

(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2005-294493

(P2005-294493A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード (参考)

H O 1 L 21/268

H O 1 L 21/268

T

5 F O 5 2

H O 1 L 21/20

H O 1 L 21/268

J

5 F 1 1 O

H O 1 L 21/336

H O 1 L 21/20

H O 1 L 29/786

H O 1 L 29/78

6 2 7 G

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2004-106770 (P2004-106770)

(22) 出願日 平成16年3月31日 (2004. 3. 31)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(74) 代理人 100081732

弁理士 大胡 典夫

(74) 代理人 100075683

弁理士 竹花 喜久男

(74) 代理人 100084515

弁理士 宇治 弘

(72) 発明者 伊藤 弘

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地

株式会社東芝生産技術センター内

(72) 発明者 外川 隆一

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地

株式会社東芝生産技術センター内

最終頁に続く

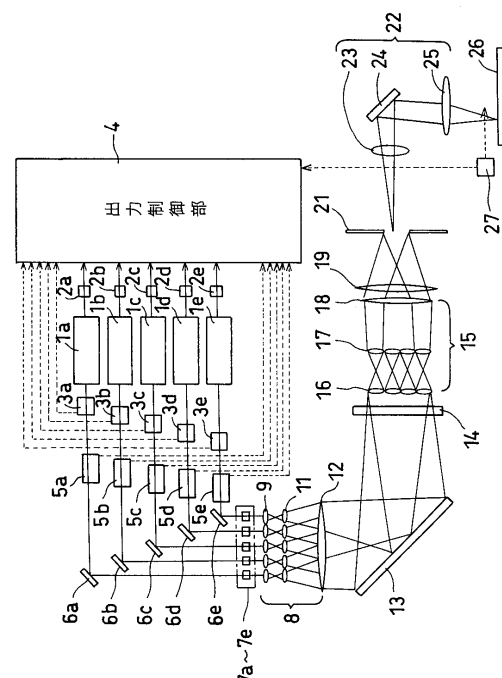
(54) 【発明の名称】 レーザプロセスおよびレーザアニール装置

(57) 【要約】

【課題】 高品質の薄膜トランジスタの活性層の形成するためのレーザプロセスとそれを用いたレーザアニール装置を提供すること。

【解決手段】 レーザ発振器1a~1eを制御する出力制御部は、各レーザ発振器1a~1eの出力が一定になるよう、かつ、加工点のパワーが予め定められている所定のパワーになるように制御し、また、励起用のLDの寿命予測をおこなう。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

L D の励起によるレーザ発振器を並列に複数配置して、前記各レーザ発振器の出射光軸上の前方に、前記各レーザ発振器から発振されたレーザビームを合成して加工点へ導く光学系と、前記レーザビームを監視するモニタが配置され、前記モニタおよび前記 L D の電流を監視する電流モニタからの出力にもとづいて出力制御部により前記各レーザ発振器から発振したレーザビームが制御されているレーザプロセスであって、

前記出力制御部は、前記各レーザ発振器の出力が一定になるよう、かつ、前記加工点のパワーが予め定められている所定のパワーになるように制御し、また、励起用の L D の寿命予測をおこなっていることを特徴とするレーザプロセス。

10

## 【請求項 2】

前記出力制御部による、前記加工点のパワーが予め定められている所定のパワーになるような制御は、加工点パワーモニタからデータを受け、予め定められている所定のパワーになるように、個々のレーザ発振器に対応したバリアブルアッテネータを同じ割合で調整することによりおこなっていることを特徴とする請求項 1 記載のレーザプロセス。

## 【請求項 3】

並列に配置され L D の励起による複数のレーザ発振器と、この各レーザ発振器の出射光軸上の前方に順次配置された、複数の前記レーザ発振器の個々のレーザ出力を可変することのできる出力減衰器と、この出力減衰器から出力されたレーザビームを合成するビーム合成光学系と、このビーム合成光学系の光軸上の前方に配置され、ラインビームを形成する際に発生する干渉縞を低減化する音響光学変調器と、前記ビーム合成光学系からの出力されたレーザビームを均一分布のラインビームを形成するためにアレイレンズ群および集光レンズからなるビームホモジナイザと、このホモジナイザで形成されたレーザビームを再整形するビーム整形アパチャと、このビーム整形アパチャにより再整形された像を結像する結像光学系と、前記個々のレーザ発振器の出力および励起用の L D の電流を検出するモニタリング機構と、前記個々のレーザ発振器の出力をモニタする出力モニタと、前記結像光学系のレーザビームをモニタする加工点出力モニタと、出力制御部とを有し、

