

(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2004-134785

(P2004-134785A)

(43) 公開日 平成16年4月30日(2004.4.30)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/268

H 0 1 L 21/20

F I

H 0 1 L 21/268

H 0 1 L 21/20

J

テーマコード (参考)

5 F 0 5 2

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2003-325322 (P2003-325322)
 (22) 出願日 平成15年9月17日 (2003.9.17)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-272812 (P2002-272812)
 (32) 優先日 平成14年9月19日 (2002.9.19)
 (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 田中 幸一郎
 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 BA07 BB01 BB02 BB07
 CA07 DA02 DB03 DB07 EA15
 JA01

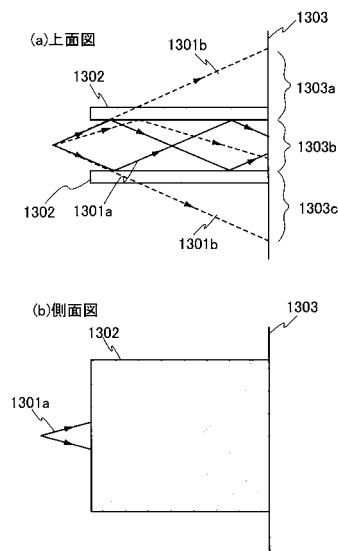
(54) 【発明の名称】 ビームホモジナイザおよびレーザ照射装置、並びに半導体装置の作製方法

(57) 【要約】

【課題】 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リ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。

【解決手段】 本発明は、上長方形形状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形状の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系を、光導波路に置き換えるものである。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った回路である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被照射面におけるビームスポットを長方形状に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導波路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】

請求項 1 に記載の前記光導波路は、向い合う 2 つの反射面を有することを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 3】

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ライトパイプを有す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 3 に記載の前記ライトパイプは、向い合う 2 つの反射面を有することを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 5】

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導波路と、
前記被照射面において、前記光導波路から射出される光を前記長方形状の短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。

【請求項 6】

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ライトパイプと、
前記被照射面において、前記ライトパイプから射出される光を前記長方形状の短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とを有することを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 7】

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のエネルギー分布を前記被照射面において均一化する手段と、
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光導波路とを有し、前記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。

【請求項 8】

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のエネルギー分布を前記被照射面において均一化する手段と、
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ライトパイプとを有し、前記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。

【請求項 9】

請求項 5 又は 7 に記載の前記光導波路は、向い合う 2 つの反射面を有することを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 10】

10

20

30

40

50

請求項 6 又は 8 に記載の前記ライトパイプは、向い合う 2 つの反射面を有することを特徴とするビームホモジナイザ。

【請求項 1 1】

請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載の前記アスペクト比は、1 0 0 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 1 2】

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、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光導波路を有することを特徴とするレーザ照射装置。 10

【請求項 1 3】

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、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光導波路を有し、前記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するレーザ照射装置。

【請求項 1 4】

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、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ライトパイプを有することを特徴とするレーザ照射装置。 20

【請求項 1 5】

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、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ライトパイプを有し、前記ライトパイプは向い合う 2 つの反射面を有することを特徴とするレーザ照射装置。 30

【請求項 1 6】

請求項 1 2 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の前記レーザ発振器は、エキシマレーザ、YAG レーザ、ガラスレーザのいずれかであることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 2 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の前記レーザ発振器は、YVO₄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するレーザ照射装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 2 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の前記アスペクト比は、1 0 0 以上であることを特徴とするレーザ照射装置。 40

【請求項 1 9】

半導体装置の作製方法において、
前記基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
レーザビームを発生させる工程と、
前記レーザビームを少なくともシリンドリカルレンズアレイと光導波路により、被照射面において長方形状のエネルギー分布の均一なビームスポットとする工程と、
前記非単結晶半導体膜が形成された前記基板をステージに設置し、前記非単結晶半導体膜の表面を前記被照射面に一致させる工程と、
前記長方形状のレーザビームを照射させながら前記ステージを前記レーザビームに対して相対的に走査させ、前記非単結晶半導体膜をレーザアニールする工程と、 50

を有し、前記シリンドリカルレンズアレイは前記長方形形状のビームスポットの長辺方向に作用し、前記光導波路は前記長方形形状のビームスポットの短辺方向に作用することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 20】

半導体装置の作製方法において、
前記基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
レーザビームを発生させる工程と、
前記レーザビームを少なくともシリンドリカルレンズアレイと光導波路により、被照射面において長方形形状のエネルギー分布の均一なビームスポットとする工程と、
前記非単結晶半導体膜が形成された前記基板をステージに設置し、前記非単結晶半導体膜の表面を前記被照射面に一致させる工程と、
前記長方形形状のレーザビームを照射させながら前記ステージを前記レーザビームに対して相対的に走査させ、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、前記シリンドリカルレンズアレイは前記長方形形状のビームスポットの長辺方向に作用し、前記光導波路は前記長方形形状のビームスポットの短辺方向に作用し、また前記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する半導体装置の作製方法。

