

(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2007-150245

(P2007-150245A)

(43) 公開日 平成19年6月14日(2007.6.14)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/268 (2006.01)	HO 1 L 21/268 J	5 F 1 1 0
HO 1 L 21/20 (2006.01)	HO 1 L 21/20	5 F 1 5 2
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 7 G	
HO 1 L 21/336 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2006-203587 (P2006-203587)  
 (22) 出願日 平成18年7月26日 (2006.7.26)  
 (31) 優先権主張番号 特願2005-320623 (P2005-320623)  
 (32) 優先日 平成17年11月4日 (2005.11.4)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 501286657  
 株式会社 液晶先端技術開発センター  
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地  
 (74) 代理人 100095256  
 弁理士 山口 孝雄  
 (72) 発明者 十文字 正之  
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地  
 株式会社液晶先端技術開発センター内  
 Fターム(参考) 5F110 AA30 BB01 BB02 DD01 DD02  
 DD03 DD13 DD14 DD17 EE05  
 EE06 FF02 FF28 GG01 GG02  
 GG03 GG13 GG24 GG43 GG44  
 HJ01 HJ13 HJ23 NN71 NN72  
 PP03 PP05 PP06

最終頁に続く

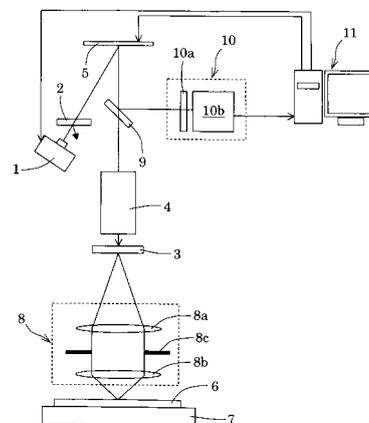
(54) 【発明の名称】 光照射装置、光照射装置の調整方法、結晶化装置、結晶化方法、およびデバイス

(57) 【要約】

【課題】 レーザ光源の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えて所望の光強度分布を安定的に形成することのできる光照射装置。

【解決手段】 レーザ光源(1)と、レーザ光源からの光に基づいて光変調素子(3)を重畳的に照明するためのホモジナイザを含む照明光学系(4)と、光変調素子により位相変調された光に基づいて所定の光強度分布を所定面(6)に形成する結像光学系(8)と、レーザ光源とホモジナイザとの間に配置されて入射光束の波面を補正して射出する波面補正光学素子(5)と、波面補正光学素子とホモジナイザとの間の光路から光束を取り出して該光束の波面を測定する波面測定部(9, 10)と、波面測定部の出力に基づいて波面補正光学素子を制御する制御部(11)とを備えている。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

レーザ光源と、

前記レーザ光源からの光に基づいて光変調素子を重畳的に照明するためのホモジナイザを含む照明光学系と、

前記光変調素子により位相変調された光に基づいて所定の光強度分布を所定面に形成する結像光学系と、

前記レーザ光源と前記ホモジナイザとの間に配置されて入射光束の波面を補正して射出する波面補正光学素子と、

前記波面補正光学素子と前記ホモジナイザとの間の光路から光束を取り出して該光束の波面を測定する波面測定部と、

前記波面測定部の出力に基づいて前記波面補正光学素子を制御する制御部とを備えていることを特徴とする光照射装置。

## 【請求項 2】

前記波面測定部は、前記波面補正光学素子と前記ホモジナイザとの間に配置されたビームスプリッターと、該ビームスプリッターにより前記光路から取り出した光束の波面を測定する波面センサとを有することを特徴とする請求項 1 に記載の光照射装置。

## 【請求項 3】

前記波面センサは、光の入射側に配置されたマイクロレンズアレイと、該マイクロレンズアレイの集光位置に検出面を有する光検出器とを有することを特徴とする請求項 2 に記載の光照射装置。

## 【請求項 4】

前記波面補正光学素子は、局部的に変形可能な反射面を有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光照射装置。