20

前記出力制御部は、前記モニタリング機構および前記出力モニタによりモニタした出力および励起用 L D 電流のデータから前記個々のレーザ発振器のメンテナンス時期を推定し、必要によってはメンテナンスが必要な前記レーザ発振器の稼働を停止させ、その分低下した必要パワーを他の前記レーザ発振器の出力を上昇させることで補完し、前記稼働を停止したレーザ発振器のメンテナンス時も装置全体の稼働が継続できる制御アルゴリズムを有していることを特徴とするレーザアニール装置。

30

## 【請求項 4】

前記各レーザ発振器から出力されるレーザビームは、可視光領域にあるとともに連続出力であることを特徴とする請求項 3 記載のレーザアニール装置。

## 【請求項 5】

前記各レーザ発振器は、L D 励起方式の  $\text{Nd} : \text{YVO}_4$  レーザの SHG 出力であるとともに、励起用 L D が発振器側ではなく電源側に設置され、かつ、励起エネルギーはファイバを通じてレーザ発振器に伝送されていることを特徴とする請求項 3 記載のレーザアニール装置。

40

## 【請求項 6】

前記各レーザ発振器から出力されたレーザビームの加工点のラインビーム長さ方向のステープネスが  $5 \mu\text{m}$  以内であり、かつ、ラインビームを長さ方向にオーバーラップさせながら被加工物である基板全面および一部分を結晶化していくことを特徴とする請求項 3 記載のレーザアニール装置。

## 【請求項 7】

前記結像光学系は、結像位置を 2 次元的に走査するための偏向器がミラーとガルバノメータスキャナまたはポリゴンミラーと回転駆動用モータで構成されていることを特徴とする請求項 3 記載のレーザアニール装置。

50

## 【請求項 8】

前記ホモジナイザに設けられている音響光学変調器は、レーザビームのスイッチング作用を該レーザビームの光路途中で行うと共に、干渉縞の低減化のためにビームの方向を微小角で高速偏向させることを特徴とする請求項 3 記載のレーザアニール装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、高品質の薄膜トランジスタの活性層の形成に関し、特に、 $p-Si$ （ポリシリコン）の TFT（Thin Film Transistor）の製造で、レーザ光を用いてガラス基板上の  $a-Si$ （アモルファスシリコン）薄膜をポリ化して高品質の  $p-Si$  薄膜を形成する技術に関する。 10

## 【背景技術】

## 【0002】

通常、液晶ディスプレイや有機 EL ディスプレイにおいては、薄膜トランジスタをポリシリコンによって形成することにより、スイッチング素子や駆動用周辺回路をガラス基板上に形成している。液晶ディスプレイではより高精細化や高速応答性や低消費電力化した次世代の高機能液晶ディスプレイが求められている。

## 【0003】

これら技術の実現のためには、電界移動度（ $\mu FE$ ）が  $1\text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以下と低いアモルファスシリコンの薄膜トランジスタでは能力が十分ではない。薄膜トランジスタの活性層の形成方法として、絶縁表面を有する基板上に非晶質半導体膜を形成し、レーザアニール法や熱アニール法などで結晶化させる技術が開発されている。 20

## 【0004】

レーザアニール法はガラス基板の温度をあまり上昇させず、非晶質半導体膜にのみ高いエネルギーを与えて結晶化させることができる結晶化技術として知られている。特に、波長  $400\text{ nm}$  以下の短波長光を発振するエキシマレーザは、このレーザアニール法の開発当初から用いられてきた代表的なレーザである。レーザアニール法は、レーザビームを被照射面においてスポット状や線状となるように光学系で加工し、その加工されたレーザ光で基板上の被照射面を走査すること（レーザ光の照射位置を被照射面に対して相対的に移動させる）により行う。 30

## 【0005】

レーザアニール法で、例えば、アモルファスシリコンにエキシマレーザを照射してラテラル成長させる製造した多結晶シリコン半導体であるポリシリコンの薄膜トランジスタであれば、電界移動度が  $100\text{ cm}^2 / \text{Vs} \sim 200\text{ cm}^2 / \text{Vs}$  程度のものが得られる。それによれば、液晶ディスプレイの高精細化、高速化および駆動回路の一体形成などの高機能化が期待できる。

## 【0006】

このエキシマレーザ法は、透光性基板であるガラス基板上のアモルファスシリコンにエキシマレーザを照射してポリシリコンとする方法である。具体的には、アモルファスシリコンの表面でのビームサイズを、例えば長さ  $250\text{ mm}$ 、幅  $0.4\text{ mm}$  にし、このパルスビームを  $300\text{ Hz}$  で発振させて、各パルスの照射される領域を徐々に移動させることにより、ガラス基板上のアモルファスシリコンをポリシリコンにする（例えば、特許文献 1 を参照）。 40