10

【請求項 21】

半導体装置の作製方法において、
前記基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
レーザビームを発生させる工程と、
前記レーザビームを少なくともシリンドリカルレンズアレイとライトパイプにより、被照射面において長方形形状のエネルギー分布の均一なビームスポットとする工程と、
前記非単結晶半導体膜が形成された前記基板をステージに設置し、前記非単結晶半導体膜の表面を前記被照射面に一致させる工程と、
前記線状のレーザビームを照射させながら前記ステージを前記レーザビームに対して相対的に走査させ、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、前記シリンドリカルレンズアレイは前記長方形形状のビームスポットの長辺方向に作用し、前記ライトパイプは前記長方形形状のビームスポットの短辺方向に作用することを特徴とする半導体装置の作製方法。

20

【請求項 22】

半導体装置の作製方法において、
前記基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
レーザビームを発生させる工程と、
前記レーザビームを少なくともシリンドリカルレンズアレイとライトパイプにより、被照射面において長方形形状のエネルギー分布の均一なビームスポットとする工程と、
前記非単結晶半導体膜が形成された前記基板をステージに設置し、前記非単結晶半導体膜の表面を前記被照射面に一致させる工程と、
前記線状のレーザビームを照射させながら前記ステージを前記レーザビームに対して相対的に走査させ、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、前記シリンドリカルレンズアレイは前記長方形形状のビームスポットの長辺方向に作用し、前記ライトパイプは前記長方形形状のビームスポットの短辺方向に作用し、また前記ライトパイプは向い合う 2 つの反射面を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

30

40

【請求項 23】

請求項 19 乃至 22 のいずれか 1 項に記載の前記レーザビームの発振器は、エキシマレーザ、YAGレーザ、ガラス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。

【請求項 24】

請求項 19 乃至 22 のいずれか 1 項に記載の前記レーザビームの発振器は、YVO₄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する半導体装置の作製方法。

50

【請求項 25】

請求項 19 乃至 24 のいずれか 1 項に記載の前記アスペクト比は、100 以上であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【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の技術分野に属する。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の技術分野に属する。なお、半導体装置とは、液晶表示装置やエレクトロルミネッセンス (EL) 表示装置のような表示装置、電気光学装置および電気機器を指し、本発明は、前記半導体装置の作製方法の技術分野に属する。

10

【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、非単結晶半導体膜に対し、レーザアニールを施して、結晶化させたり、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】

20

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低いからである。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】

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 (TFT) は盛んに利用され、例えば、一枚のガラス基板上に、画素用と駆動回路用の TFT 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。

30

【0005】

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 cm 角の四角いスポットや、長さ 10 cm 以上の線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。

【0006】

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軸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。長軸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。

40

【0007】

図 10 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 10 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

50

光学系を、ビームホモジナイザと呼ぶ。図 10 に示した光学系もビームホモジナイザである。

【0008】

紫外光であるエキシマレーザを光源に使用するならば、上記光学系の母材は例えばすべて石英とするとよい。なぜならば、高い透過率が得られるからである。また、コーティングは、使用するエキシマレーザの波長に対する透過率が 99% 以上得られるものを使用するとよい。

【0009】

まず、図 10 (a) の側面図について説明する。レーザ発振器 1201 から出たレーザビームは、シリンダリカルレンズアレイ 1202 a と 1202 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 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 1207 で反射され、その後、ダブレットシリンダリカルレンズ 1208 により、被照射面 1209 にて再び 1 つのスポットに合成される。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。

【0010】

次に、図 10 (b) の上面図について説明する。レーザ発振器 1201 から出たレーザビームは、シリンダリカルレンズアレイ 1203 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 1205 にて、7 分割された前記スポットは被照射面 1209 にて 1 つに合成される。ミラー 1207 以降が破線で示されているが、前記破線は、ミラー 1207 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。

【0011】

上述したように、シリンダリカルレンズアレイ 1202 a とシリンダリカルレンズアレイ 1202 b とシリンダリカルレンズアレイ 1203 とがレーザ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。

【0012】

上記の諸レンズは、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、例えば XeCl エキシマレーザを用いる場合、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。

【0013】

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、例えば非単結晶珪素膜全面に対しレーザアニールを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。

【0014】

次に、レーザ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 インチ角のコーニング 1737 基板を用意した。基板にプラズマ CVD 装置を用いて、厚さ 200 nm の SiO₂ 膜（酸化珪素膜）を成膜し、SiO₂ 膜表面に厚さ 50 nm の非晶質珪素膜（以下、a-Si 膜と表記する）を成膜した。基板を、温度 500 の窒素雰囲気中で 1 時間加熱し、膜中の水素濃度を減らした。これにより、膜の耐レーザ性が著しく向上した。

10

20

30

40

50

【0015】

レーザ発振器は、ラムダ社製のXeClエキシマレーザ（波長308nm、パルス幅30ns）L4308を使用した。前記レーザ発振器はパルス発振レーザを発し、1パルスあたり670mJのエネルギーを出す能力を持っている。レーザビームのスポットサイズは、レーザビームの出口で、10×30mm（共に半値幅）である。レーザビームの出口は、レーザ発振器からレーザビームが出た直後における、レーザビームの進行方向に垂直な平面で定義する。

【0016】

エキシマレーザの発生するレーザ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。レーザビームのスポットの強度は、レーザ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。前記レーザビームのスポットサイズは、図10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125mm×0.4mmの線状のビームスポットに変換される。

【0017】

上述の半導体膜に対しレーザ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が向上した。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30Hz、走査速度を1.0mm/sとし、レーザビームを照射した。このとき、レーザビームの被照射面におけるエネルギー密度は450mJ/cm²とした。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。

