

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4619035号
(P4619035)

(45) 発行日 平成23年1月26日 (2011. 1. 26)

(24) 登録日 平成22年11月5日 (2010. 11. 5)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/268 (2006. 01)	HO 1 L 21/268 J
HO 1 L 21/20 (2006. 01)	HO 1 L 21/20

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2004-129438 (P2004-129438)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成16年4月26日 (2004. 4. 26)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2005-129889 (P2005-129889A)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地
(43) 公開日	平成17年5月19日 (2005. 5. 19)	(72) 発明者	田中 幸一郎
審査請求日	平成19年4月20日 (2007. 4. 20)		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2003-120782 (P2003-120782)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成15年4月24日 (2003. 4. 24)	(72) 発明者	森若 智昭
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		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2003-342803 (P2003-342803)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成15年10月1日 (2003. 10. 1)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	審査官	太田 一平
前置審査			
			最終頁に続く

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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アスペクト比が 1 0 以上の線状のビームスポットを照射する半導体装置の作製方法であって、

基板上に非単結晶半導体膜を形成し、

前記線状のビームスポットを前記非単結晶半導体膜に対して相対的に走査しながら照射し、

前記走査方向は、前記線状のビームスポットの短辺方向であり、

前記非単結晶半導体膜上における前記線状のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布は、第 1 の光導波路及びシリンドリカルレンズによって均一化され、

前記非単結晶半導体膜上における前記線状のビームスポットの短辺方向のエネルギー分布は、第 2 の光導波路によって均一化され、

前記シリンドリカルレンズは、前記第 1 の光導波路により形成されるエネルギー分布の均一な面を、被照射面において、前記長辺方向に拡大し投影し、

前記第 1 の光導波路及び前記第 2 の光導波路は、ゲルマニウムを含む板状の石英を一对の板状の石英で挟んだ構造を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記シリンドリカルレンズの円筒面は前記第 1 の光導波路の射出口側に配置されていることを特徴とする半導体装置の作製方法。

10

20

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 において、

前記均一な面と前記被照射面とは前記シリンドリカルレンズに対して共役な位置にあることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 4】

請求項 1 において、

前記第 1 の光導波路及び前記第 2 の光導波路の入射面に反射率を抑えるコーティングがなされていることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 5】

線状のビームスポットのアスペクト比を 10 以上にするためのビームホモジナイザであって、

被照射面に形成される前記線状のビームスポットの長辺方向におけるエネルギー分布を均一化する第 1 の光導波路と、

前記ビームスポットの短辺方向におけるエネルギー分布を均一化する第 2 の光導波路と、

前記第 1 の光導波路により形成されるエネルギー分布の均一な面を、前記被照射面において、前記線状の長辺方向に拡大し投影するシリンドリカルレンズと、を有し、

前記第 1 の光導波路及び前記第 2 の光導波路は、ゲルマニウムを含む板状の石英を一对の板状の石英で挟んだ構造を有す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 5 において、

前記シリンドリカルレンズの円筒面は前記第 1 の光導波路の射出口側に配置されていることを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 7】

請求項 5 又は請求項 6 において、

前記均一な面と前記被照射面とは前記シリンドリカルレンズに対して共役な位置に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 5 において、

前記第 1 の光導波路及び前記第 2 の光導波路の入射面に反射率を抑えるコーティングがなされていることを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 9】

請求項 5 乃至請求項 8 のいずれかに記載のビームホモジナイザと、レーザ発振器と、を有することを特徴とするレーザ照射装置。

【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をある特定の領域で均一化するビームホモジナイザに関する。また、前記ビームスポットを前記被照射面に照射するレーザ照射装置に関する。さらには、前記レーザ照射装置を用いて形成した結晶性半導体膜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晶質半導体膜や結晶性半導体膜（単結晶ではない、多結晶、微結晶等の結晶性を有する半導体膜）、すなわち、単結晶ではない半導体膜（非単結晶半導体膜と呼ぶ）に対し、レーザアニールを施して、結晶化及び結晶性を向上させる技術が、広く研究されている。上記半導体膜には、珪素膜がよく用いられる。

【0003】

ガラス基板は、従来よく使用されてきた石英基板と比較し、安価で加工性に富んでおり、大面積基板を容易に作製できる利点を持っている。このため、上記研究が盛んに行われ

10

20

30

40

50

ている。結晶化に好んでレーザが使用されるのは、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。

【 0 0 0 4 】

レーザアニールを施して形成された結晶性珪素膜は、高い移動度を有する。そのため、この結晶性珪素膜を用いた薄膜トランジスタ (T F T) が盛んに利用されている。例えば、一枚のガラス基板上に、画素用と駆動回路用の T F T を作製する、モノリシック型の液晶電気光学装置等に盛んに利用されている。前記結晶性珪素膜は多数の結晶粒からできているため、多結晶珪素膜、あるいは多結晶半導体膜と呼ばれる。

【 0 0 0 5 】

また、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 c m 角の四角いスポットや、長さ 1 0 c m 以上の線状となるように光学系にて整形することができる (例えば、特許文献 1)。このような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。

【 0 0 0 6 】

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長幅方向に直角な方向だけの走査で被照射面全体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。ここで線状のビームスポットとはアスペクト比が大きい長方形のビームスポットとする。長幅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方向であるからである。この高い量産性により、現在レーザアニールにはパルス発振のエキシマレーザのビームスポットを適当な光学系で整形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。

【 0 0 0 7 】

図 6 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 6 中に示す光学系はきわめて一般的なものである。前記光学系は、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均一化を果たすものである。一般にビームのエネルギーの均一化を行う光学系を、ビームホモジナイザと呼ぶ。図 6 に示した光学系もビームホモジナイザである。