## 【0007】

また、エキシマレーザの替わりに、レーザ媒質として固体レーザである YAG レーザを用いてレーザアニールをおこなっている技術も開示されている（例えば、特許文献 2 を参照）。

## 【0008】

また、最近、CW-SHG レーザ（波長  $532\text{ nm}$ ）を用いたラテラル成長法が提案され、移動度の高い  $p-Si$  の TFT が得られるとの報告もある。 50

【特許文献1】特開平2002-217104号公報 (段落番号0002~0004)

【特許文献2】特開平2002-190454号公報 (段落番号0020~0025)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上述のように、薄膜トランジスタの活性層の形成方法として、絶縁表面を有する基板上に非晶質半導体膜を形成し、レーザアニール法で結晶化させる場合、エキシマレーザによるラテラル成長は、量産ラインでの実績がある従来プロセスと加工光源が同じであるため

10

量産ラインに適用しやすいというメリットがあるが、メンテナンスコストが高いという問題が課題として残っている。

【0010】

一方、固体レーザによるラテラル成長は、高い膜質（高移動度）が得られ、設備コストやランニングコストが低く抑えられるために、もし、量産ラインへ適用した場合のメリットは大きいと考えられるが、これまでに量産ラインでは、殆ど実績がないために克服すべき技術課題が多く、現時点では量産ラインへの適用が困難、あるいは、長い開発期間が必要であるという問題が存在する。

【0011】

また、CW-SHG（第二高調波）レーザ（波長532nm）を用いたラテラル成長法では、移動度の高いp-SiのTFTが得られると報告されているが、CW-SHGレーザ1台から出力されるパワーは現在、実用レベルで10Wしかなく、量産に必要な数百ワットレベルを達成することは1台では困難である。したがって、複数台のレーザ装置を必要とすることは避けられない。その場合、複数台のレーザ光源のメンテナンスおよびビーム合成時の干渉縞発生、およびビーム走査時のビームエッジ部での微小結晶発生およびビームの高速スイッチングに大きな課題が残っている。

20

【0012】

すなわち、現在の商用エキシマレーザの出力は約300Wに達しており、この300Wを達成するためには、10WのSHGレーザを用いると30台が必要となる。SHGレーザは通常LD（レーザダイオード）励起のYAGレーザが用いられている。LDは交換部品であり、通常、LDの交換は10000Hごとの実施が必要であり、約1年ごとの交換となる。もしこのLDの交換が、30台のレーザ装置でランダムに発生すると、場合によっては12日ごとのメンテナンスダウンタイムが発生してしまう。これではLD励起方式レーザの特徴であるメンテナンスフリーがアニールシステムの特徴として生かすことができない。

30

【0013】

一方、複数台のレーザから出力されるビームを重ね合わせる場合、SHGレーザの可干渉性の高さから干渉縞発生は避けられず、通常エキシマレーザで使用されているアレイレンズ式ホモジナイザを用いた場合、加工点で重ね合わせ方向にNA（開口角）に応じた間隔で強度の変調が生じてしまう。これは結晶化のむらにつながり、TFT特性のばらつきを増長させる要因になる。

40

【0014】

同様に結晶化のむらに関しては、ラインビーム長手方向の特にビームエッジ部分でのステープネス不足により、ラインビーム中央付近はラテラル成長が進むものの、ビームエッジ部では微結晶が発生することもTFT特性はばらつきの要因となる。さらに結晶化を基板の局所領域に施す場合、CWレーザの加工点でのON/OFFのレスポンス時間が長いと走査の開始、終了時点で微結晶が生じることになる。CWラテラル方式の走査速度は1000mm/sにも達するため、1msecでスイッチングできても、1mmの長さの微結晶領域が発生する。

【0015】

50

本発明はこれらの事情にもとづいてなされたもので、高品質の薄膜トランジスタの活性層の形成するためのレーザプロセスとそれを用いたレーザアニール装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明によれば、LDの励起によるレーザ発振器を並列に複数配置して、前記各レーザ発振器の出射光軸上の前方に、前記各レーザ発振器から発振されたレーザビームを合成して加工点へ導く光学系と、前記レーザビームを監視するモニタが配置され、前記モニタおよび前記LDの電流を監視する電流モニタからの出力にもとづいて出力制御部により前記各レーザ発振器から発振したレーザビームが制御されているレーザプロセスであって、

10

前記出力制御部は、前記各レーザ発振器の出力が一定になるよう、かつ、前記加工点のパワーが予め定められている所定のパワーになるように制御し、また、励起用のLDの寿命予測をおこなっていることを特徴とするレーザプロセスである。