【0018】

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

【0019】

【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】

【0020】

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。

【0021】

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シリンドリカル面の母線と垂直な方向とする。シリンドリカルレンズアレイには、構成するシリンドリカルレンズ間に接合部が必ず存在する。前記接合部はシリンドリカルレンズとしての曲面を有していないため、この接合部に入射した光線はシリ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照射面に到達する光線は、照射面における長方形状のビームスポットのエネルギー分布の不均一性の原因のひとつになる可能性がある。

【0022】

前記シリンドリカルレンズアレイを構成するシリ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。前記シリンドリカルレンズが異なる曲率を持っていれば、シリンドリカルレンズアレイによって分割された光線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状のビームスポットのエネルギー分布は均一化されない。

【0023】

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リ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。言い換えると、不均一性の原因は、ホモジナイザに入射するすべての光線がシリンドリカルレンズアレイのレンズ作用が働く部分に入射していない点、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がすべて同じ位置に重ね合わされていない点にある。

10

20

30

40

50

【0024】

また、被照射面において長方形の短辺方向のエネルギー分布がガウシアン分布をしている長方形のビームスポットを従来技術で示した方法により、半導体膜に走査させ前記半導体膜を結晶化させた場合、半導体膜上に走査方向と直角な方向に縞模様が顕著に生じる。前記縞模様は半導体膜の結晶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TFTEの電気特性のばらつきとなって現われ、前記TFTEを用いたパネル上に縞模様を表示する。

【0025】

前記縞模様はレーザ発振機の出力の不安定性に起因すると考えられる。よって、レーザ発振機が改良される他、前記縞模様を消す方法はないが、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であれば、レーザ発振機の出力不安定性は平均化され、縞模様は目立たなくなる。すなわち、長方形の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ことで、縞模様の発生を抑制することができる。従って、被照射面におけるエネルギー分布を均一にする光学系の必要性が高まっている。無論、シリンドリカルレンズアレイを用いてエネルギー分布の均一な長方形のビームスポットを与えることはできるが、高精度の光学系が必要であった。

10

【課題を解決するための手段】

【0026】

本発明は、上記の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短辺方向のエネルギー分布を均一化する光学系を、光導波路に置き換えるものである。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った回路である。

20

【0027】

上記課題を解決する方法を、以下に提示する。図1に前記課題を解決する方法の模式図を示す。図1(a)の上面図について説明する。向い合う2つの反射面を有する光導波路1302、照射面1303を用意し、光線を紙面左側から入射する。前記光線は、光導波路1302が存在するときの光線を実線1301aで、光導波路1302が存在しないときの光線を破線1301bで示す。

【0028】

光導波路1302が存在しないときは、光線1301bで示したように、紙面左側から入射する光線は、照射面1303a、1303b及び1303cの領域に到達する。

30

【0029】

光導波路1302が存在するときには、光線1301aで示したように、光線は光導波路1302の反射面によって反射され、すべて照射面1303bの領域に到達する。つまり、光導波路1302が存在するときには、光導波路1302が存在しないときに照射面1303a及び1303cの領域に到達する光線が、すべて照射面1303bの領域に到達する。従って、光導波路1302に光線を入射すると、入射する光線が分割され、それら分割された光線すべてが、同じ位置である照射面1303bに重ね合わされる。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、重ね合わせた位置における光線のエネルギー分布は均一化される。

40

【0030】

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。上記光導波路1302において、光線の分割数を多くするには、上記光導波路1302内での反射回数を多くすることで可能である。つまり、光導波路が有する2つの反射面の光線入射方向の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。望ましくは2つの反射面の間隔を10mm以下にするとよい。これにより、被照射面でのビームスポットの短辺方向の長さを数mm以下にすることができる。

【0031】

本発明の他の構成は、上記の長方形のビームスポット形成用光学系において、被照射面に

50

おける長方形形状の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系を、ライトパイプに置き換えるものである。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円錐形、ピラミッド形、円柱形などの形状に引き出される部材のことをいう。

【0032】

本発明が開示するレーザ装置は、上記の光導波路又はライトパイプを具備したホモジナイザを有することを特徴とする。向い合う2つの反射面を有する光導波路又はライトパイプにより、被照射面における長方形形状の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ことができる。

【0033】

また、半導体装置作製において、上記のレーザ照射装置を用いることにより、被照射面におけるビームスポットのエネルギー不均一性に起因する縞模様の発生を抑制することができる。半導体膜の結晶性の均一性を向上させることができる。

【0034】

本発明の方法は、レーザビームを供給し、レーザビームを光導波路に通し、通った後のレーザビームを半導体膜に照射して半導体膜に照射して半導体膜を結晶化させる（ここで、半導体膜の表面におけるレーザビームのエネルギー分布は光導波路によって均一化されている）段階からなる。

【発明の効果】

【0035】

本発明が開示するレーザ照射装置は、光導波路又はライトパイプ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。前記光導波路又は前記ライトパイプは、向い合う2つの反射面を有し、長方形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ことができる。

【0036】

本発明が開示する長方形形状のビームスポットを形成する光学系を用いれば、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、短辺方向の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。この光学系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縞模様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TFTを効率良く生産することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

