作製することが可能となる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0040】

本発明の実施の形態について、図面を用いて以下に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及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、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。なお、以下に説明する本発明の構成において、同じものを指す符号は異なる図面間で共通して用いる。

30

【0041】

最初に、図11を用いて、ビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向にレーザビームを反射する向かい合う2つの反射面を有する光学素子によるエネルギー分布の均一化の方法を説明する。まず、図11(a)の平面図について説明する。向かい合う2つの反射面1102a、1102bを有する光学素子1102と、被照射面1103を用意し、光線を紙面左側から入射させる。前記光線は、光学素子1102が存在するときの光線を実線1101aで、光学素子1102が存在しないときの光線を破線1101bで示す。光学素子1102が存在しないとき紙面左側から入射する光線は、破線1101bで示したように、被照射面1103の1103a、1103b及び1103cの領域に到達する。

40

【0042】

一方、光学素子1102が存在するときには、光線1101aで示すように、光線は光学素子1102の反射面によって反射され、すべての光線が被照射面1103の1103bの領域に到達する。つまり、光学素子1102が存在するときには、光学素子1102が存在しないときに被照射面1103a及び1103cの領域に到達する光線が、すべて

50

被照射面 1 1 0 3 b の領域に到達する。従って、光学素子 1 1 0 2 に光線を入射すると、前記光学素子内において反射を繰り返し、射出口に至る。つまり入射する光線が折りたたまれるように、同じ位置である被照射面 1 1 0 3 b に重ね合わされることになる。この例において、光学素子がない場合の被照射面 1 1 0 3 での光の拡がり 1 1 0 3 a、1 1 0 3 b、1 1 0 3 c をあわせた長さを A とし、光学素子がある場合の被照射面 1 1 0 3 での光の拡がり 1 1 0 3 b の長さを B としたとき、 A/B が背景技術で述べたホモジナイザの分割数に相当する。このように、入射する光線を分割し、分割される光線を同じ位置に重ね合わせることで、重ね合わされた位置における光線のエネルギー分布は均一化される。

【0043】

ホモジナイザは一般的に光線の分割数が多くなるほど、分割された光線が重ね合わされた位置でのエネルギー分布の均一性は高くなる。上記光学素子 1 1 0 2 において、光線の分割数を多くするには、上記光学素子 1 1 0 2 内での反射回数を多くすることで可能となる。つまり、光学素子が有する 2 つの反射面の光線入射方向における長さを長くするとよい。また、向い合う反射面の間隔を小さくすることでも分割数を大きくすることができる。あるいは、入射する光線の NA (開口数) を大きくすることによっても分割数を大きくすることができる。

【0044】

上記光学素子にビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向にレーザビームを反射する向かい合う 2 つの反射面を有するライトパイプまたは光導波路を用いても、光線のエネルギー分布は均一化される。

【0045】

本発明で開示する長形状のビームスポット形成光学系を、図 3 を用いて説明する。まず、図 3 (b) の側面図について説明する。レーザ発振器 3 0 1 から出たレーザビームは図 3 中、矢印の方向に伝播される。まず、レーザビームは球面レンズ 3 0 2 a 及び 3 0 2 b により拡大される。この構成は、レーザ発振器 3 0 1 から出るビームスポットが十分に大きい場合には必要ない。

【0046】

以降、長辺方向、短辺方向とは、それぞれ被照射面 3 0 7 上に形成される長形状のビームスポットの長辺方向、短辺方向と同じ方向とする。レーザビームはシリンドリカルレンズ 3 0 4 により、短辺方向にビームスポットを絞られ、シリンドリカルレンズ 3 0 4 の後方に配置されたビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向にレーザビームを反射する向かい合う 2 つの反射面および入射側面に曲面形状を有する光学素子 3 0 5 に入射する。ここで曲率の方向は、短辺方向、つまりエネルギー分布を均一化する方向である。レーザビームは、前記光学素子内にて全反射を繰り返しながら射出口に至り、前記光学素子 3 0 5 の射出側面に長形状のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布の均一面が形成される。ここで、射出側面とは、光学素子を構成する面であって、レーザビームの射出側に配置され、レーザビームが最後に該光学素子を通る面と定義する。なお、光学素子 3 0 5 と空気の境界面においてレーザビームが全反射する条件を満たすようシリンドリカルレンズ 3 0 4 の曲率を考慮する必要がある。

【0047】

図 1 及び図 2 を用いて、光学素子 3 0 5 のレーザビームの入射側面に曲面形状を設ける理由を説明する。図 1、図 2 とともに、図示しないレーザ発振器から発せられたレーザビームをシリンドリカルレンズ 1 0 1 及び 2 0 1 で絞り、ビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向に、レーザビームを反射する向かい合う 2 つの反射面を有する光学素子 1 0 2 及び 2 0 2 に入射している様子を、エネルギー分布を均一化しようとする方向に対して垂直方向からみた図である。レーザビームは図 1、図 2 とともに光学素子の中心軸に対してある角度をもって斜め方向から、光学素子 1 0 2 及び 2 0 2 に入射する。

【0048】

図 2 において、レーザビームはシリンドリカルレンズ 2 0 1 により絞られ光学素子 2 0 2 に斜め方向から入射した後、光学素子内において光学素子の中心軸に対して非対称な反

10

20

30

40

50

射を繰り返す、光学素子の射出口に至り、射出側面にエネルギー分布が不均一なビームスポットを形成する。一方、図1においては、レーザービームはシリンドリカルレンズ101によって絞られた後、入射側面に曲面形状を有する光学素子102に入射する。光学素子の入射側面に曲面形状を設けることにより、光学素子に対し斜め方向から入射されるレーザービームを広げ、光学素子に入射されたレーザービームの反射が光学素子の中心軸に対称もしくは対称に近くなるよう修正することで、光学素子の射出側面にはエネルギー分布の均一なビームスポットを形成することが可能となる。

【0049】

この曲面形状は、前段にあるレンズの仕様(NA)即ち入射角、光学素子の長さおよび幅に基づいて決定される。

【0050】

以上のように、入射側面に曲面形状を有する光学素子を用いることにより、レーザー発振器から射出されるビームのポインティングスタビリティの影響やパルス毎及びメンテナンス等によるビーム軸の変化が発生しても、光学素子によって形成されるビームスポットのエネルギー分布を均一に保つことができる。また、光学素子を使用することにより、均一面の位置が光学系により完全に固定される利点を得られる。これにより、レーザー発振器の状態の変化に左右されない均一なビームを被照射面に得ることが可能となる。

【0051】

光学素子305の入射方向への長さが長ければ長いほど、また、シリンドリカルレンズ304の焦点距離が短ければ短いほどエネルギー分布の均一化は進む。しかしながら、光学系の大きさを考えて実際の系は作製されなければならないため、前記光学素子の長さや、前記焦点距離は系の大きさに合わせて実際的なものとしなくてはならない。