【 0 0 0 8 】

まず、図 6 (a) の側面図について説明する。レーザ発振器 1 2 0 1 から出たレーザビームは、シリンダリカルレンズアレイ 1 2 0 2 a と 1 2 0 2 b により、前記レーザビームのスポットを 1 方向に分割する。前記方向を、縦方向と呼ぶことにする。前記縦方向は、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、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 1 2 0 4 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 1 2 0 7 で反射され、その後、ダブレットシリンダリカルレンズ 1 2 0 8 により、被照射面 1 2 0 9 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、線状に整形された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。

【 0 0 0 9 】

次に、図 6 (b) の平面図について説明する。レーザ発振器 1 2 0 1 から出たレーザビームは、シリンダリカルレンズアレイ 1 2 0 3 により、前記レーザビームのスポットを、前記縦方向に対し直角方向に分割する。前記直角方向を、横方向と呼ぶことにする。前記横方向は、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 1 2 0 5 にて、7 分割された前記スポットは被照射面 1 2 0 9 にて 1 つに合成される。ミラー 1 2 0 7 以降が破線で示されているが、前記破線は、ミラー 1 2 0 7 を配置しなかった場合の

10

20

30

40

50

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、線状に整形されたビームスポットの横方向のエネルギー分布の均一化がなされ、横方向の長さが決定される。

【0010】

上述したように、シリンドリカルレンズアレイ1202aとシリンドリカルレンズアレイ1202bとシリンド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、得られる線状のビームスポットのエネルギー分布の均一性が決まる。

【0011】

上記の諸レンズは、XeCl エキシマレーザに対応するため合成石英製である。また、エキシマレーザをよく透過するように表面にコーティングを施してあり、これにより、レンズ1つあたりのエキシマレーザの透過率は99%以上となる。

10

【0012】

上記の構成で整形された線状のビームスポットをそのビームスポットの線幅方向に徐々にずらしながら重ねて照射する。そうすると、例えば非単結晶珪素膜全面に対しレーザーアニールを施して結晶化及び結晶性を向上させることができる。

【0013】

次に、レーザービームの照射対象となる半導体膜の典型的な作製方法を示す。まず基板として、厚さ0.7mm、5インチ角のガラス基板を用いる。基板にプラズマCVD装置を用いて、厚さ200nm程度のSiO₂膜（酸化珪素膜）を成膜し、SiO₂膜表面に厚さ50nm程度の非晶質珪素膜（以下、a-Si膜と表記する）を成膜する。基板を、温度500の窒素雰囲気中に1時間さらすと、膜中の水素濃度が低減される。これにより、膜の耐レーザー性が著しく向上する。

20

【0014】

レーザー発振器は、XeCl エキシマレーザ（波長308nm、パルス幅30ns）を使用する。レーザービームのスポットサイズは、レーザービームの出口で、15×35mm（共に半値幅）である。レーザービームの出口は、レーザー発振器からレーザービームが出た直後における、レーザービームの進行方向に垂直な平面で定義する。

【0015】

エキシマレーザの発生するレーザービームの形状は一般的に長方形状であり、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6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、例えば300mm×0.4mmの線状のビームスポットに変換される。

30

【0016】

上述の半導体膜に対しレーザービームを照射する場合、重ね合わせのピッチは線状のビームスポットの短幅（半値幅）の1/10前後が最も適当であった。これにより、前記半導体膜内における結晶性の均一性を向上させることができる。上記の例では、前記半値幅が0.4mmであったので、エキシマレーザのパルス周波数を300Hz、走査速度を10mm/sとし、レーザービームを照射する。このとき、レーザービームの被照射面におけるエネルギー密度は450mJ/cm²とする。これまで述べた方法は線状のビームスポットを使って半導体膜を結晶化するために用いられる極めて一般的なものである。

40

【0017】

【特許文献1】特開平9-234579号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

上記、シリンドリカルレンズアレイの製作には、高い加工精度が要求される。

【0019】

シリンドリカルレンズアレイはシリンドリカルレンズを曲率方向に並べたレンズである。ここで、曲率方向とはシリンドリカルレンズの円筒面の母線と垂直な方向とする。シリ

50

シンドリカルレンズアレイには、構成するシンドリカルレンズ間に接合部が必ず存在する。前記接合部はシンドリカルレンズとしての曲面を有していないため、前記接合部に入射したレーザービームはシンドリカルレンズの作用を受けずに透過する。前記作用を受けずに被照射面に到達するレーザービームは、被照射面における長方形のビームスポットのエネルギー分布の不均一性の原因となりうる。

【 0 0 2 0 】

また、前記シンドリカルレンズアレイを構成するシンドリカルレンズはすべて同じ精度で製作されていなければならない。前記シンドリカルレンズが異なる曲率を持っていれば、シンドリカルレンズアレイによって分割されたレーザービームは集光レンズによっても、被照射面の同じ位置に重ね合わされない。つまり、被照射面における長方形のビームスポットでエネルギーの減衰する領域が増加する。これは、エネルギーの利用効率の低下を招く。

【 0 0 2 1 】

被照射面におけるビームスポットのエネルギー分布の不均一性の原因は、光学系を構成するシンドリカルレンズアレイの構造的な問題及び製作精度にある。つまり、不均一性の原因の一つは、前記シンドリカルレンズアレイによって分割されたレーザービームがすべて同じ位置に重ね合わされていない点にある。

【 0 0 2 2 】

さらに、被照射面において長方形の長辺方向のエネルギー分布が不均一である長方形のビームスポットを半導体膜に照射し走査させた場合、半導体膜上に前記不均一な分布を反映した結晶性の不均一性が生じる。前記結晶性の不均一性は半導体膜の電気移動度などの特性の不均一性と同期する。例えば前記半導体膜上を用いて形成される T F T の電気特性のばらつきとなって現われ、前記 T F T を用いたパネル上に明暗の模様を表示する。