本発明で開示する長方形形状のビームスポット形成光学系を、図2を用いて説明する。

【0038】

まず、図2(b)の側面図について説明する。レーザ発振器1101から出たレーザビームは図2中、矢印の方向に伝搬される。まず、レーザビームは球面レンズ1102a及び1102bにより拡大される。この構成は、レーザ発振器1101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。

【0039】

第2面が曲率半径 - 486 mm、厚さ 20 mm のシリンドリカルレンズ 1105 により、長方形の短辺方向にビームスポットを絞る。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。また、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。シリンドリカルレンズ 1105 の後方 1030 mm に置かれた向い合う2つの反射面 1106a 及び 1106b を有する光導波路 1106 により、照射面における長方形形状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。前記光導波路 1106 は光線の入射方向に長さ 300 mm、反射面間の距離が 2 mm とする。

10

20

30

40

50

【0040】

光導波路1302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、シリンドリカルレンズアレイの構造的問題及び製作精度、分割した光線の集光レンズであるシリンドリカルレンズの製作精度の問題を改善することができる。

【0041】

1250mm後方に配置したダブルットシリンドリカルレンズ1107a及び1107bにより、前記ダブルットシリンドリカルレンズから後方237mmに配置した被照射面1108に長方形の短辺方向に光導波路1106から射出される光線を集光する。ダブル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。前記ダブル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+125mm、第2面の曲率半径が+77mm、厚さ10mm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+97mm、第2面の曲率半径が-200mm、厚さ20mm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5.5mmである。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。前記ダブルットシリンドリカルレンズは使用しなくとも構わないが、前記ダブル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。

10

【0042】

次に、図2(a)の上面図について説明する。レーザ発振器1101から出たレーザビームは、シリンドリカルレンズアレイ1103a及び1103b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1103aは、第1面の曲率半径が+28mmで、厚さが5mm、幅2mmのシリンドリカルレンズを曲率方向に30個並べたものである。シリンドリカルレンズアレイ1103bは第1面の曲率半径が-13.33mm、厚さ5mm、幅2mmのシリンドリカルレンズを曲率方向に30個並べたものである。また、シリンドリカルレンズアレイ1103aと1103bとの間隔は88mmとした。その後、シリンドリカルレンズアレイ1103bの後方120mmに置かれた第1面の曲率半径が+2140mm、厚さ20mmのシリンドリカルレンズ1104にて、レーザビームは被照射面1108にて1つに合成される。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。

20

30

【0043】

図3に光学設計ソフトでシミュレーションを行い、長辺方向の長さが300mm、短辺方向の長さが0.4mmのエネルギー分布が均一なビームスポットが得られた結果を示す。図3(a)は、長方形のビームスポットの中心から長辺方向に±0.3mm、短辺方向に±0.2mmの部分のビームスポットのエネルギー分布を示した図である。図3(b)は、長方形のビームスポットのエネルギー分布の長方形の中心部の短辺方向の断面図である。

【0044】

本発明の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。

40

【0045】

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)、YLFレーザ(高調波)、Arレーザがある。

【0046】

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

50

製方法について説明する。まず、基板として $127 \times 127 \times 0.7$ mm のガラス基板（コーニング 1737）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る。前記ガラス基板上に下地膜として酸化珪素膜を 200 nm 成膜する。さらに、その上から非晶質珪素膜を 55 nm 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。

【0047】

上記成膜済の基板を、450 の窒素雰囲気中に 1 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。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 $10^{20}/\text{cm}^3$ オーダーが適当である。ここで、 $10^{20}/\text{cm}^3$ とは、 1 cm^3 あたりに水素原子が 10^{20} 個存在する

10

【0048】

本実施の形態では、レーザ発振器として、ラムダフィジック社製 L4308 XeCl エキシマレーザを使う。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 670 mJ、発振波長は 308 nm、最大周波数は 300 Hz 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、 $\pm 10\%$ 以内、好ましくは $\pm 5\%$ 以内に収まっていると、均一な結晶化が行える。

【0049】

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。

20

【0050】

使用される線状レーザはアスペクト比が 10 以上とし、さらに望ましくは 100 以上であるとよい。

【0051】

レーザビームの照射は例えば、図 2 に示した被照射面 1108 をのせたステージを長方形形状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。だいたいの目安は、エネルギー密度 $200 \text{ mJ}/\text{cm}^2 \sim 1000 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ の範囲である。走査のスピードは、長方形形状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。

30

【0052】

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。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を公知の方法に従って作製することができる。

【0053】

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、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レーザ発振器として、YVO₄ 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。

40

【0054】

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

50

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】

【0055】

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。

【0056】

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。レーザ発振器 1 4 0 1 から出たレーザビームは図 4 中、矢印の方向に伝搬される。

第 2 面の曲率半径が - 1 8 2 m m、厚さが 1 0 m m のシリンドリカルレンズ 1 4 0 2 により、長方形の短辺方向にビームスポットを絞る。向い合う 2 つの反射面 1 4 0 5 a 及び 1 4 0 5 b を有する光導波路 1 4 0 5 の入射口が前記シリンドリカルレンズの焦点位置になるように光導波路 1 4 0 5 を置く。光導波路 1 4 0 5 によってビームスポットのエネルギー分布が均一化される。光導波路 1 4 0 5 は光線の進行方向に長さ 3 0 0 m m で、反射面間の距離を 0 . 4 m m とする。前記光導波路 1 4 0 5 の射出口から 0 . 2 m m だけ離れた位置に照射面 1 4 0 6 を置く。前記照射面 1 4 0 6 において短辺方向の長さが 0 . 4 m m のエネルギー分布が均一な長方形のビームスポットが形成される。