【0052】

図3中、光学素子305の後方に配置したダブレットシリンドリカルレンズ306により、前記ダブレットシリンドリカルレンズの後方に配置した被照射面307に光学素子305直後に形成された前記エネルギー分布の均一面を投影する。ダブレットシリンドリカルレンズとは、2枚のシリンドリカルレンズ306a、306bで構成されているレンズのことをいう。これにより、光学素子305の射出側面に形成された均一面を他の面(被照射面)に投影することができる。すなわち、前記均一面と、被照射面307とは、ダブレットシリンドリカルレンズ306に対して共役な位置にある。光学素子305とダブレットシリンドリカルレンズ306により、長方形のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、短辺方向の長さが決定される。なお、被照射面においてビームスポットの均一性をあまり要求しない場合、あるいはダブレットシリンドリカルレンズのF値($F = \text{レンズ焦点距離} / \text{入射瞳径}$)が非常に大きい場合は、シングレットシリンドリカルレンズを用いても良い。

【0053】

次に、図3(a)の平面図について説明する。レーザー発振器301から出たレーザービームは、シリンドリカルレンズアレイ303により、ビームスポットが長辺方向に分割される。シリンドリカルレンズアレイ303は、シリンドリカルレンズを曲率方向に並べたものである。本実施形態においては、シリンドリカルレンズを5個並べたシリンドリカルレンズアレイを用いている。これにより、長方形のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、長辺方向の長さが決定される。なお、シリンドリカルレンズアレイの後方に前記シリンドリカルレンズアレイによって分割された光線を合成するシリンドリカルレンズを配置してもよい。

【0054】

本発明のビームホモジナイザと組み合わせるレーザー発振器は、大出力でかつ半導体膜によく吸収される波長域が好ましい。半導体膜として珪素膜を用いた場合、吸収率を考慮し、用いるレーザー発振器の出すレーザービームの波長は600nm以下であることが好ましい。このようなレーザービームを出すレーザー発振器には、例えば、エキシマレーザー、YAGレーザー(高調波)、ガラスレーザー(高調波)がある。

10

20

30

40

50

【0055】

また、現在の技術ではまだ大出力は得られていないが、珪素膜の結晶化に適当な波長のレーザービームを発振するレーザー発振器として、例えば、 YVO_4 レーザー（高調波）、 YLF レーザー（高調波）、 Ar レーザー、 $GdVO_4$ レーザーがある。

【0056】

本発明の光学系は、空気中で用いても良いし、高いエネルギーを持ったレーザー光によるライトパイプやレンズ表面の損傷を小さくするために窒素や Ar 雰囲気下で使用してもよい。

【0057】

本実施形態においては、ビームスポットのエネルギー分布の均一化に向かい合う二つの反射面を有する光学素子を用いる例を示したが、光学的に同等の効果をもつライトパイプまたは光導波路を用いてもよい。

【0058】

以下、本発明のビームホモジナイザ及びレーザー照射装置を用いた本発明の半導体装置の作製方法について説明する。まず、基板としてガラス基板を用意する。この基板には600までの温度であれば十分な耐久性のあるものを使用する。前記ガラス基板上に下地膜として酸化珪素膜を成膜し、さらに、その上から非単結晶珪素膜を成膜する。成膜は、共にスパッタ法にて行う。あるいはプラズマCVD法にて成膜してもよい。

【0059】

上記成膜済の基板を、窒素雰囲気中で加熱処理を施し、非単結晶珪素膜中の水素濃度を減らす。膜中の水素が多すぎると膜がレーザーのエネルギーに対して耐えきれないので本工程を入れる。前記膜内の水素の濃度は $10^{20}/cm^3$ 程度が適当である。ここで、 $10^{20}/cm^3$ とは、 $1cm^3$ あたりに水素原子が 10^{20} 個存在するという意味である。このとき、基板の加熱処理時間及び温度は、実施者が適宜決めればよい。ただし、加熱温度はガラス基板の耐久性を考慮したものでなければならない。

【0060】

本実施の形態では、レーザー発振器として、 $XeCl$ エキシマレーザーを使う。前記エキシマレーザーは、パルスレーザーである。基板1枚をレーザー処理する間、該パルスレーザーの1パルスごとのエネルギー変動は、 $\pm 5\%$ 以内、好ましくは $\pm 2\%$ 以内に収まっていると、均一な結晶化が行える。なお、本実施形態で示したレンズ及びレーザービームの入射側面に曲面形状を有し、レーザービームを均一化する光学素子は、 $XeCl$ エキシマレーザーに対して高い透過率とレーザー耐性をもつ合成石英製とする。

【0061】

ここで述べているレーザーエネルギーの変動は、以下のように定義する。基板1枚を照射している期間のレーザーエネルギーの平均値を基準とし、その期間の最小エネルギーまたは最大エネルギーと前記平均値との差を%で表したものである。

【0062】

レーザービームの照射は例えば、図3に示した被照射面307をのせたステージを長方形のビームスポットの短辺方向に走査させながら行う。このとき、被照射面におけるビームスポットのエネルギー密度や、走査のスピードは、実施者が適宜決めればよい。だいたい目安は、エネルギー密度 $200mJ/cm^2 \sim 1000mJ/cm^2$ の範囲である。走査のスピードは、長方形のビームスポットの短辺方向の幅が好ましくは90%程度、もしくは80%以上で互いに重なり合う範囲で適当なものを選ぶと、均一なレーザーアニールを行える可能性が高い。最適な走査スピードは、レーザー発振器の周波数に依存し、前記周波数に比例すると考えてよい。

【0063】

こうして、レーザーアニール工程が終了する。上記工程を繰り返すことにより、多数の基板を処理できる。前記基板を利用して例えばアクティブマトリクス型の液晶ディスプレイやEL表示装置を公知の方法に従って作製することができる。

【0064】

10

20

30

40

50

上記の例ではレーザー発振器にエキシマレーザーを用いた。エキシマレーザーはコヒーレント長が数 μm と非常に小さいため、上記例の光学系に適している。以下に示すレーザーにはコヒーレント長が長いものもあるが、作為的にコヒーレント長を変えたものを用いればよい。YAGレーザーの高調波やガラスレーザーの高調波を用いても珪素膜にレーザービームのエネルギーが良く吸収されるので好ましい。珪素膜の結晶化に適当なレーザー発振器として、YVO₄レーザー(高調波)、YLFレーザー(高調波)、Arレーザー、GdVO₄レーザーなどがある。これらのレーザービームの波長域は珪素膜によく吸収される。

【0065】

上記の例では、非単結晶半導体膜には非単結晶珪素膜を使ったが、本発明は他の非単結晶半導体にも適用できることが容易に推測できる。例えば、非単結晶半導体膜に非単結晶珪素ゲルマニウム膜や多結晶珪素ゲルマニウム膜などの化合物半導体膜を使用しても良い。あるいは、非単結晶半導体膜に多結晶珪素膜を使用してもよく、以下に示すように形成する多結晶珪素膜を使用してもよい。