【 0 0 2 3 】

本発明では、上記問題を鑑みたものであり、高い製作精度が要求される光学レンズを用いることなく、長辺方向のエネルギー分布が均一な長方形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なビームホモジナイザを提供する。また、長辺方向のエネルギー分布が均一な長方形のビームスポットを有するレーザー光を照射することが可能なレーザー照射装置を提供する。さらには、基板面内の結晶性の均一性を向上させ、動作特性の高い T F T を生産することが可能な半導体装置の作製方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 4 】

本発明は、上記の長方形のビームスポットを形成する光学系において、被照射面における長方形のビームスポットの長辺方向のエネルギー分布を均一化する光学系として、光導波路を用いるものである。光導波路とは、放射光を一定領域に閉じ込め、そのエネルギーの流れを経路の軸に平行に案内して伝送する能力を持つ回路である。

【 0 0 2 5 】

本明細書が開示する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アスペクト比が 1 0 以上、好ましくは 1 0 0 以上の長方形にするためのビームホモジナイザであって、長方形の長辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路を有することを特徴とするものである。

【 0 0 2 6 】

本発明において、ビームホモジナイザに光導波路を用いる理由は以下の通りである。光導波路にレーザービームを入射すると、光導波路内においてレーザービームは反射を繰り返し、射出面に至る。つまり光導波路に入射するレーザービームは、折りたたまれるように、同じ位置である射出面に重ね合わされることになる。よって、光導波路に入射されたレーザービームは分割され、分割されたレーザービームを同じ位置に重ね合わされることと同様の効果を受けることとなり、レーザービームが重ね合わされた位置である射出面においてレーザービームのエネルギー分布が均一化される。

【 0 0 2 7 】

本発明の構成は、被照射面におけるビームスポットをアスペクト比が10以上、好ましくは100以上の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、長方形状の長辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路と、被照射面において、光導波路から射出される光を長方形状の長辺方向に集光させる一つもしくは複数のシリンドリカルレンズを有することを特徴とするビームホモジナイザである。

【0028】

本発明の他の構成は、被照射面におけるビームスポットをアスペクト比が10以上、好ましくは100以上の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、長方形状の短辺方向のエネルギー分布を被照射面において均一化する手段と、長方形状の長辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路とを有し、手段は少なくともシリンドリカルレンズアレイを有することを特徴とするビームホモジナイザである。

10

【0029】

本発明の他の構成は、被照射面におけるビームスポットをアスペクト比が10以上、好ましくは100以上の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、長方形状の長辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路と、長方形状の短辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路とを有することを特徴とするビームホモジナイザである。

【0030】

上記のビームホモジナイザの発明の構成において、光導波路は向い合う2つの反射面を有することを特徴としている。

【0031】

20

なお、上記光導波路として、ライトパイプを用いることができる。ライトパイプとは、通常、反射によって一端から他端に光を送るためのものであり、円錐形、ピラミッド形、円柱形、角柱形などの形状である。なお、光伝送にはミラーによる反射を用いてもよく、向い合う2つの反射面を有するものなどが考えられる。

【0032】

本明細書が開示するレーザ照射装置は、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、ビームホモジナイザは、長方形状の長辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路を有することを特徴とするレーザ照射装置である。

【0033】

30

本発明の他の構成は、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、ビームホモジナイザは、長方形状の長辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路と、長方形状の短辺方向のエネルギー分布を均一化する光導波路とを有することを特徴とするレーザ照射装置である。

【0034】

上記のレーザ照射装置の発明の構成において、光導波路は向い合う2つの反射面を有する。

【0035】

なお、上記光導波路として、ライトパイプを用いることができる。

40

【0036】

上記のレーザ照射装置の発明の構成において、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、GdVO₄レーザ、YLFレーザ、Arレーザのいずれかであることを特徴としている。

【0037】

上記のレーザ照射装置の発明の構成において、レーザ照射装置は、ビームスポットの被照射体をビームスポットに対し相対的に移動させる移動ステージを有することを特徴とし、また、被照射体をステージに運搬する搬送装置を有することを特徴とする。

【0038】

本発明が開示する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

50

と、レーザ発振器で発生させたレーザビームを、非単結晶半導体膜を被照射面として、シリンドリカルレンズアレイ及び光導波路を用いて、被照射面におけるアスペクト比が10以上、好ましくは100以上である長方形のエネルギー分布の均一なビームスポットに整形し、ビームスポットの位置を非単結晶半導体膜に対して相対的に移動させながら、非単結晶半導体膜をレーザアニールする工程とを有し、シリンドリカルレンズアレイは長方形のビームスポットの短辺方向に作用し、光導波路は長方形のビームスポットの長辺方向に作用することを特徴としている。

【0039】

本発明の他の構成は、基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、レーザ発振器で発生させたレーザビームを、非単結晶半導体膜を被照射面として、複数の光導波路を用いて被照射面におけるアスペクト比が10以上、好ましくは100以上である長方形のエネルギー分布の均一なビームスポットに整形し、ビームスポットの位置を非単結晶半導体膜に対して相対的に移動させながら、非単結晶半導体膜をレーザアニールする工程とを有し、複数の光導波路の内、少なくともひとつの光導波路は長方形のビームスポットの長辺方向に作用し、少なくともひとつの光導波路は長方形のビームスポットの短辺方向に作用することを特徴としている。

【0040】

なお、上記光導波路として、ライトパイプを用いることができる。

【0041】

上記の半導体装置の作製方法の発明の構成において、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、GdVO₄レーザ、YLFレーザ、Arレーザのいずれかであることを特徴としている。

【発明の効果】

【0042】

本発明が開示するレーザ照射装置は、光導波路を具備したビームホモジナイザを有することを特徴とする。光導波路は、向い合う2つの反射面を有し、長方形の長辺方向のエネルギー分布を被照射面において均一化することができる。