10

【0057】

次に、図 4 の上面図について説明する。レーザ発振機 1 4 0 1 からレーザビームは図 4 中、矢印の方向に伝搬される。第 1 面が曲率半径 + 3 5 m m、幅 3 m m のシリンドリカルレンズを曲率方向に 7 つ接合したシリンドリカルレンズアレイ 1 4 0 3 を通過し、長方形の長辺方向に分割されたビームスポットは、第 1 面が曲率半径 + 8 1 6 m m、厚さ 5 m m のシリンドリカルレンズ 1 4 0 4 を通し、照射面 1 4 0 6 で重ね合わせる。これにより、長方形の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ができる。前記シリンドリカルレンズ 1 4 0 4 が長い焦点距離を持つ場合、集光能力が小さくなるため前記シリンドリカルレンズ 1 4 0 4 は無くともよい。

20

【0058】

図 4 に示した光学系により、長方形の短辺方向の長さ 0 . 4 m m 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。図 5 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 5 (a) は、長方形のビームスポットの中心から長辺方向に $\pm 0 . 3$ m m、短辺方向に $\pm 0 . 2$ m m の部分のビームスポットのエネルギー分布を示した図である。図 5 (b) は、長方形のビームスポットのエネルギー分布の長方形の中心部の短辺方向の断面図である。

30

【実施例 2】

【0059】

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 6 に本実施例で説明する光学系の例を示す。

【0060】

まず、図 6 (b) の側面図について説明する。図 6 中、向い合う 2 つの反射面 1 6 0 5 a 及び 1 6 0 5 b を有する光導波路 1 6 0 5 にレーザビームが達するまでは、図 4 に示した光学系と全く同じ光路を通る。光導波路 1 6 0 5 は、光導波路 1 4 0 5 と同様に向い合う 2 つの反射面を有する。光導波路 1 6 0 5 は光線の進行方向に長さ 9 0 0 m m で、反射面間の距離が 2 . 6 m m とする。前記光導波路 1 6 0 5 から射出される光線は短辺方向の長さ 2 . 6 m m の長方形の短辺方向にエネルギー分布が均一化された長方形のビームスポットに形成される。前記光導波路 1 6 0 5 から射出される光線は前記光導波路 1 6 0 5 から後方 1 0 0 0 m m に配置したダブレットシリンドリカルレンズ 1 6 0 6 a 及び 1 6 0 6 b によって絞られ、前記ダブレットシリンドリカルレンズから後方 2 2 0 m m に配置した照射面 1 6 0 7 に集められる。前記ダブレットシリンドリカルレンズは、第 1 面が曲率半径 + 1 2 5 m m、第 2 面が曲率半径 + 6 9 m m、厚さが 1 0 m m のシリンドリカルレンズ、第 1 面が曲率半径 + 7 5 m m、第 2 面が曲率半径 - 2 2 6 m m、厚さが 2 0 m m のシリンドリカルレンズから構成される。また、上記シリンドリカルレンズ間の間隔は 1 m m とした。照射面 1 6 0 7 には長方形の短辺方向のエネルギー分布が均一な長方形のビーム

40

50

スポットが形成される。前記ダブレットレンズは第1面の曲率半径が+963mm、第2面の曲率半径が-980mm、厚さが30mmのシリンドリカルレンズに置き換えてもよい。その場合、前記シリンドリカルレンズの位置は、光導波路1605から後方2000mmに配置し、照射面1607は前記シリンドリカルレンズの後方2000mmに配置するとよい。

【0061】

次に、図6(a)の上面図について説明する。レーザ発振機1601からレーザビームは図6中、矢印の方向に伝搬される。第1面の曲率半径が35mm、厚さが3mm、幅が3mmのシリンドリカルレンズを曲率方向に7つ接合したシリンドリカルレンズアレイ1603を通過し、長辺方向に分割されたスポットは、第1面の曲率半径が+816mm、厚さが5mmのシリンドリカルレンズ1604を通し、照射面1606で重ね合わせる。これにより、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ができる。前記シリンドリカルレンズ1604が長い焦点距離を持つ場合、集光能力が小さくなるため前記シリンドリカルレンズ1604は無くともよい。

10

【0062】

図6に示した光学系により、短辺方向の長さが0.6mm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。図7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7(a)は、長方形のビームスポットの中心から長辺方向に±0.3mm、短辺方向に±0.2mmの部分のビームスポットのエネルギー分布を示した図である。図7(b)は、長方形のビームスポットのエネルギー分布の長方形の中心部の短辺方向の断面図である。

20

【0063】

本実施例で示し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ディスプレイやエレクトロルミネッセンス(EL)ディスプレイ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】

【0064】

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8に本実施例で説明する光学系の例を示す。

30

【0065】

図8中、光導波路1805以外は、図4に示した光学系と全く同じ光路を通る。光導波路1805は、光導波路1405と同様に向い合う2つの反射面を有する。光導波路1405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1805の反射面間の空間は屈折率nの媒質1805cで満たされている。この点で両者は異なる。媒質の屈折率nが反射面の材質の屈折率よりも大きければ、光線が臨界角以下の角度で前記光導波路1805に入射すると、反射面において光線は全反射する。つまり、このときは光導波路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1801からの光線を照射面1806に集光することができる。なお、シリンドリカルレンズ1804は無くともよい。