【0066】

ガラス基板上に下地膜として酸化珪素膜を成膜し、さらにその上から非単結晶珪素膜を成膜する。前記酸化珪素膜及び前記非単結晶珪素膜は共にスパッタ法もしくはCVD法にて形成する。またプラズマCVD法を用いてもよい。なお、この後、前記非単結晶珪素膜上にヒドロ処理を行って酸化珪素膜を形成してもよい。ここで、酸化珪素膜を形成するのは、後のニッケルを含んだ酢酸塩溶液を塗布する工程で、非単結晶珪素膜の表面全体に酢酸塩溶液を行き渡らせるためである。例えば、非単結晶珪素膜の表面に直接酢酸塩溶液を塗布した場合には非単結晶珪素が酢酸塩溶液を弾いてしまい、非単結晶珪素膜の表面全体に均一にニッケルを導入することができず、結晶化を均一に行うことができない。従って、酸化珪素膜を形成することにより濡れ性を改善する。次に、前記非単結晶珪素膜に、酢酸塩溶液中のニッケル濃度を1~100ppmとした酢酸塩溶液を添加し、加熱処理を行って結晶化し、結晶性珪素膜とする。

【実施例1】

【0067】

図4に本実施例で説明する光学系の例を示す。まず、図4(b)の側面図について説明する。XeClエキシマレーザー発振器401から出たレーザービームは図4中、矢印の方向に伝播される。まず、レーザービームは球面レンズ402a及び402bにより拡大される。この構成は、レーザー発振器401から出るビームスポットが十分に大きい場合には必要ない。なお、本実施例で示すレンズ及びレーザービームの入射側面に曲面形状を有し、レーザービームを均一化するライトパイプは、XeClエキシマレーザーに対して高い透過率とレーザー耐性をもつ合成石英製とする。

【0068】

以降、長辺方向、短辺方向とは、それぞれ被照射面408上に形成される長方形のビームスポットの長辺方向、短辺方向と同じ方向とする。第1面が曲率半径486mm、厚さ20mm、第2面が平面のシリンダリカルレンズ405により、短辺方向にビームスポットを絞る。レンズ面は光が入射する面を第1面、射出する面を第2面とする。また、曲率半径の符号は、曲率中心がレンズ面に対して光線の射出側にある時が正、曲率中心がレンズ面に対して入射側にある時を負とする。シリンダリカルレンズ405の後方1000mmに配置された、ビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向かい合う2つの反射面および入射側面に曲率半径-38mmの円筒状の曲面形状を有するライトパイプ406に入射したレーザービームは、ライトパイプ406内で全反射を繰り返し射出口に至る。これにより、被照射面における長方形のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布が均一化される。なお、ここで円筒状の曲率の方向は、短辺方向、つまりエネルギー分布を均一化する方向である。前記ライトパイプ406は光線の入射方向に長さ250mm、全反射面間の距離が2mmとする。

【0069】

なお、本実施例においては、ライトパイプ406は媒質である合成石英の波長308nm

10

20

30

40

50

mの光に対する屈折率が約1.486と外気である空気(屈折率は約1)より大きく、光線が臨界角以上の角度でライトパイプ406に入射するため、反射面において光線は全反射する。つまり、このときはライトパイプの光線の透過率は全反射しない場合と比べて高くなる。従って、より高効率で光源であるレーザー発振器401からの光線を被照射面408に集光することができる。

【0070】

ライトパイプ406の1250mm後方に配置した第1面の曲率半径が97mm、第2面が平面、厚さ30mmシリンドリカルレンズ407により、前記シリンドリカルレンズ407から後方220mmに配置した被照射面408に長方形の短辺方向にライトパイプ406から射出される光線を集光する。つまり、ライトパイプ406の射出側面に形成されるエネルギー分布の均一な面をシリンドリカルレンズ407により、被照射面408に投影する。これにより、長方形のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、短辺方向の長さが決定される。

10

【0071】

次に、図4(a)の平面図について説明する。レーザー発振器401から出たレーザービームは、シリンドリカルレンズアレイ403により、スポットが長方形の長辺方向に分割される。シリンドリカルレンズアレイ403は、第1面の曲率半径が24.5mmで、厚さが5mm、長辺方向の幅6.5mmのシリンドリカルレンズを曲率方向に7個並べたものである。

【0072】

シリンドリカルレンズアレイ403の後方500mmに配置された第1面の曲率半径が2140mm、第2面が平面のシリンドリカルレンズ404によって前記シリンドリカルレンズアレイ403によって分割された光線が被照射面408上で重ね合わされる。これにより、長方形のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、長辺方向の長さが決定される。シリンドリカルレンズ404は、発明実施の形態においては、用いていない。このレンズが入ることにより長方形のビームスポットの長辺方向における両端で発生する、エネルギーの減衰部分を少なくすることが可能になる。しかしながら、装置構成上、本レンズの焦点距離が著しく長くなる場合があり、このようなときは、本レンズの効果が薄くなるため用いなくてもよいことがある。

20

【0073】

以上のように、入射側面に曲面形状を有する光学素子を用いたビームホモジナイザを使用することにより、ビーム軸に変化が起きても被照射面上にエネルギー分布が均一な長辺方向の長さが320mm、短辺方向の長さが0.4mmの長方形のビームスポットを成形することができる。

30

【0074】

本実施例で示した光学系を利用して、例えば発明実施の形態に従った方法にて、半導体膜のレーザーアニールを行う。また、前記半導体膜を利用して例えばアクティブマトリクス型の液晶ディスプレイやEL表示装置を作製することができる。前記作製は、実施者が公知の方法に従って行えばよい。

【実施例2】

【0075】

本実施例では、以上で記載した光学系とは別の光学系の例を挙げる。図6に本実施例で説明する光学系の例を示す。なお、本実施例で示すレンズは、XeClエキシマレーザーに対して高い透過率とレーザー耐性をもつ合成石英製とする。

40

【0076】

図6中、レーザービームの入射側面に曲面形状を有し、レーザービームを均一化する光学素子606以外は、実施例1で図4に示した光学系と全く同じ光路を通る。光学素子606は、ライトパイプ406同様に向い合う2つの反射面を有する。図4においてレーザービームは、入射側面に曲率を持ち、媒質がXeClエキシマレーザーに対し屈折率が約1.486である合成石英であるライトパイプ406の媒質中を伝播し、全反射を繰り返し射出口

50

に至るのに対し、図6に示す光学素子606は、反射面が向い合う2つのミラー606a及び606bと光学素子606のレーザービームの入射位置に配置したシリンドリカルレンズ607から構成され、シリンドリカルレンズ607以外の前記ミラーに挟まれた空間が中空である。この点で両者は異なる。光学素子606は、ミラー間の距離が2mm、ビーム軸方向の長さが250mmで、シリンドリカルレンズ607は、第1面の曲率半径が-38mm、第2面が平面、厚さが5mmとする。光学素子606に入射したレーザービームは、シリンドリカルレンズ607によって長方形のビームスポットの短辺方向に広げられ、光学素子606内を光学素子606の中心軸対称に反射しながら、射出口に至り、エネルギー分布が均一化される。

【0077】

本実施例で示した光学系の光学シミュレーションを行い、長方形のビームスポットを確認した。光学素子606の入射角が0度となるよう光学系を設定し、光学シミュレーションを行なった結果を図5(a)に示す。ここでいう入射角は図16を用いて次のように定義される。なお、図16はシリンドリカルレンズ405及び光学素子606の拡大図である。入射角とは、長方形ビームスポットの短辺方向を含みかつ光学素子606の中心軸に平行な面内において、シリンドリカルレンズ405のレンズ頂点、光学素子の中心軸および入射側面との交点を結ぶ線(図16中点線で示す)と、光学素子606の中心軸(図16中鎖線で示す)とがなす角である。短辺方向に対するエネルギー分布は、図5(a)に示されるように均一な分布が得られた。次に、レーザービームの光学素子606への入射角が0.086度となるよう光学系を設定し、光学シミュレーションを行なったところ、図5(b)のように均一な分布が得られた。一方、光学素子606の入射側面を平面とし、同様に入射角が0.086度となるよう光学系を設定し、光学シミュレーションを行なったところ、図5(c)に示されるような不均一な分布のビームスポットが得られた。