【0043】

本発明が開示する光導波路を用いた長方形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、高い製作精度が要求される光学レンズを用いることなく、長辺方向のエネルギー分布が均一な長方形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、光導波路は、長方形の短辺方向に作用し、その方向におけるエネルギー分布も被照射面において均一化することができるので、より好ましい。こ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のビームスポットを、半導体膜に長方形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不均一性を抑制することができ、半導体膜面内の結晶性の均一性を向上させることができる。また本発明を、低温ポリシリコン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、低温ポリシリコンを、液晶表示装置や、有機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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0044】

最初に、図1を用いて、光導波路によるビームスポットのエネルギー分布を均一化する方法を説明する。まず、図1(a)の平面図について説明する。向い合う2つの反射面102a、102bを有する光導波路102、被照射面103を用意し、レーザビームを紙面左側から入射させる。前記レーザビームは、光導波路102が存在するときのレーザビームを実線101aで、光導波路102が存在しないときのレーザビームを破線101bで示す。光導波路102が存在しないとき紙面左側から入射するレーザビームは、破線101bで示したように、被照射面103a、103b及び103cの領域に到達する。

【0045】

一方、光導波路 102 が存在するときには、実線 101a で示したように、レーザービームは光導波路 102 の反射面によって反射され、すべてのレーザービームが被照射面 103b の領域に到達する。つまり、光導波路 102 が存在するときには、光導波路 102 が存在しないときに被照射面 103a 及び 103c の領域に到達するレーザービームが、すべて被照射面 103b の領域に到達する。従って、光導波路 102 にレーザービームを入射すると、前記光導波路内において反射を繰り返し、射出口に至る。つまり入射するレーザービームが折りたたまれるように、同じ位置である被照射面 103b に重ね合わされることになる。この例において、光導波路がない場合の被照射面 103 での光の拡がり 103a、103b、103c をあわせた長さを A とし、光導波路がある場合の被照射面 103 での光の拡がり 103b の長さを B としたとき、 A/B が従来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、入射するレーザービームを分割し、分割されるレーザービーム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レーザービームのエネルギー分布は均一化される。

10

【0046】

ホモジナイザは一般的にレーザービームの分割数が多くなるほど、分割されたレーザービーム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。上記光導波路 102 において、レーザービームの分割数を多くするには、上記光導波路 102 内での反射回数を多くすることで可能となる。つまり、光導波路が有する 2 つの反射面のレーザービーム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、入射するレーザービームの 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。

20

【0047】

本発明で開示するビームホモジナイザを用いた長方形のビームスポット形成光学系を、図 2 を用いて説明する。図 2 (a) の平面図において、紙面に対して垂直な方向が長方形のビームスポットの短辺方向である。以下、光導波路としては、ライトパイプを用いることができる。

【0048】

まず、図 2 (a) の平面図について説明する。レーザー発振器 201 から射出されたレーザービームは図 2 中、矢印の方向に伝播され、シリンダリカルレンズ 202 に入射する。レーザービームはシリンダリカルレンズ 202 によって、長方形の長辺方向に絞られ、向い合う 2 つの反射面 203a 及び 203b を有する光導波路 203 に入射する。光導波路 203 に入射したレーザービームは、光導波路 203 内において反射を繰り返し、射出口に至る。光導波路 203 の射出口には、長方形ビームスポットの長辺方向においてエネルギー分布の均一な面が形成される。光導波路 203 の形状としては、レーザービームの入射方向に長さ 300 mm、反射面間の距離が 2 mm のものなどが考えられる。

30

【0049】

光導波路 203 の入射方向への長さが長ければ長いほど、また、シリンダリカルレンズ 202 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、前記光導波路の長さや、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。

40

【0050】

光導波路 203 の射出口に形成された長方形ビームスポットの長辺方向にエネルギー分布が均一な面は、シリンダリカルレンズ 204 によって、被照射面 208 に投影される。すなわち、前記均一な面と、被照射面 208 とは、シリンダリカルレンズ 204 に対して共役な位置にある。これにより、長方形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、長辺方向の長さが決定される。

【0051】

光導波路 203 を有する本発明は、従来の光学系で被照射面における長方形のビームスポットのエネルギー分布の不均一性の原因となった、シリンダリカルレンズアレイの構造的な問題及び製作精度、分割したレーザービームの集光レンズであるシリンダリカルレンズの

50

製作精度の問題を改善することができる。

【0052】

次に、図2(b)の側面図について説明する。レーザ発振器201から射出されたレーザビームは、シリンダリカルレンズアレイ205a及び205bにより、長方形状ビームスポットの短辺方向に分割される。前記シリンダリカルレンズアレイ205a及び205bによって分割されたレーザビームは、シリンダリカルレンズ206により同じ面で重ね合わせられ、長方形状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。

【0053】

前記シリンダリカルレンズ206によって形成された、長方形状ビームスポットの短辺方向にエネルギー分布が均一な面は、シリンダリカルレンズ207a及び207bからなるダブレットシリンダリカルレンズにより、被照射面208に投影される。これにより、被照射面208において、長方形状ビームスポットの短辺方向に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。前記ダブレットシリンダリカルレンズは使用しなくとも構わないが、前記ダブレットシリンダリカルレンズを用いることにより、光学系と照射面との間に距離がとれるため、空間的な余裕ができる。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ダリカルレンズのF値(焦点距離/開口率)が非常に大きい場合は、シングレットシリンダリカルレンズを用いても良い。

【0054】

以上の構成からなる光学系を用いることにより、被照射面上に、長辺方向及び短辺方向ともにエネルギー分布が均一化された長方形状のビームスポットを形成することが可能となる。

【0055】

本発明が開示するビームホモジナイザを用いた長方形状のビームスポット形成用光学系と組み合わせるレーザ発振器は、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、用いるレーザ発振器の出すレーザビームの波長は600nm以下であることが好ましい。このようなレーザビームを出すレーザ発振器には、例えば、エキシマレーザ、YAGレーザ(高調波)、ガラスレーザ(高調波)がある。

【0056】

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ビームを発振するレーザ発振器として、例えば、YVO₄レーザ(高調波)、GdVO₄レーザ(高調波)、YLFレーザ(高調波)、Arレーザがある。