【0017】

また本発明によれば、前記出力制御部による、前記加工点のパワーが予め定められている所定のパワーになるような制御は、加工点パワーモニタからデータを受け、予め定められている所定のパワーになるように、個々のレーザ発振器に対応したバリアブルアッテネータを同じ割合で調整することによりおこなっていることを特徴とするレーザプロセスである。

【0018】

20

また本発明によれば、並列に配置されLDの励起による複数のレーザ発振器と、この各レーザ発振器の出射光軸上の前方に順次配置された、複数の前記レーザ発振器の個々のレーザ出力を可変することのできる出力減衰器と、この出力減衰器から出力されたレーザビームを合成するビーム合成光学系と、このビーム合成光学系の光軸上の前方に配置され、ラインビームを形成する際に発生する干渉縞を低減化する音響光学変調器と、前記ビーム合成光学系からの出力されたレーザビームを均一分布のラインビームを形成するためにアレレンズ群および集光レンズからなるビームホモジナイザと、このホモジナイザで形成されたレーザビームを再整形するビーム整形アパチャと、このビーム整形アパチャにより再整形された像を結像する結像光学系と、前記個々のレーザ発振器の出力および励起用のLDの電流を検出するモニタリング機構と、前記個々のレーザ発振器の出力をモニタする出力モニタと、前記結像光学系のレーザビームをモニタする加工点出力モニタと、出力制御部とを有し、

30

前記出力制御部は、前記モニタリング機構および前記出力モニタによりモニタした出力および励起用LD電流のデータから前記個々のレーザ発振器のメンテナンス時期を推定し、必要によってはメンテナンスが必要な前記レーザ発振器の稼働を停止させ、その分低下した必要パワーを他の前記レーザ発振器の出力を上昇させることで補完し、前記稼働を停止したレーザ発振器のメンテナンス時も装置全体の稼働が継続できる制御アルゴリズムを有していることを特徴とするレーザアニール装置である。

【0019】

また本発明によれば、前記各レーザ発振器から出力されるレーザビームは、可視光領域

40

【0020】

また本発明によれば、前記各レーザ発振器は、LD励起方式のNd:YVO<sub>4</sub>レーザのSHG出力であるとともに、励起用LDが発振器側ではなく電源側に設置され、かつ、励起エネルギーはファイバを通じてレーザ発振器に伝送されていることを特徴とするレーザアニール装置である。

【0021】

また本発明によれば、前記各レーザ発振器から出力されたレーザビームの加工点のラインビーム長さ方向のステープネスが5 μm以内であり、かつ、ラインビームを長さ方向にオーバーラップさせながら被加工物である基板全面および一部分を結晶化していくことを

50

特徴とするレーザアニール装置である。

【0022】

また本発明によれば、前記結像光学系は、結像位置を2次元的に走査するための偏向器がミラーとガルバノメータスキャナまたはポリゴンミラーと回転駆動用モータで構成されていることを特徴とするレーザアニール装置である。

【0023】

また本発明によれば、前記ホモジナイザに設けられている音響光学変調器は、レーザビームのスイッチング作用を該レーザビームの光路途中で行うと共に、干渉縞の低減化のためにビームの方向を微小角で高速偏向させることを特徴とするレーザアニール装置である。

10

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、高精度のレーザアニール処理を施すことができ、それにより、液晶基板等に用いるための高品質の薄膜トランジスタの活性層を形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照して順次説明する。

【0026】

高品質のレーザアニールにより高品質の薄膜トランジスタの活性層の形成に際して、CW-SHGレーザ(波長532nm)を用いたラテラル成長法では、移動度の高いp-SiのTFEが得られると考えられているが、上述の「発明が解決しようとする課題」の項で述べたように、大別すると、(イ)メンテナンスおよびビーム合成に関しての対策、(ロ)干渉縞対策、および(ハ)結晶化むら対策、の3点についての課題を解決する必要がある。本発明では、解決策の基本的な考え方として、それぞれの対策を以下のように講じることにより課題を解消した。

20

【0027】

(イ)メンテナンスおよびビーム合成に関しての対策

複数台のレーザ装置を用いる上で、各レーザのLD電流と出力をモニタしながらLD寿命を予測判定するとともに、寿命が近づいたらそのレーザ発振を停止し、それ以外の複数台のレーザ発振出力を増大させることで加工点パワーを補うようなインテリジェントシステムを採用した。

30

【0028】

すなわち、発振を停止したレーザはオフラインにてLD交換を行い、交換後復帰させることで、レーザメンテナンスでダウンする時間を極小化する。また、一部のレーザの停止で、加工点のラインビームの分布や位置が変化しないようなロバスト性を有する合成光学系を設けた。