【0078】

以上のように、入射側面に曲面形状を有する光学素子を用いたビームホモジナイザを使用することにより、ビーム軸に変化が起きても被照射面上にエネルギー分布が均一な長辺方向の長さが320mm、短辺方向の長さが0.4mmの長方形のビームスポットを成形することができる。

【0079】

また、レーザービームの光学素子606への入射角が0.17度となるよう光学系を設定し、入射側面の曲率半径が異なる光学素子606を用いて短辺方向における光学シミュレーションを行った結果を図13、図14および図15に示す。図13a)、b)、図14a)、b)および図15a)、b)の曲率半径は、各々-300、-100、-50、-38、-26、-20mmである。図13a)およびb)では不均一なエネルギー分布であったのに対し、図13a)-図15b)の曲率半径-50から-20mmでは均一なエネルギー分布が得られた。しかしながら、図15b)の曲率半径-20mmの光学素子を通じたレーザーは、次のシリンドリカルレンズ407の大きさ以上に拡大されており、シリンドリカルレンズ407に入射されたレーザーのみが均一化されていた。これは、シリンドリカルレンズ407を大きく、もしくは光学素子606との距離を短くすることで解決できる。

【0080】

以上のように、曲率半径-50mm以下を有する光学素子を用いることで、ビーム軸に変化が起きても被照射面上のレーザーのエネルギー分布を均一化することが可能である。

【0081】

本実施例で示した光学系を利用して、例えば発明実施の形態に従った方法にて、半導体膜のレーザーアニールを行う。また、前記半導体膜を利用して例えばアクティブマトリクス型の液晶ディスプレイやEL表示装置を作製することができる。前記作製は、実施者が公知の方法に従って行えばよい。

【実施例3】

【0082】

本実施例では、以上に記載した光学系とは別の光学系の例を挙げる。図7に本実施例で説明する光学系の例を示す。なお、本実施例で示すレンズは、XeClエキシマレーザに対して高い透過率とレーザ耐性をもつ合成石英製とする。

【0083】

図7中、シリンドリカルレンズ707以外は、実施例2で図6に示した光学系と全く同じ光路を通る。レーザビームの入射側面に曲面形状を有し、レーザビームを均一化する光学素子706は、光学素子606同様に向い合う2つの反射面を有する。図6において、光学素子606に入射したレーザビームは、光学素子606中に入射位置付近に設置された凹型のシリンドリカルレンズ607によって、長形状のビームスポットの短辺方向に広げられるのに対し、図7において、光学素子706に入射したレーザビームは、光学素子706中に入射位置付近に設置された凸型のシリンドリカルレンズ707によって、長形状のビームスポットの短辺方向にいったん絞られた後に広げられる。この点で両者は異なる。光学素子706は、ミラー間の距離が2mm、光軸方向の長さが250mmで、シリンドリカルレンズ707は、第1面の曲率半径が38mm、第2面が平面、厚さが5mmとする。光学素子706に入射したレーザビームは、シリンドリカルレンズ707によって長形状のビームスポットの短辺方向にいったん絞られた後に広げられ、光学素子706内を光学素子706の中心軸対称に反射しながら、射出口に至り、エネルギー分布が均一化される。

10

【0084】

図7に示した光学系により、被照射面709上に短辺方向の長さが0.4mm、長辺方向の長さが320mmのエネルギー分布が均一な長形状ビームスポットを形成することができる。

20

【0085】

本実施例で示した光学系を利用して、例えば発明実施の形態に従った方法にて、半導体膜のレーザアニールを行う。また、前記半導体膜を利用して例えばアクティブマトリクス型の液晶ディスプレイやEL表示装置を作製することができる。前記作製は、実施者が公知の方法に従って行えばよい。

【実施例4】

【0086】

本実施例では、ライトパイプを長形状のビームスポットの長辺方向の均一化に用いた光学系の例を挙げる。図8に本実施例で説明する光学系の例を示す。なお、本実施例で示すレンズ及びレーザビームの入射側面に曲面形状を有し、レーザビームを均一化するライトパイプは、XeClエキシマレーザに対して高い透過率とレーザ耐性をもつ合成石英製とする。以降、長辺方向、短辺方向とは、それぞれ被照射面808上に形成される長形状のビームスポットの長辺方向、短辺方向と同じ方向とする。

30

【0087】

まず、図8(a)の平面図に沿って説明する。XeClエキシマレーザ発振器801から出たレーザビームは図8中、矢印の方向に伝播され、第1面が曲率半径194.25mm、第2面が平面、厚さ20mmのシリンドリカルレンズ802により、長辺方向にビームスポットを絞る。シリンドリカルレンズ802の後方400mmに配置された、ビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向にレーザビームを反射する向かい合う2つの反射面および入射側面に曲率半径-50mmの円筒状の曲面形状を有するライトパイプ803に入射したレーザビームは、ライトパイプ803内で全反射を繰り返し射出口に至る。これにより、被照射面における長形状のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布が均一化される。なお、ここで曲率の方向は、長辺方向、つまりエネルギー分布を均一化する方向である。前記ライトパイプ803は光線の入射方向に長さ300mm、全反射面間の距離が2mmとする。

40

【0088】

ライトパイプ803の20mm後方に配置した第1面の曲率半径が9.7mm、第2面

50

が平面、厚さ5 mmシリンドリカルレンズ804により、前記シリンドリカルレンズ804から後方3600 mmに配置した被照射面808にライトパイプ803から射出される光線を集光する。つまり、ライトパイプ803の射出側面に形成されるエネルギー分布の均一な面をシリンドリカルレンズ804により、被照射面808に投影する。これにより、長方形のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、長辺方向の長さが決定される。

【0089】

次に、図8(b)の側面図について説明する。レーザ発振器801から出たレーザビームは、シリンドリカルレンズアレイ805a及び805bにより、スポットが短辺方向に分割される。シリンドリカルレンズアレイ805aは、第1面の曲率半径が200 mm、第2面が平面、厚さが5 mm、短辺方向の幅が4 mmのシリンドリカルレンズを曲率方向に7個並べたもので、シリンドリカルレンズアレイ805bは、第1面が平面、第2面の曲率半径が160 mm、厚さが5 mm、短辺方向の幅が4 mmのシリンドリカルレンズを曲率方向に7個並べたものである。シリンドリカルレンズアレイ805a及び805bによって分割されたスポットは、第1面の曲率半径が486 mm、第2面が平面、厚さが20 mmシリンドリカルレンズ806によって集光され、シリンドリカルレンズ806から後方1000 mmの位置に短辺方向の長さが2 mmのエネルギー分布の均一な面が形成される。