40

【0066】

図8に示した光学系により、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。ここで媒質の屈折率は1.521、反射面の材質の屈折率が1.464とした。図9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9(a)は、長方形のビームスポットの中心から長辺方向に±0.3mm、短辺方向に±0.2mmの部分のビームスポットのエネルギー分布を示した図である。図9(b)は、長方形のビームスポットのエネルギー分布の長方形の中心部の短辺方向の断面図である。

【0067】

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

50

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ディスプレイやエレクトロルミネッセンス（ＥＬ）ディスプレイ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 6 8 】

【図 1】本発明の手段を説明する図。

【図 2】本発明が開示するレーザ照射装置の例を示す図。

【図 3】図 2 が提示する光学系による長方形のビームスポットのエネルギー分布。

【図 4】本発明が開示するレーザ照射装置の例を示す図。

【図 5】図 4 が提示する光学系による長方形のビームスポットのエネルギー分布。

【図 6】本発明が開示するレーザ照射装置の例を示す図。

【図 7】図 6 が提示する光学系による長方形のビームスポットのエネルギー分布。

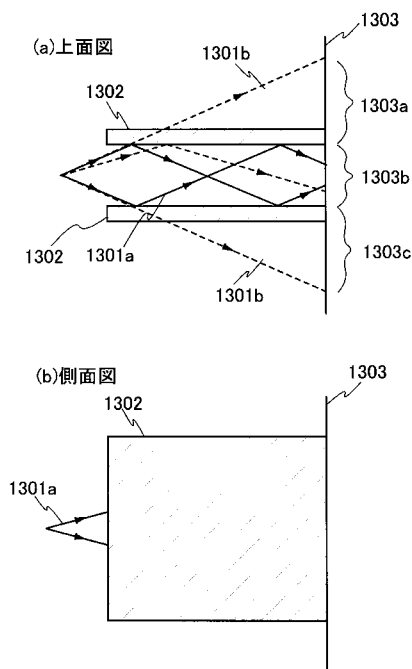
【図 8】本発明が開示するレーザ照射装置の例を示す図。

【図 9】図 8 が提示する光学系による長方形のビームスポットのエネルギー分布。

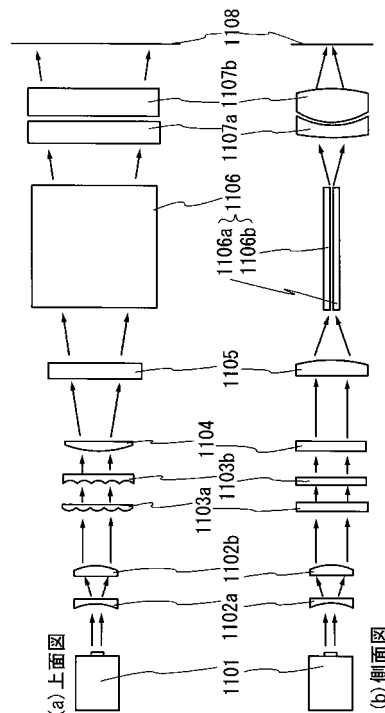
【図 10】従来のレーザ照射装置を示す図。

10

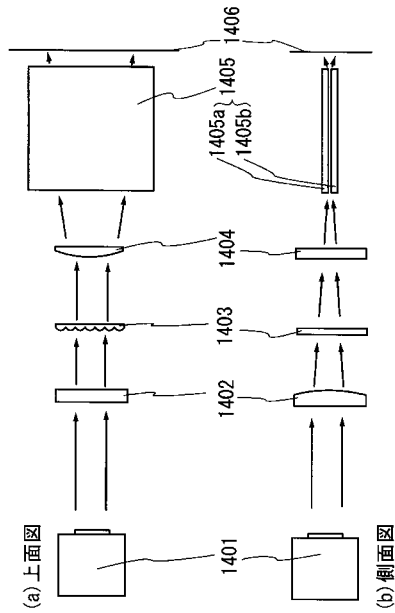
【 図 1 】



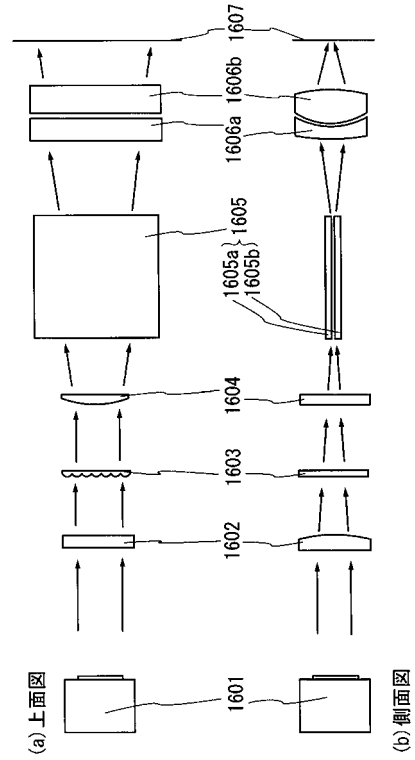
【 図 2 】



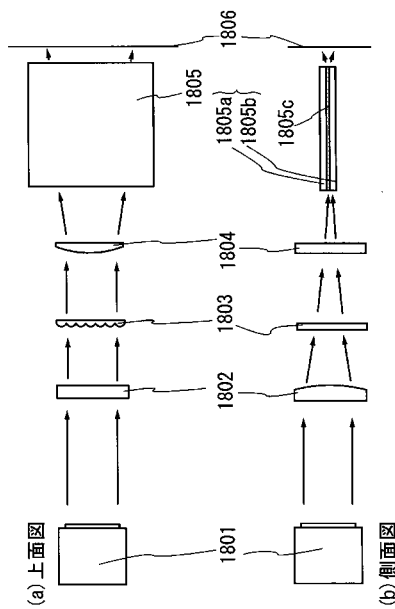
【 図 4 】