【0029】

(ロ)干渉縞対策

干渉縞対策として、レーザ発振器出口の光路途中に音響光学素子を個々に設置し、ビームを微小角でMHz以上の周波数で高速偏向させる。この高速偏向により加工点の干渉縞の位置が移動する。CWラテラルでは1000mm/s程度で走査するので、一箇所あたりのプロセス時間(溶融時間)は10μs程度である。音響光学素子のスイッチングのレスポンスは数十nsオーダーなので、プロセス時間内で数百回以上の干渉縞の移動が生じるので、強度変調が存在しても温度分布は均一化される。

40

【0030】

(ハ)結晶化むら対策

結晶化むら対策は、一部が干渉縞対策とオーバーラップする。干渉縞対策で使用する音響光学素子により、ラインビームの長軸方向の温度分布は均一化される。ビームエッジ部のステープネスは結像光学系を用いることで確保する。ビームのスイッチングは音響光学素子でビーム方向を大きく偏向すること、光路途中のスリットによる大偏向ビームの遮光

50

で実現する。スイッチングのレスポンスは前述した数十 ns なので、加工点ではサブミクロンオーダとすることができる。

#### 【0031】

次に、上述の基本的な考え方にもとづくレーザプロセスとレーザアニール装置について説明する。

#### 【0032】

図1は、本発明のレーザプロセスとそれを用いたレーザアニール装置の基本構成を示す模式構成図である。レーザ発振器1a~1eは、加工の際のスループットを安定して保持するために必要なレーザパワーを確保するため、複数台のレーザ発振器1a~1eが並列に配置されている。各レーザ発振器1a~1eはLD（レーザダイオード）（不図示）による励起であり、個々のレーザ発振器1a~1eの励起光源となるLDへの印加電流は、電流モニタ2a~2e（モニタリング機構）によりモニタリングされている。各レーザ発振器1a~1eは、LD励起方式のNd:YVO<sub>4</sub>レーザのSHG出力であり、出力されるレーザビームは、可視光領域にあるとともに連続出力である。また、励起用LDがレーザ発振器1a~1eの側ではなく電源（不図示）の側に設置され、かつ、励起エネルギーは光ファイバ（不図示）を通じてレーザ発振器1a~1eに伝送されている。また、各レーザ発振器1a~1eの出射光軸上の前方には、それぞれ出力モニタ3a~3eが配置されている。この出力モニタ3a~3eと電流モニタ2a~2eは、いずれも出力制御部4に接続されている。

10

#### 【0033】

出力制御部4は、下記の（イ）~（ハ）の機能をおこなうための制御アルゴリズムを備えている。（イ）通常は、出力制御部4は各レーザ発振器1a~1eの出力が一定になるように、個々のレーザ発振器1a~1eを励起用のLD電流の制御により制御している。（ロ）加工プロセスに必要な加工点のパワーを、加工点パワーモニタからデータを受け、予め定められている所定のパワーになるように、個々のレーザ発振器1a~1eに対応した出力調整器（バリアブルアッテネータ）5a~5eを同じ割合で調整する。（ハ）励起用のLDの寿命予測は、予め定められているデータにより行い、各レーザ発振器1a~1eのメンテナンス時期を推定し、特定のレーザ発振器1a~1eのLDが寿命に達したと判断した場合は、そのレーザ発振器1a~1eのみの稼働を停止する。それによる全体の出力の低下分を残りのレーザ発振器1a~1e全体で補完する。この補完のための動作は、稼働しているレーザ発振器1a~1eに対応した、バリアブルアッテネータ5a~5eの調整とLDの電流の調整により行う。この場合、後述するビーム合成光学系がホモジナイザの機能も果たしているので、仮に、レーザ発振器1a~1eの内の1台が停止しても、加工点のエネルギー分布は変化しないので、パワーだけを補完すればよい。

20

30

#### 【0034】

各出力モニタ3a~3eの各光軸上の前方には、個々のレーザ発振器1a~1eの出力を制御する出力減衰器であるバリアブルアッテネータ5a~5eが配設されている。このバリアブルアッテネータ5a~5eの各光軸上の前方には反射ミラー6a~6eを介して、ビーム偏向器7a~7eとビーム合成光学系としてビーム合成器8が配置されている。なお、ビーム偏向器7a~7eは、後述する高速シャッタおよび干渉縞対策の制御に使用される。ビーム合成器8は、順次、第一段のアレイレンズ9、第二段のアレイレンズ11および第一段のコンデンサレンズ12が配置されて構成されている。