【0090】

さらに、前記エネルギー分布の均一な面を、シリンドリカルレンズ806の後方1250 mmに配置したダブレットシリンドリカルレンズ807によって、ダブレットシリンドリカルレンズ807の後方230 mmにある被照射面808に投影する。これにより、長方形のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、短辺方向の長さが決定される。ダブレットシリンドリカルレンズ807は、シリンドリカルレンズ807aとシリンドリカルレンズ807bから構成される。シリンドリカルレンズ807aは、第1面の曲率半径が125 mm、第2面の曲率半径が77 mm、厚さ10 mmのシリンドリカルレンズで、シリンドリカルレンズ807bは、第1面の曲率半径が97 mm、第2面の曲率半径が-200 mm、厚さ20 mmのシリンドリカルレンズで、シリンドリカルレンズ807aとシリンドリカルレンズ807bとの間隔は5.5 mmである。

【0091】

図8に示した光学系により、被照射面808上に短辺方向の長さが0.4 mm、長辺方向の長さが320 mmのエネルギー分布が均一な長方形ビームスポットを形成することができる。

【0092】

本実施例で示した光学系を利用して、例えば発明実施の形態に従った方法にて、半導体膜のレーザアニールを行う。また、前記半導体膜を利用して例えばアクティブマトリクス型の液晶ディスプレイやEL表示装置を作製することができる。前記作製は、実施者が公知の方法に従って行えばよい。

【実施例5】

【0093】

本実施例では、以上で記載した光学系とは別の光学系の例を挙げる。図17に本実施例で説明する光学系の例を示す。なお、本実施例で示すレンズは、XeClエキシマレーザに対して高い透過率とレーザ耐性をもつ合成石英製とする。

【0094】

図17中、レーザビームの入射側面に曲面形状を有し、レーザビームを均一化する光学素子1503以外は、実施例4で図8に示した光学系と全く同じ光路を通る。光学素子1503は、ライトパイプ803と同様に向い合う2つの反射面を有する。図4においてレーザビームは、入射側面に曲面形状を有し、媒質がXeClエキシマレーザに対し屈折率が約1.486である合成石英であるライトパイプ406の媒質中を伝播し、全反射を繰り返して射出口に至るのに対し、図8に示す光学素子1503は、反射面が向い合う2つの

10

20

30

40

50

ミラー 1503 a 及び 1503 b と光学素子 1503 のレーザビームの入射位置に配置したシリンドリカルレンズ 1504 から構成され、シリンドリカルレンズ 1504 以外の前記ミラーに挟まれた空間が中空である。この点で両者は異なる。光学素子 1503 は、ミラー間の距離が 2 mm、ビーム軸方向の長さが 300 mm で、シリンドリカルレンズ 1504 は、第 1 面の曲率半径が -50 mm、第 2 面が平面、厚さが 5 mm とする。光学素子 1503 に入射したレーザビームは、シリンドリカルレンズ 1504 によって長方形のビームスポットの長辺方向に広げられ、光学素子 1503 内を光学素子 1503 の中心軸対称に反射しながら、射出口に至り、エネルギー分布が均一化される。

【0095】

図 17 に示した光学系により、被照射面 808 上に短辺方向の長さが 0.4 mm、長辺方向の長さが 320 mm のエネルギー分布が均一な長方形ビームスポットを形成することができる。図 9 に、図 17 に示した光学系で形成された長方形のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布を示す。

【0096】

本実施例で示した光学系を利用して、例えば発明実施の形態に従った方法にて、半導体膜のレーザアニールを行う。また、前記半導体膜を利用して例えばアクティブマトリクス型の液晶ディスプレイや EL 表示装置を作製することができる。前記作製は、実施者が公知の方法に従って行えばよい。

【実施例 6】

【0097】

本実施例では、ライトパイプを長方形のビームスポットの短辺方向と長辺方向の均一化に用いた光学系の例を挙げる。図 10 に本実施例で説明する光学系の例を示す。なお、本実施例で示すレンズ及びレーザビームの入射側面に曲面形状を有し、レーザビームを均一化するライトパイプは、XeCl エキシマレーザに対して高い透過率とレーザ耐性をもつ合成石英製とする。以降、長辺方向、短辺方向とは、それぞれ被照射面 1008 上に形成される長方形のビームスポットの長辺方向、短辺方向と同じ方向とする。

【0098】

まず、図 10 (a) の平面図に沿って説明する。XeCl エキシマレーザ発振器 1001 から出たレーザビームは図 10 中、矢印の方向に伝播される。第 1 面が曲率半径 194.25 mm、第 2 面が平面、厚さ 20 mm、のシリンドリカルレンズ 1002 により、長辺方向にビームスポットを絞る。シリンドリカルレンズ 1002 の後方 400 mm に配置された、ビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向にレーザビームを反射する向かい合う 2 つの反射面および入射側面に曲率半径 -38 mm の円筒状の曲面形状を有するライトパイプ 1003 に入射したレーザビームは、ライトパイプ 1003 内で全反射を繰り返し射出口に至る。これにより、被照射面における長方形のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布が均一化される。なお、ここで曲率の方向は、長辺方向、つまりエネルギー分布を均一化する方向である。前記ライトパイプ 1003 は光線の入射方向に長さ 300 mm、全反射面間の距離が 2 mm とする。

【0099】

ライトパイプ 1003 の 20 mm 後方に配置した第 1 面の曲率半径が 9.7 mm、第 2 面が平面、厚さ 5 mm シリンドリカルレンズ 1004 により、前記シリンドリカルレンズ 1004 から後方 3600 mm に配置した被照射面 1008 にライトパイプ 1003 から射出される光線を集光する。つまり、ライトパイプ 1003 の射出側面に形成されるエネルギー分布の均一な面をシリンドリカルレンズ 1004 により、被照射面 1008 に投影する。これにより、長方形のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、長辺方向の長さが決定される。

【0100】

次に、図 10 (b) の側面図について説明する。XeCl エキシマレーザ発振器 1001 から発せられたレーザビームを、第 1 面が曲率半径 486 mm、厚さ 20 mm、第 2 面が平面のシリンドリカルレンズ 1005 により、短辺方向にビームスポットを絞る。シリ

ンドリカルレンズ1005の後方1000mmに配置された、ビームスポットのエネルギー分布を均一化する方向にレーザービームを反射する向かい合う2つの反射面および入射側面に曲率半径-38mmの円筒状の曲面形状を有するライトパイプ1006に入射したレーザービームは、ライトパイプ1006内で全反射を繰り返し射出口に至る。これにより、被照射面における長方形のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布が均一化される。なお、ここで曲率の方向は、短辺方向、つまりエネルギー分布を均一化する方向である。前記ライトパイプ1006は光線の入射方向に長さ250mm、全反射面間の距離が2mmとする。

【0101】

なお、本実施例においては、ライトパイプ1003及び1006は媒質である合成石英の波長308nmの光に対する屈折率が約1.486と外気である空気（屈折率は約1）より大きく、光線が臨界角以上の角度でライトパイプ1003及び1006に入射するため、反射面において光線は全反射する。つまり、このときはライトパイプの光線の透過率は全反射しない場合と比べて高くなる。従って、より高効率で光源であるレーザー発振器1001からの光線を被照射面1008に集光することができる。