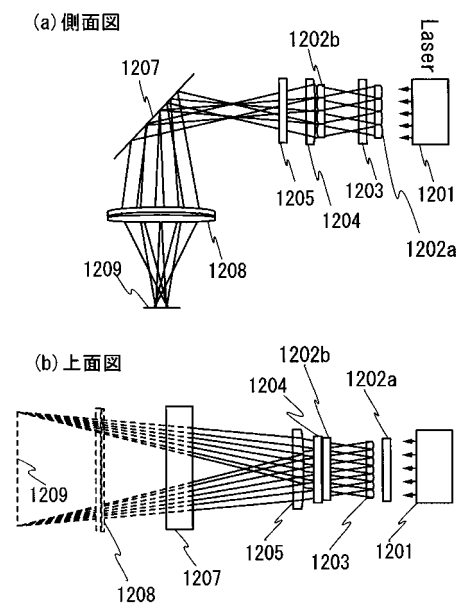
【 図 6 】



【 図 8 】

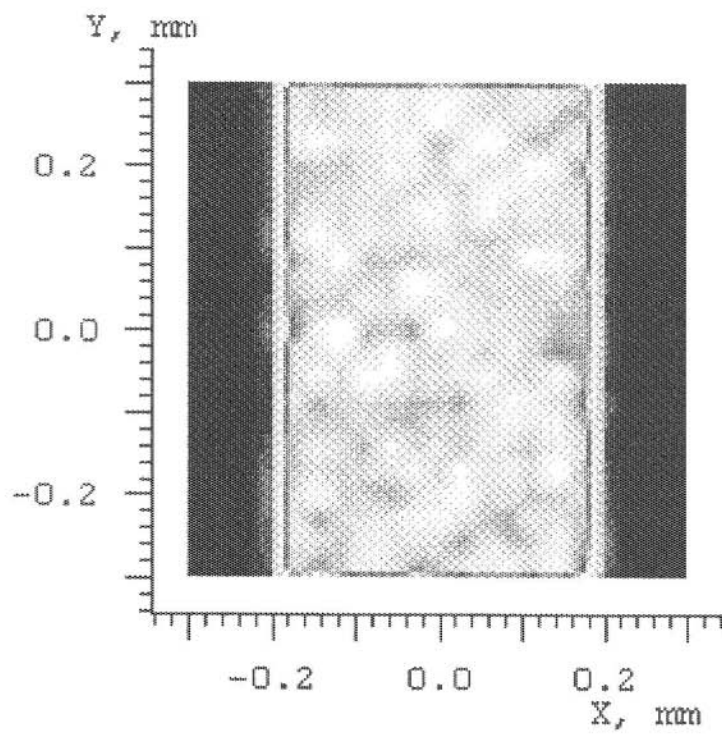


【 図 10 】

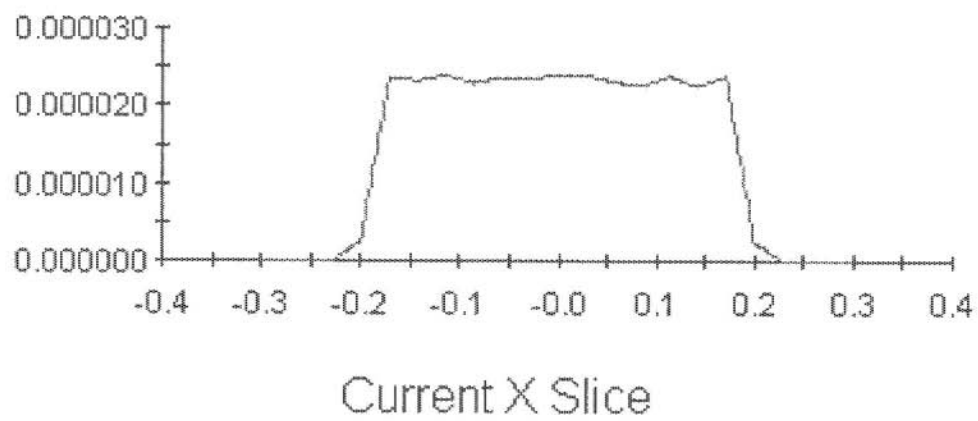


【 図 3 】

(a) Raster チャート

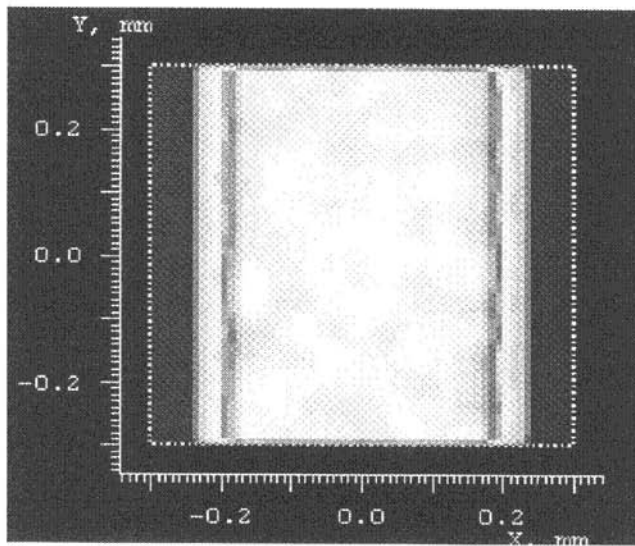


(b) Line チャート

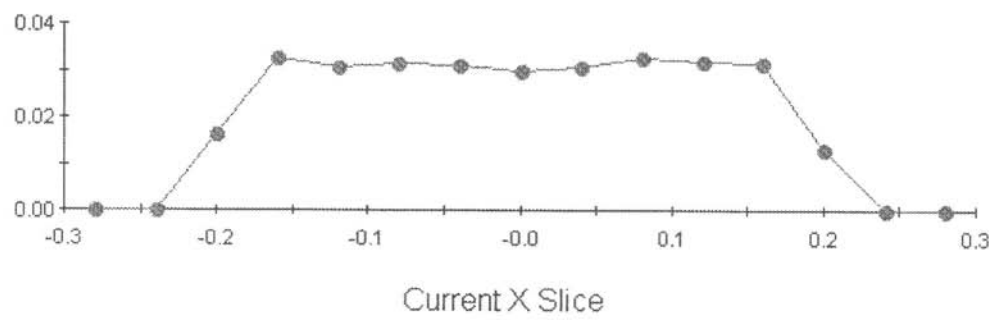


【 図 5 】

(a) Raster チャート

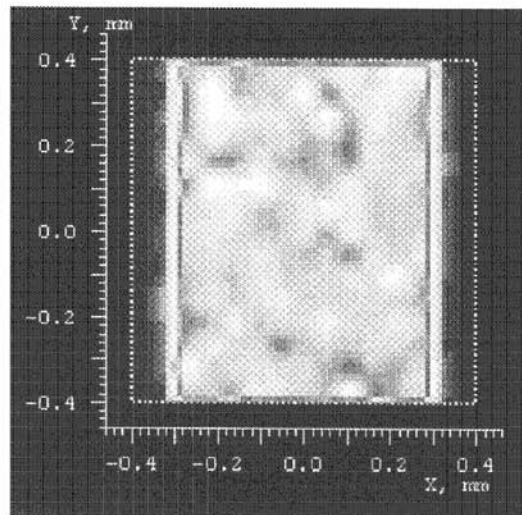


(b) Line チャート

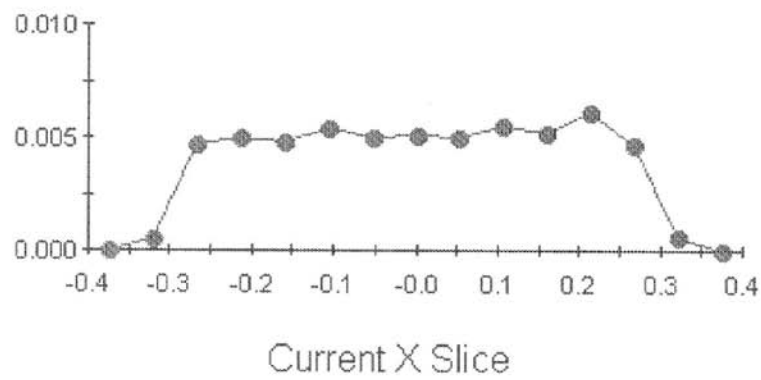


【 図 7 】

(a) Raster チャート

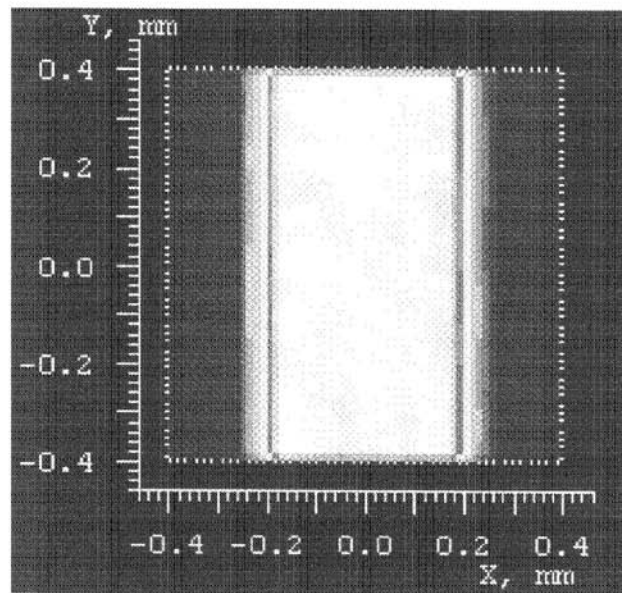


(b) Line チャート



【 図 9 】

(a) Raster チャート



(b) Line チャート