【0057】

以下、本発明のビームホモジナイザ及びレーザ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、例えば600×720×0.7mmの基板を用意する。この基板は600℃までの温度であれば十分な耐久性があり、代表的にはアルミノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノシリケートガラスなどの無アルカリガラス基板が使用できる。前記ガラス基板上に下地膜として酸化珪素膜を200nm成膜する。さらに、その上から非晶質珪素膜を55nmの厚さに成膜する。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。

【0058】

上記成膜済の基板を、450～500℃の窒素雰囲気中に1～3時間おく。本工程は非晶質珪素膜中の水素濃度を減らすための工程である。半導体膜中の水素が多すぎると膜がレーザエネルギーに対して耐えきれないので本工程をいれる。前記膜内の水素の濃度は10²⁰/cm³オーダーが適当である。ここで、10²⁰/cm³とは、1cm³あたりに水素原子が10²⁰個存在するという意味である。

【0059】

本発明の実施の形態では、レーザ発振器として、例えば、XeClエキシマレーザを使う。本実施例では、ラムダ社製のXeClエキシマレーザ(波長308nm、パルス幅30ns)

s) STEEL1000を使用する。前記エキシマレーザは、パルスレーザである。前記エキシマレーザの最大エネルギーは、1パルスあたり1000mJ、発振波長は308nm、最大周波数は300Hzである。基板1枚をレーザ処理する間、該パルスレーザの1パルスごとのエネルギー変動は、±10%以内、好ましくは±5%以内に収まっていると、均一な結晶化が行える。

【0060】

ここで述べているレーザエネルギーの変動は、以下のように定義する。すなわち、基板1枚を照射している期間のレーザ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。

【0061】

またレーザ発振器として、例えば、ソプラ社製のXeClエキシマレーザ(発振波長308nm、パルス幅170ns)VEL1520を使用しても良い。前記エキシマレーザの最大エネルギーは、1パルスあたり15J、周波数は20Hzである。前記エキシマレーザを用いた場合、基板1枚をレーザ処理する間、1パルスごとのエネルギー変動を±2.5%以内に収めることができ、より均一な結晶化が行える。また、本発明の光導波路を使った光学系を用いると、被照射面におけるビームスポットの位置がレーザビームの変動に全く影響を受けないので、光導波路とVEL1520のような極めて出力安定性の高いレーザとを組み合わせると、非常に均一なレーザアニールを行なうことが可能となる。

【0062】

レーザビームの照射は例えば、図2に示した被照射面208をのせたステージを長方形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。だいたいの目安は、エネルギー密度200mJ/cm²~1000mJ/cm²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90%程度もしくはそれ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。また、複数の基板を収納することができる基板ホルダーと、前記基板を前記基板ホルダーと前記ステージの間を自動運搬する搬送装置を用意することで、より効率的に基板を処理することが可能となる。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】

上記の例ではレーザ発振器にエキシマレーザを用いた。エキシマレーザ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。以下に示すレーザにはコヒーレント長が長いものもあるが、そのようなレーザを用いるときは、分割されたレーザビームを合成する前に、互いに光路差をつけて合成するようにすると干渉の発生を抑制できる。あるいは、光学系を通す前に、光ファイバーなどを通し、作為的にコヒーレント長を変えてからホモジナイザに導入して用いればよい。YAGレーザの高調波やガラスレーザの高調波を用いても同様な大出力が得られ、かつ珪素膜にレーザ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他のレーザ発振器として、YVO₄レーザ(高調波)、GdVO₄レーザ(高調波)、YLFレーザ(高調波)、Arレーザなどがある。これらのレーザ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晶質珪素膜を使ったが、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晶質珪素ゲルマニウム膜などの非晶質構造を有する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い。

【実施例1】

【 0 0 6 6 】

図 3 に本実施例で説明する光導波路を用いた光学系の例を示す。光導波路としては、ライトパイプを用いることができる。まず、図 3 (a) の平面図について説明する。レーザ発振器 3 0 1 から射出されたレーザビームは図 3 中、矢印の方向に伝搬される。図 3 (a) の平面図において、紙面に対して垂直な方向が長方形のビームスポットの短辺方向である。

【 0 0 6 7 】

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。なお、前記球面レンズ 3 0 2 a 及び 3 0 2 b のように、ビームスポットの形状を拡大する光学系一般的にビームエキスパンダーと呼ぶ。

10

【 0 0 6 8 】

前記ビームエキスパンダーによって拡大されたレーザビームを、第 1 面が曲率半径 1 9 4 . 2 5 mm、第 2 面が平面、厚さ 2 0 mm のシリンドリカルレンズ 3 0 3 により、長方形ビームスポットの長辺方向に絞る。曲率半径の符号は、曲率中心がレンズ面に対してレーザビーム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。また、レンズ面はレーザビームが入射する面を第 1 面、射出する面を第 2 面とする。

【 0 0 6 9 】

向い合う 2 つの反射面 3 0 4 a 及び 3 0 4 b からなる光導波路 3 0 4 を、光導波路 3 0 4 の入射口位置がシリンドリカルレンズ 3 0 3 の焦点位置になるように配置する。光導波路 3 0 4 に入射したレーザビームは、光導波路 3 0 4 内において反射を繰り返しエネルギー分布が均一化され、射出口に至る。光導波路 3 0 4 の射出口には、長方形ビームスポットの長辺方向のエネルギー分布が均一な面が形成される。光導波路 3 0 4 はレーザビームの進行方向の長さが 2 0 0 mm で、反射面間の距離を 2 mm とする。