【0102】

ライトパイプ1006の1250mm後方に配置した第1面の曲率半径が97mm、第2面が平面、厚さ30mmシリンドリカルレンズ1007により、前記シリンドリカルレンズ1007から後方200mmに配置した被照射面1008にライトパイプ1006から射出される光線を集光する。つまり、ライトパイプ1006の射出側面に形成されるエネルギー分布の均一な面をシリンドリカルレンズ1007により、被照射面1008に投影する。これにより、長方形のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布の均一化がなされ、短辺方向の長さが決定される。

【0103】

以上に示した光学系によって、長辺方向の長さが320mm、短辺方向の長さが0.4mmのエネルギー分布が均一な長方形のビームスポットを形成することができる。

【0104】

本実施例で示した光学系を利用して、例えば発明実施の形態に従った方法にて、半導体膜のレーザーアニールを行う。また、前記半導体膜を利用して例えばアクティブマトリクス型の液晶ディスプレイやEL表示装置を作製することができる。前記作製は、実施者が公知の方法に従って行えばよい。

【図面の簡単な説明】

【0105】

【図1】本発明の手段を説明する図。

【図2】本発明の手段を説明する図。

【図3】本発明が開示するビームホモジナイザの例を示す図。

【図4】本発明が開示するビームホモジナイザの例を示す図。

【図5】ビームスポットのエネルギー分布を示す図。

【図6】本発明が開示するビームホモジナイザの例を示す図。