40

#### 【0035】

ビーム合成器8の光軸上の前方には、ミラー13を介して、順次、音響光学変調器（AOM）14からなる高速偏向回路とビームホモジナイザ15が配置されている。ビームホモジナイザ15は、順次、第三段のアレイレンズ16、第四段のアレイレンズ17、および、第二段のコンデンサレンズ18が配置されて構成されている。

#### 【0036】

音響光学変調器14は、単結晶やガラス等の媒体中に超音波を発生させて周期的な屈折率変化を生じさせ、これにより位相型の回折格子を構成するもので、この音響光学変調器

50

14にレーザ光が入射されると、回折光の強度や方向が、超音波の強度や周波数の状態によって変化するようにになっている。この動作原理により、超音波の周波数に相当する量だけ、入射レーザ光の周波数がシフトする。この周波数シフト量は、任意に調整可能であり、入射レーザ光のそれぞれの強度は、超音波の出力を調整することで、0次光と1次回折光との比率を変えることができる。それらにより、レーザビームのスイッチング作用を光路途中で行うと共に、干渉縞の低減化のためにビームの方向を微小角で高速偏向させている。

#### 【0037】

これらの光学的な配置では、第一段のアレレンズ9を通過したビームは第二段のアレレンズ11および第一段のコンデンサレンズ12を通過した後、第三段のアレレンズ16の開口部に結像される。結像されるということは、第一段のアレレンズ9と第三段のアレレンズ16の位置が第二段のアレレンズ11と第一段のコンデンサレンズ12に対し、光学的には共役な位置関係にあることを意味している。

10

#### 【0038】

ビームホモジナイザ15の光軸上の前方には、短軸用のシリンドリカルレンズ19が配置されている。また、シリンドリカルレンズ19の光軸上の前方には、ビームの周辺部をカットして整形する開孔が形成されているビーム整形アパチャ（矩形アパチャ）21が配置されている。

#### 【0039】

なお、光学的に第三段のアレレンズ16を通過したビームは第四段のアレレンズ17に入射し、さらに第二段のコンデンサレンズ18を介してビーム整形アパチャへと入射する。このとき第三段のアレレンズ16位置とビーム整形アパチャは、第四段のアレレンズ17と第二段のコンデンサレンズ18に対し、共役な位置関係にあるように設置される。つまり第三段のアレレンズ16の像がビーム整形アパチャの21位置に結像されることを意味している。

20

#### 【0040】

ビーム整形アパチャ21の光軸上の前方には結像光学系22が配置されている。この結像光学系22は、順次、コリメートレンズ23、スキャナ24、および、結像レンズ25が被加工物（不図示）を載置するテーブル26に対向して配置されて構成されている。また、結像レンズ25からの出射光に対しては、加工点出力モニタ27によりモニタリング

30

#### 【0041】

図2は、上述のレーザアニール装置の光学系における、ビーム合成系とホモジナイザによる作用の説明図である。なお、図2において各符号は、図1の符号を援用している。

#### 【0042】

上述のように、第一段のアレレンズ9を通過したビームは第二段のアレレンズ11および第一段のコンデンサレンズ12を通過した後、第三段のアレレンズ16の開口部に結像される。第一段のアレレンズ9と第三段のアレレンズ16位置が第二段のアレレンズ11と第一段のコンデンサレンズ12に対し、共役な位置関係にある。

#### 【0043】

また、第三段のアレレンズ16を通過したビームは第四段のアレレンズ17に入射し、さらに第二段のコンデンサレンズ18を介してビーム整形アパチャへと入射する。このとき第三段のアレレンズ16位置とビーム整形アパチャは、第四段のアレレンズ17と第二段のコンデンサレンズ18に対し、共役な位置関係にある。つまり第三段のアレレンズ16の像がビーム整形アパチャ21の位置に結像される。図2において、各レンズの焦点距離と位置関係には、 $A = f_1$ 、 $C = f_2$ 、 $D = f_4$ 、 $F = f_5$ の関係である。

40

#### 【0044】

ビーム整形アパチャ21の位置では、ほぼラインビームの形状に整形されているが、ここではより均一な部分を切り出しをおこなって分布の均一化とビームエッジ部のシャープさを確保する。ビーム整形アパチャ21を通過したビームはコリメートレンズ23と結像

50



用レンズ 25 により、加工点に縮小して投影される。加工点でのラインビームは結像光学系 22 の光路途中に設置されたスキャナ 24 により走査される。

【0045】

加工点での出力は、加工点出力モニタ 27 により検出され、検出結果は出力制御部 4 にフィードバックされる。それにより、前述のバリアブルアッテネータ 5a ~ 5e および LD の電流の制御により、加工点での出力が所定の出力となるように制御される。