20

【 0 0 7 0 】

光導波路 3 0 4 の射出口から 2 0 mm の位置に配置する第 1 面の曲率半径が 9 . 7 mm、第 2 面が平面、厚さ 5 mm のシリンドリカルレンズ 3 0 5 により、光導波路 3 0 4 の射出口に形成された長方形ビームスポットの長辺方向のエネルギー分布が均一な面をシリンドリカルレンズ 3 0 5 の後方 3 6 0 0 mm の位置に配置する被照射面 3 0 9 に投影する。すなわち、前記均一な面と、被照射面 3 0 9 とは、シリンドリカルレンズ 3 0 5 に対して共役な位置にある。これにより、長方形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、長辺方向の長さが決定される。本実施例においては、光導波路 3 0 4 から射出するレーザビームを被照射面 3 0 9 に投影するレンズに、シリンドリカルレンズ 3 0 5 を用いたが、収差をより少なくするためにダブレットシリンドリカルレンズを用いてもよい。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で構成されているレンズのことをいう。あるいは、3 枚以上のレンズで構成されるレンズを用いてもよい。それは設計する系や要求される仕様により決定すればよい。

30

【 0 0 7 1 】

次に、図 3 (b) の側面図について説明する。レーザ発振器 3 0 1 から射出されたレーザビームは、球面レンズ 3 0 2 a 及び 3 0 2 b からなるビームエキスパンダーによって拡大される。前記ビームエキスパンダーによって拡大されたレーザビームを、シリンドリカルレンズ 3 0 5 の後方 7 7 3 . 2 mm に配置された、第 1 面が曲率半径 4 8 6 mm、第 2 面が平面、厚さ 2 0 mm のシリンドリカルレンズ 3 0 6 により、長方形の短辺方向にビームスポットを絞る。

40

【 0 0 7 2 】

向い合う 2 つの反射面 3 0 7 a 及び 3 0 7 b からなる光導波路 3 0 7 を、光導波路 3 0 7 の入射口位置がシリンドリカルレンズ 3 0 6 の焦点位置になるように配置する。光導波路 3 0 7 に入射したレーザビームは、光導波路 3 0 7 内において反射を繰り返しエネルギー分布が均一化され、射出口に至る。光導波路 3 0 7 の射出口には、長方形ビームスポ

50

ットの短辺方向のエネルギー分布が均一な面が形成される。光導波路 307 はレーザービームの進行方向の長さが 250 mm で、反射面間の距離を 2 mm とする。

【0073】

光導波路 307 の射出口から 1250 mm 後方に配置したダブレットシリンドリカルレンズ 308a 及び 308b により、前記ダブレットシリンドリカルレンズの後方 237 mm に配置した被照射面 309 に、光導波路 304 の射出口に形成された長形状光束スポットの短辺方向のエネルギー分布が均一な面を投影する。

【0074】

前記ダブレットシリンドリカルレンズを構成する 2 枚のシリンドリカルレンズは、1 枚は第 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あり、もう 1 枚は第 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あり、2 枚のシリンドリカルレンズの間隔は 5.5 mm である。これにより、長形状の光束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。前記ダブレットシリンドリカルレンズを用いなくて、光導波路 307 の直後に照射面を配置しても構わないが、前記ダブレットシリンドリカルレンズを用いることにより、光学系と照射面との間に距離がとれるため、空間的な余裕ができる。

【0075】

図 3 に示した光導波路を用いた光学系により、長辺方向の長さが 300 mm、短辺方向の長さ 0.4 mm のエネルギー分布が均一な長形状の光束スポットを形成することができる。図 4(a) ~ (c) に光学設計ソフトにおいて行ったシミュレーション結果を示す。図 4(a) は、長形状の光束スポットの中心から長辺方向に ± 200 mm、短辺方向に ± 0.3 mm の平面に形成された光束スポットのエネルギー分布を示した図である。図 4(b)、(c) はそれぞれ、図 4(a) で示した線 A、B におけるエネルギー分布の断面図で、縦軸が、レーザー強度 (A.U.)、横軸が長さ (mm) である。図 4(a) の結果より、光束スポットの形状が極めて長形状に近く、光束スポットの線幅が長さ 300 mm に渡って一様であるので、一様なアニールが期待できる。

【0076】

本実施例で示した光導波路を用いた光学系を利用して、例えば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。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】

【0077】

本実施例では、実施の形態に記載した光学系とは別の光学系の例を挙げる。図 5 に本実施例で説明する光学系の例を示す。なお、光導波路としては、ライトパイプを用いることができる。

【0078】

図 5 中レーザービームは、光導波路 504 及び光導波路 507 以外は、図 3 に示した光学系と全く同じ光路を通る。光導波路 504 及び 507 は、光導波路 304 と同様に向い合う 2 つの反射面を有する。光導波路 304 は向い合う 2 つの反射面間の空間が中空である一方で、光導波路 504 及び 507 の向い合う 2 つの反射面間の空間は屈折率 $n (> 1)$ の媒質で満たされている。この点で両者は異なる。光ファイバーと同様の原理により、レーザービームが臨界角以上の角度で前記光導波路 504 及び 507 に入射すると、反射面においてレーザービームは全反射する。例えば、材質が石英 (屈折率 1.5 程度) である光導波路を空气中に配置することで光導波路と空気との界面において全反射面を有する光導波路が実現可能となる。上記のような光導波路を用いた場合、レーザービームの透過率は全反射しない場合と比べて非常に高くなる。従って、より高効率でレーザー発振器 301 からのレーザービームを被照射面 309 に伝播することができる。

【0079】

なお、図 5 の光導波路 5 0 4 及び 5 0 7 の代わりに、多層構造の光導波路を用いてもよい。代表的には、図 7 (A) で示されるような、2 つの材質からなり、外側の材質 7 0 1 (例えば、石英)の屈折率よりも内側の材質 7 0 2 (例えば、ゲルマニウムを含む石英)の屈折率の方が高い光導波路を用いることもできる。