【図7】本発明が開示するビームホモジナイザの例を示す図。

【図8】本発明が開示するビームホモジナイザの例を示す図。

【図9】ビームスポットのエネルギー分布を示す図。

【図10】本発明が開示するビームホモジナイザの例を示す図。

【図11】光学素子によるエネルギー分布の均一化を説明する図。

【図12】背景技術を説明する図。

【図13】ビームスポットのエネルギー分布を示す図。

【図14】ビームスポットのエネルギー分布を示す図。

【図15】ビームスポットのエネルギー分布を示す図。

【図16】入射角を説明する図。

【図17】本発明が開示するビームホモジナイザの例を示す図。

10

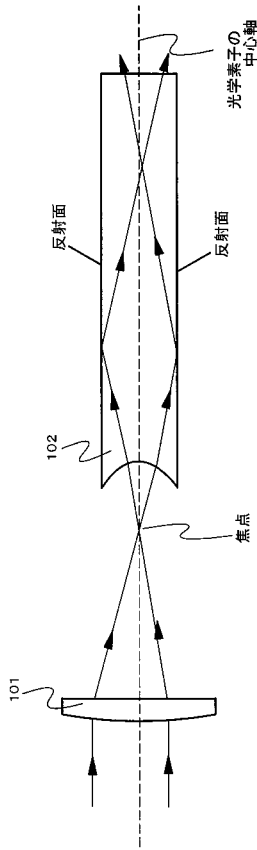
20

30

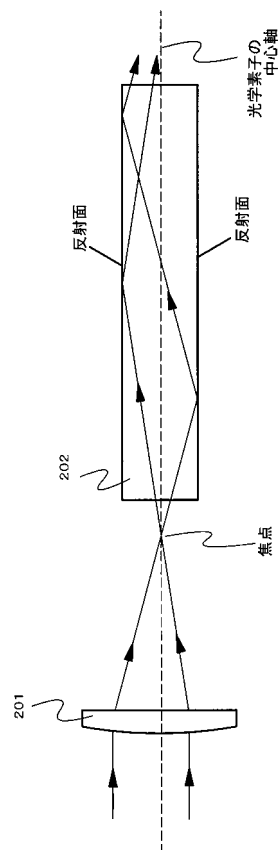
40

50

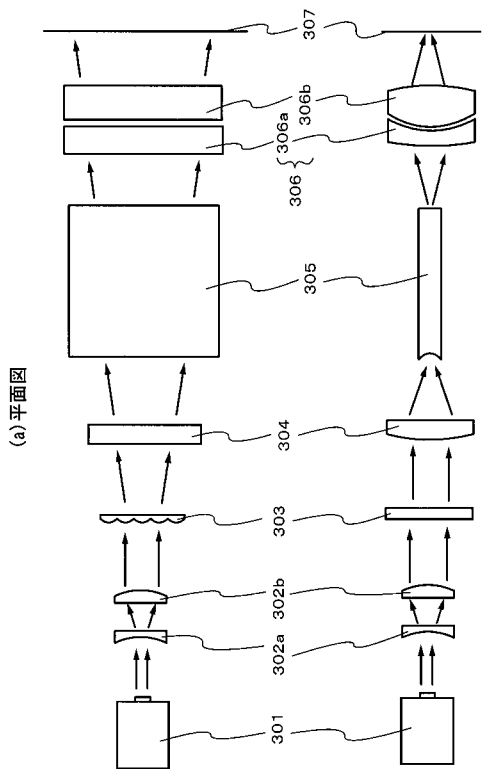
【 図 1 】



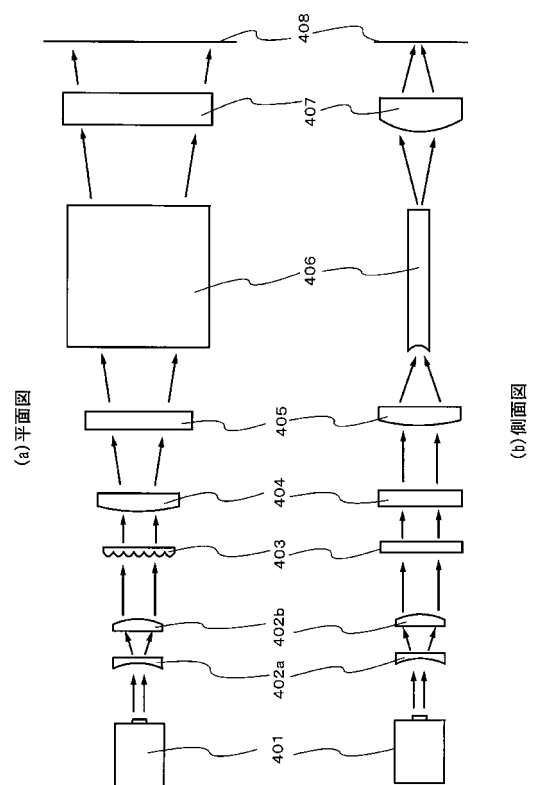
【 図 2 】



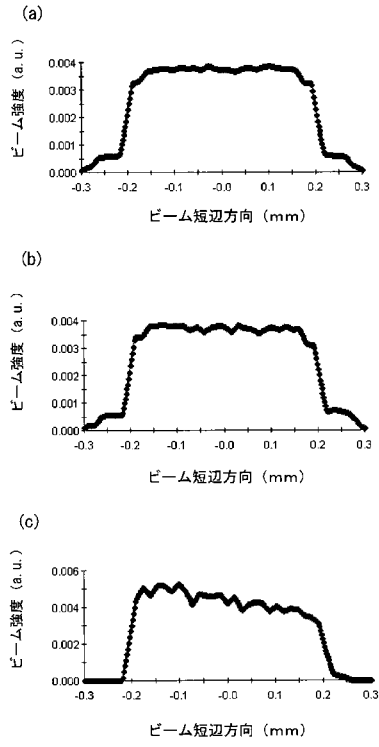
【 図 3 】



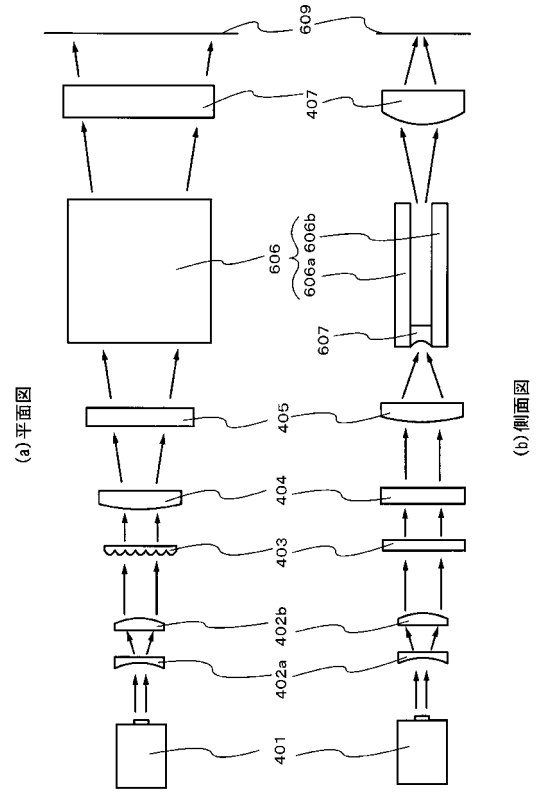
【 図 4 】



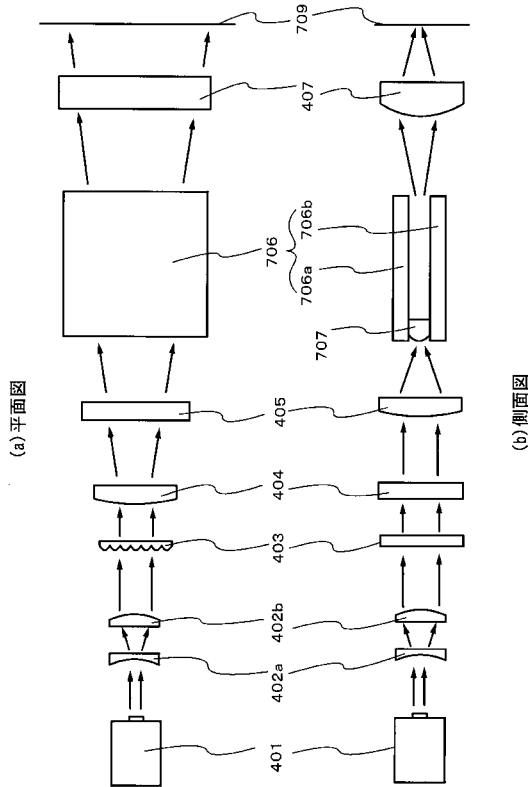
【 図 5 】



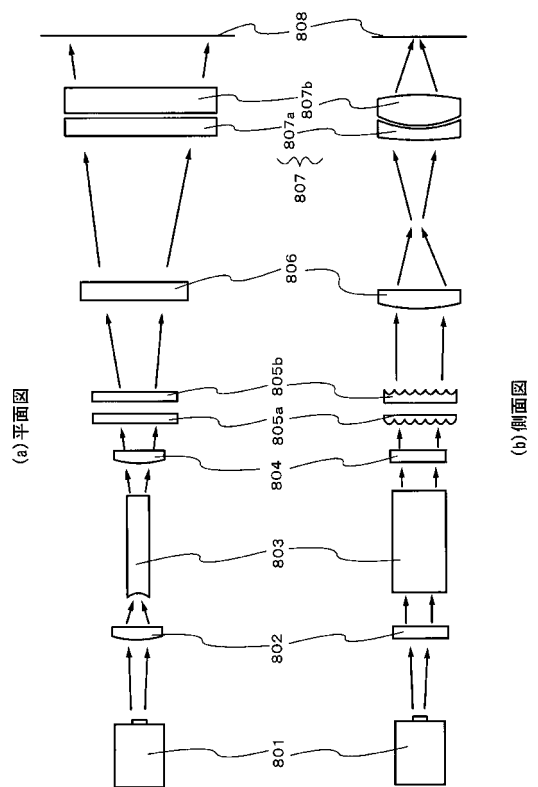