【0046】

図 2 により、これらの光学系の配置と作用についてより詳しく説明すると、ビーム合成光学系 8 はアレイレンズから構成されており、前述のように第一段のアレイレンズ 9、第二段のアレイレンズ 11、第一段のコンデンサレンズ 12 により第三段のアレイレンズ 16 に導かれる。ここまでのビーム合成光学系 8 の役目は第三段のアレイレンズ 16 開口に、個々のレーザ発振器 1a ~ 1e から出力されるビームを重畳させて入射させることにある。

10

【0047】

すなわち、図 2 に示すようにビーム合成光学系 8 により、第一段のアレイレンズ 9 での複数のビームを、重ねて第三段のアレイレンズ開口いっぱいに入射させる。一方、後段の第三段アレイレンズおよび第四段のアレイレンズ 17、第二段のコンデンサレンズ 18 は第三段のアレイレンズ 16 の像をビーム整形アパチャ位置に結像させる。ここでもアレイレンズ像が重畳され、この作用によりビーム整形アパチャ 21 の位置でほぼ均一な強度分布を有するラインビームが得られる。

20

【0048】

ただし、後述するように固体レーザの SHG 出力 (Nd : YAG および Nd : YVO<sub>4</sub>) を使用する場合は、重ね合わせによる干渉縞が発生するので、干渉縞対策が実施されていることが前提条件となる。

【0049】

このようなビーム合成光学系とビームホモジナイザ 15 による均一化光学系の組み合わせ方式を用いているので、たとえば、メンテナンスが必要なレーザ発振器 1a ~ 1e の動作を停止した場合でも、加工点でのビーム形状、分布はほとんど変化しない。その結果、LD の劣化により交換作業が必要な場合、その発振器を装置から取り外してメンテナンス作業を進めるとともに、残りの発振器の出力を若干増加させることによって加工点パワーを確保することでメンテナンスによるライン停止時間を最小化することが可能になる。

30

【0050】

なお、出力制御部 4 としては、どのレーザの LD が劣化傾向にあるかを出力モニタ 3a ~ 3e 値と LD の電流モニタ 2a ~ 2e のモニタ値の経時変化を取得することで予測していく。

【0051】

レーザ発振器 1a ~ 1e としては、通常は励起用 LD がレーザ発振器 1a ~ 1e の筐体と一体化した構造をとっているが、外部に LD を設置し光ファイバーで励起光を伝送することにより、レーザ発振器 1 の取り外し作業を省き、アライメント変化を生じさせることなく、メンテナンスが可能となる。

40

【0052】

次に、ビームスキャニング方法およびスティーブネスの確保について説明する。

【0053】

図 3 は、ビームスキャニングの概要を示す説明図である。ビームスキャニングの機構は 2 枚のミラーを直交するように配置し、それをガルバノメータスキャナで駆動する方式や、ポリゴンミラーを回転させる方式を用いることができる。

【0054】

図 3 はガルバノメータスキャナによる方式を示しており、左右に走査を繰り返すことで、全面処理を行う。このときビームを一部オーバーラップさせることにより、照射未処理の部分が生じないように設定する。従来の単純な集光系では特にビーム長軸方法のスティー

50

ブネスが数百  $\mu\text{m}$  と大きいため、ビーム端部ではラテラル成長せずに、微結晶化する。よって走査領域全面をラテラル成長させることができないという課題を抱えていたが、本発明では、図 4 に説明図を示すように、長軸方向のステープネスは、 $10\ \mu\text{m}$  以下の  $5\ \mu\text{m}$  以内であり、かつ、ラインビームを長さ方向にオーバーラップさせながら被加工物である基板全面および一部分を結晶化していくことで、オーバーラップ部分もラテラル成長することを見出した。ステープネスはできる限り小さいほうが良い。このステープネスを確保するため、ビーム整形アパチャ 21 を結像する方式を開発した。ビーム裾部の立ち上がり  $L$  はおおよそ  $E/\lambda$  と同様になり、

$$L = 1.22 \lambda / NA$$

であらわすことができる。  $\lambda$  は波長、 $NA$  は開口角である。よって開口角を大きく取ったほうが有利である。 10

#### 【0055】

次に、干渉縞対策および高速スイッチングについて説明する。

#### 【0056】

加工点およびビーム整形アパチャ 21 の上では干渉縞が生じるため、結晶化のむらを生じる。この問題を解決するためレーザビームの光路途中に音響光学変調器 14 を設置し、図 5 にその状況説明図で示すように、個々に微小角で偏向する。これにより加工点での干渉縞の位置が変化し、そのスイッチング速度は通常  $10\ \text{MHz}$  程度までの応答性はある。CW ラテラル成長でのプロセス時間は、 $\text{Si}$  膜を溶融させる  $50\ \mu\text{sec}$  程度は掛かるものであり、それでも数百回の干渉縞の移動が実現される。したがって、ビームホモジナイザ 15 を通過したレーザビームは、被加工物を照射する結晶化の時点では、均一加熱による均一した結晶化が期待できる。 20