【 0 0 8 0 】

図 7 (B) に、図 7 (A) で示される光導波路の (ア) (ア') における断面図を示す。また、図 7 (C) に、図 7 (B) の反射面での拡大図を示す。レーザビーム 7 0 3 の入射角度 θ が臨界角 θ_0 以上の角度で前記光導波路に入射すると、向い合う 2 つの反射面間で入射光は全反射される。

【 0 0 8 1 】

なお、光導波路 5 0 4 及び 5 0 7 にレーザビームを入射する際に、前記光導波路の入射面におけるレーザビームの反射率を抑えるために、前記入射面に反射率を抑えるコーティングを適時施してもよい。

【 0 0 8 2 】

図 5 に示した光学系により、長辺方向の長さが 3 0 0 mm、短辺方向の長さが 0 . 4 mm のエネルギー分布が均一な長方形状ビームスポットを形成することができる。

【 0 0 8 3 】

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。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表示装置や発光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】

【 0 0 8 4 】

【図 1】光導波路によるビームスポットのエネルギー分布の均一化を説明する図。

【図 2】本発明が開示する光導波路を用いたビームホモジナイザの例を示す図。

【図 3】本発明が開示する光導波路を用いたビームホモジナイザの例を示す図。

【図 4】図 3 が提示するビームホモジナイザによる長方形状のビームスポットのエネルギー分布。