【 図 6 】



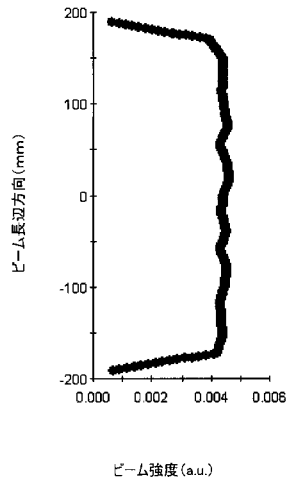
【 図 7 】



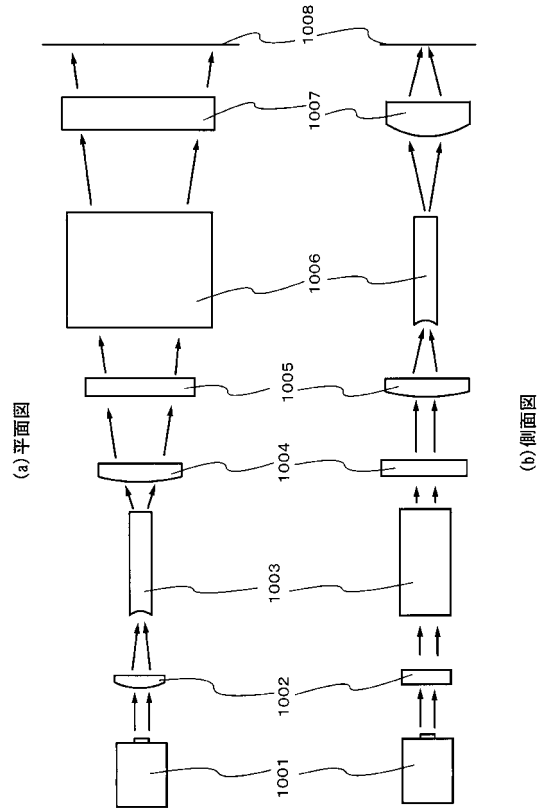
【 図 8 】



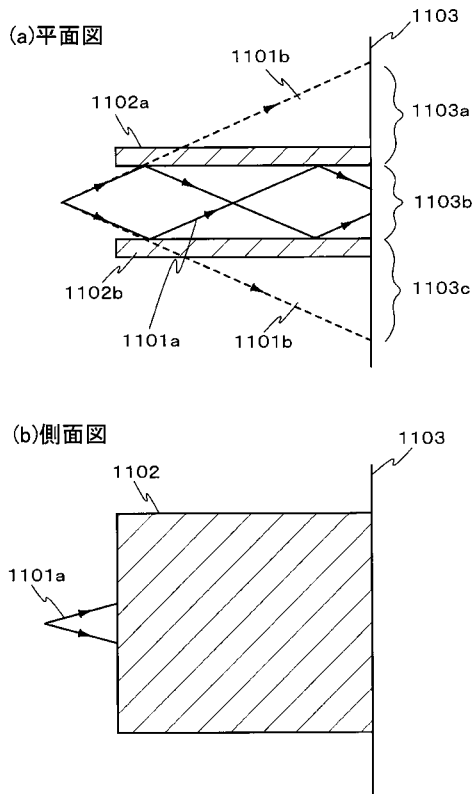
【 図 9 】



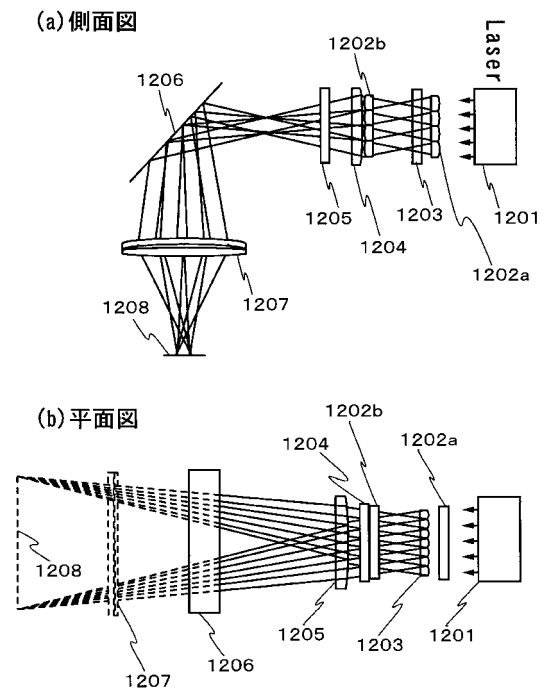
【 図 10 】



【 図 11 】

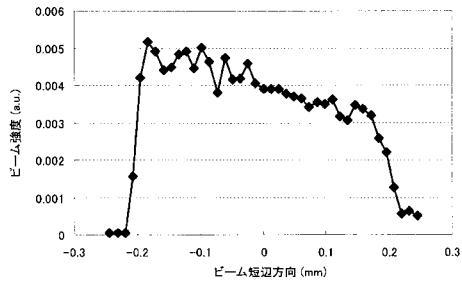


【 図 12 】

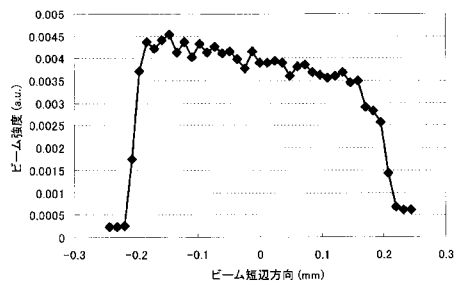


【 図 1 3 】

a)

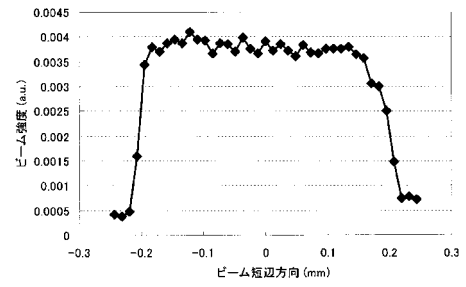


b)

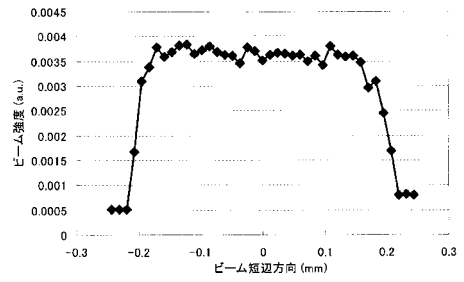


【 図 1 4 】

a)

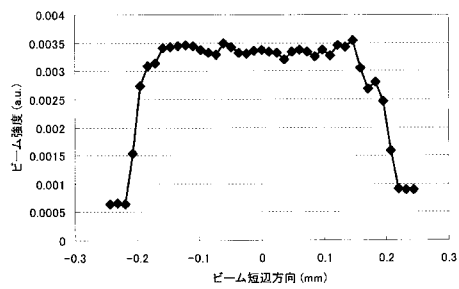


b)

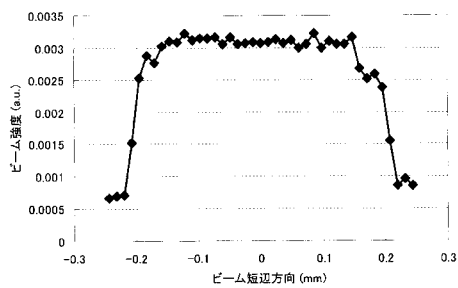


【 図 1 5 】

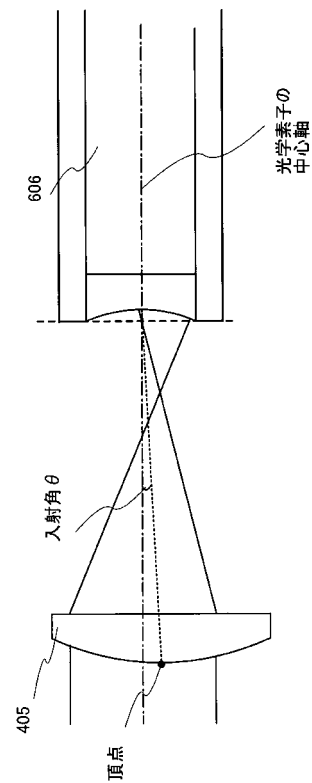
a)



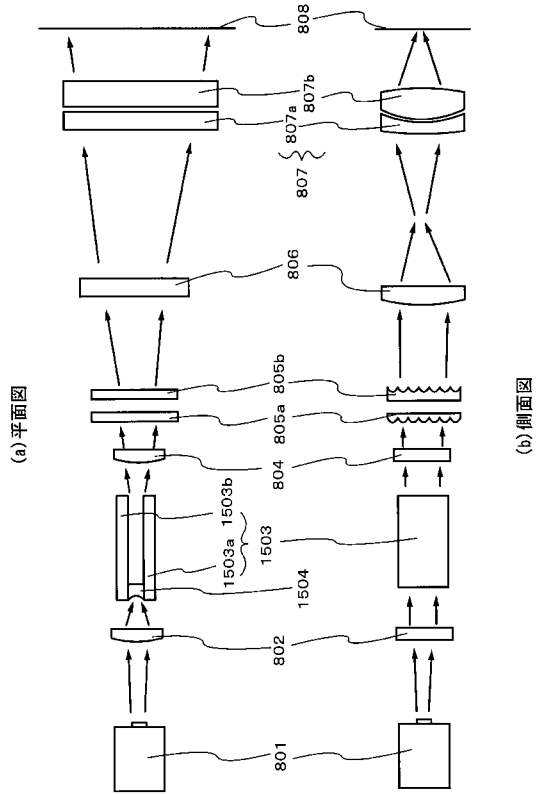
b)



【 図 1 6 】



【图 17】



(a) 平面图

(b) 侧面图