#### 【0057】

以上に説明したように、本発明によれば、高品質のレーザアニールにより高品質の薄膜トランジスタの活性層の形成することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0058】

【図 1】本発明のレーザプロセスとそれを用いたレーザアニール装置の基本構成を示す模式構成図。

【図 2】光学系の配置と作用についての説明図。

30

【図 3】ビームスキャンの概要を示す説明図。

【図 4】ビームの長軸方向のステープネスの説明図。

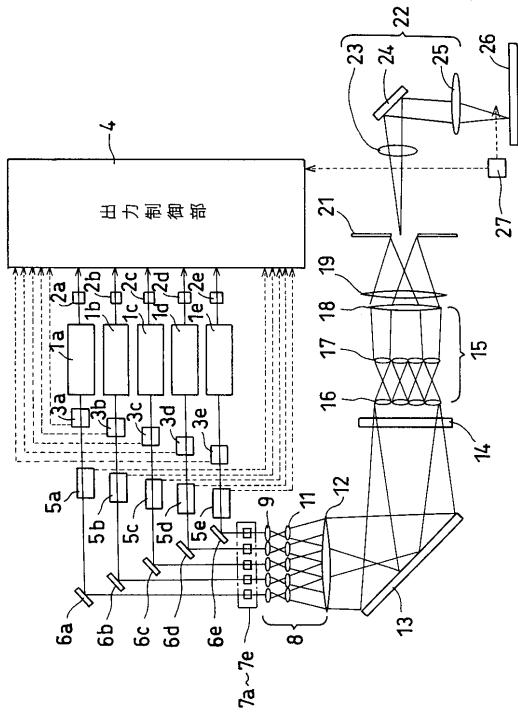
【図 5】音響光学素子による作用の説明図。

#### 【符号の説明】

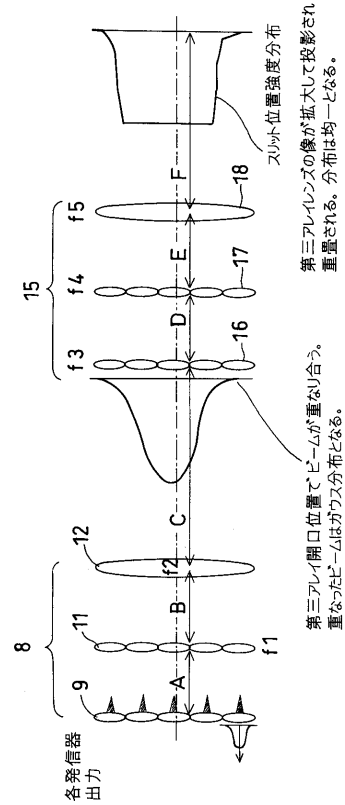
#### 【0059】

1 a ~ 1 e ... レーザ発振器、2 a ~ 2 e ... 電流モニタ、3 a ~ 3 e ... 出力モニタ、4 ... 出力制御部、8 ... ビーム合成器（ビーム合成光学系）、14 ... 音響光学変調器、15 ... ビームホモジナイザ、21 ... ビーム整形アパチャ、22 ... 結像光学系

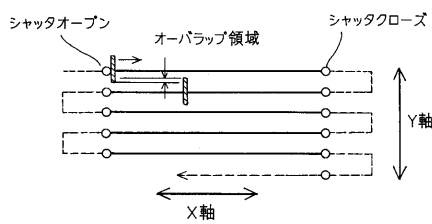
【図 1】



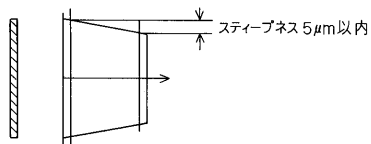
【図 2】



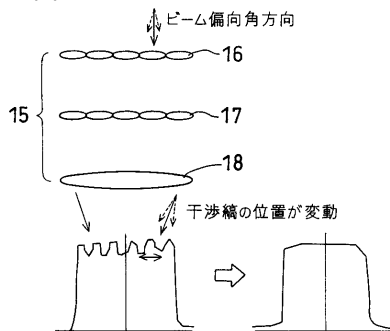
【図 3】



【図 4】



【図 5】



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 5F052 AA02 BA01 BA02 BA04 BA07 BB02 BB04 BB07 CA07 DA02  
JA01  
5F110 AA01 AA30 BB01 DD02 GG02 GG13 PP03 PP05 PP06 PP23