【図 5】本発明が開示する光導波路を用いたビームホモジナイザの例を示す図。

【図 6】従来のビームホモジナイザを示す図。

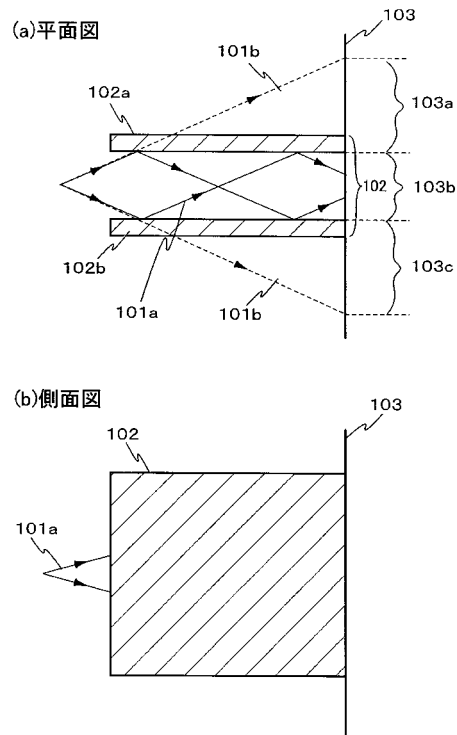
【図 7】本発明が開示する光導波路の例を示す図。

10

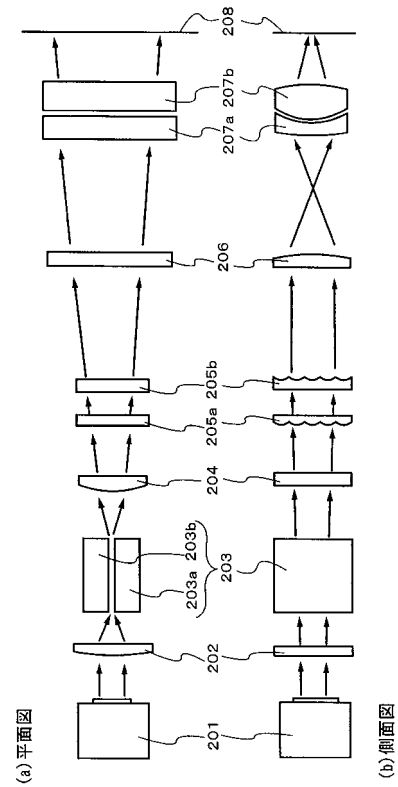
20

30

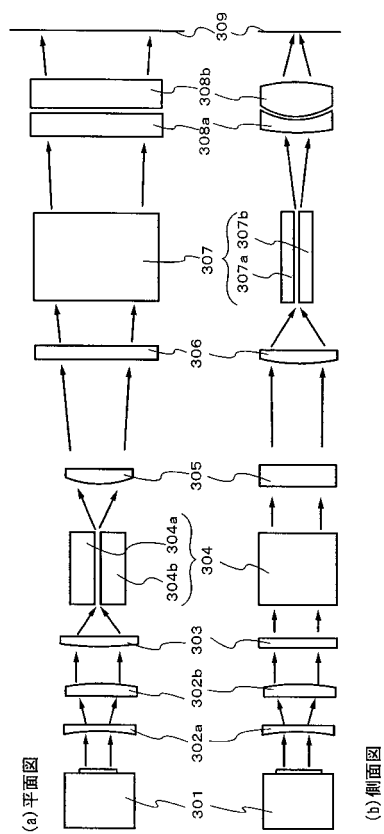
【図 1】



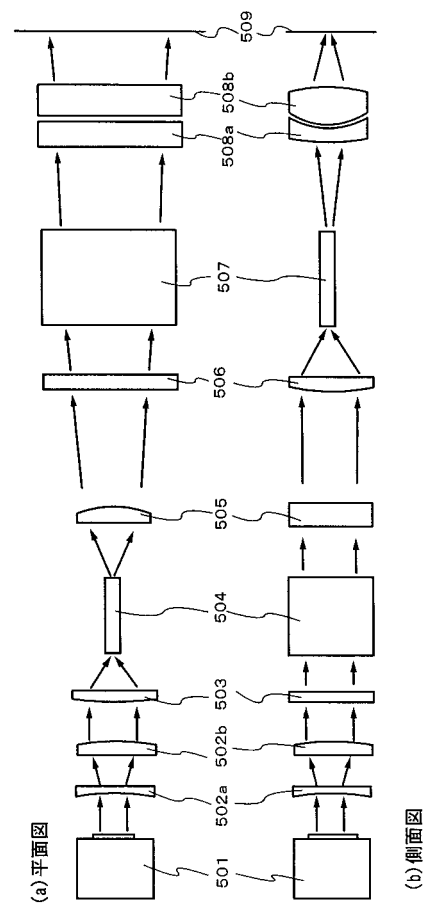
【図 2】



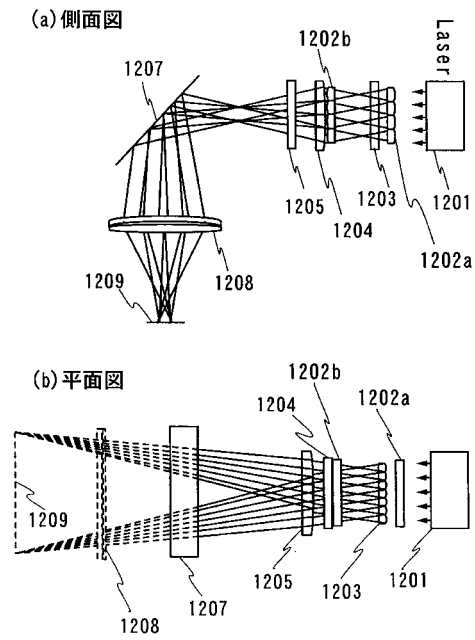
【図 3】



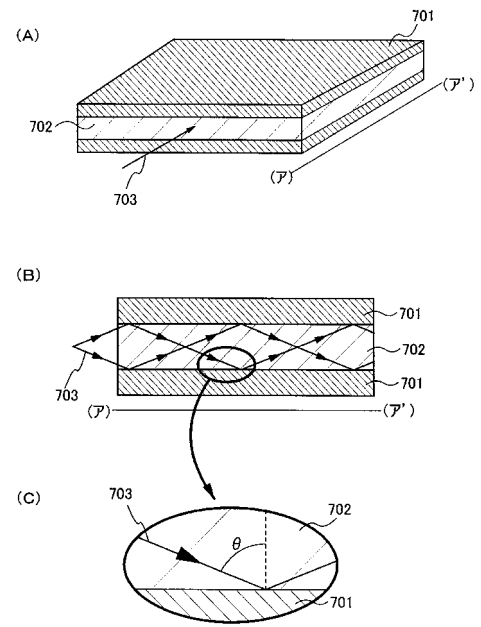
【図 5】



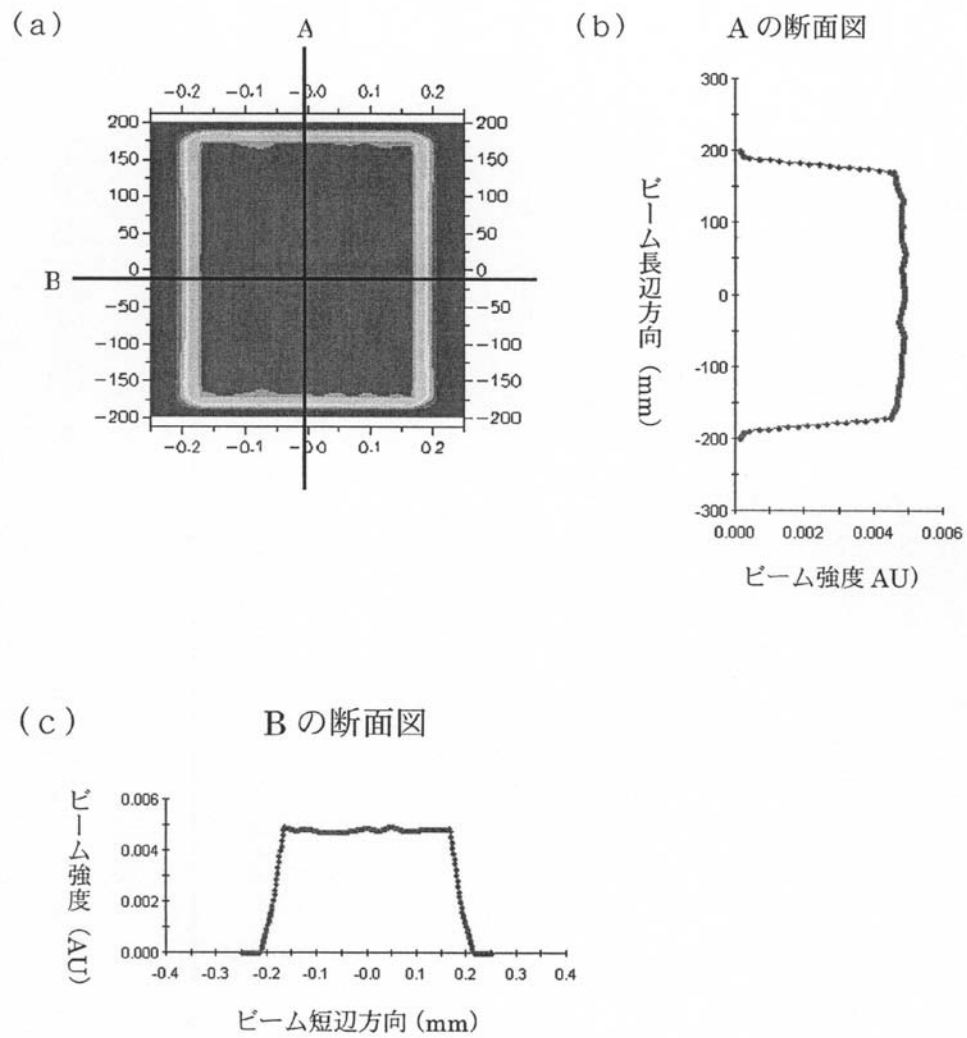
【図 6】



【図 7】



【図 4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平09-275081(JP,A)
特開2002-141302(JP,A)
特開平07-027993(JP,A)
特開平08-327942(JP,A)
特開平09-234579(JP,A)
特開平11-212021(JP,A)
特開2001-007045(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/268
H01L 21/20
B23K 26/00 - 26/42