## 【請求項 5】

前記制御部により制御されて前記照明光学系の瞳を可变的に限定する可動絞りと、前記所定面に形成される光強度分布を測定するビームプロファイラとをさらに備え、前記制御部は、前記照明光学系の瞳の変化に応じて測定される光強度分布の情報に基づいて前記波面補正光学素子を制御することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光照射装置。

## 【請求項 6】

レーザ光源と、

前記レーザ光源からの光に基づいて光変調素子を重畳的に照明するためのホモジナイザを含む照明光学系と、

前記光変調素子により位相変調された光に基づいて所定の光強度分布を所定面に形成する結像光学系と、

前記レーザ光源と前記ホモジナイザとの間に配置されて入射光束の波面を補正して射出する波面補正光学素子と、

前記照明光学系の瞳を可变的に限定する可動絞りと、

前記所定面に形成される光強度分布を測定するビームプロファイラと、

前記可動絞りおよび前記波面補正光学素子を制御する制御部とを備え、

前記制御部は、前記照明光学系の瞳の変化に応じて測定される光強度分布の情報に基づいて前記波面補正光学素子を制御することを特徴とする光照射装置。

## 【請求項 7】

前記波面補正光学素子は、局部的に変形可能な反射面を有することを特徴とする請求項 6 に記載の光照射装置。

## 【請求項 8】

ホモジナイザを含む照明光学系によりレーザ光源からの光で光変調素子を重畳的に照明し、該光変調素子により位相変調された光を結像光学系により所定面に結像させて、前記所定面に所定の光強度分布を形成する光照射装置の調整方法であって、

前記ホモジナイザよりも光源側の光路から取り出した光束の波面を測定する波面測定工程と、

前記波面測定工程で得られた測定結果に基づいて、前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を補正する波面補正工程とを含むことを特徴とする調整方法。

【請求項 9】

ホモジナイザを含む照明光学系によりレーザ光源からの光で光変調素子を重畳的に照明し、該光変調素子により位相変調された光を結像光学系により所定面に結像させて、前記所定面に所定の光強度分布を形成する光照射装置の調整方法であって、

前記照明光学系の瞳を可变的に限定する限定工程と、

前記所定面に形成される光強度分布を測定する分布測定工程と、

10

前記照明光学系の瞳の変化に応じて前記分布測定工程で得られた測定結果に基づいて、前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を補正する波面補正工程とを含むことを特徴とする調整方法。

【請求項 10】

ホモジナイザを含む照明光学系によりレーザ光源からの光で光変調素子を重畳的に照明し、該光変調素子により位相変調された光を結像光学系により所定面に結像させて、前記所定面に所定の光強度分布を形成する光照射装置の調整方法であって、

請求項 8 に記載の調整方法を用いて前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を粗精度で補正する粗精度補正工程と、

請求項 9 に記載の調整方法を用いて前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を細精度で補正する細精度補正工程とを含むことを特徴とする調整方法。

20

【請求項 11】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光照射装置と、前記所定面に非単結晶半導体膜を保持するためのステージとを備え、前記所定面に保持された非単結晶半導体膜に前記所定の光強度分布を有する光を照射して結晶化半導体膜を生成することを特徴とする結晶化装置。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光照射装置を用いて、前記所定面に保持された非単結晶半導体膜に前記所定の光強度分布を有する光を照射して結晶化半導体膜を生成することを特徴とする結晶化方法。

30

【請求項 13】

請求項 8 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の調整方法により調整された光照射装置を用いて、前記所定面に保持された非単結晶半導体膜に前記所定の光強度分布を有する光を照射して結晶化半導体膜を生成することを特徴とする結晶化方法。

【請求項 14】

請求項 11 に記載の結晶化装置または請求項 12 または 13 に記載の結晶化方法を用いて製造されたことを特徴とするデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本発明は、光照射装置、光照射装置の調整方法、結晶化装置、結晶化方法、およびデバイスに関する。特に、本発明は、非単結晶薄膜基板の表層部分に電界効果トランジスタを製造する技術、および電界効果トランジスタを製造するための非単結晶薄膜基板並びに電界効果トランジスタを組み込んだ液晶表示装置や情報処理装置等の電子装置の製造技術に好適な技術に関する。

【背景技術】

【0002】

アクティブマトリクス型液晶表示装置や有機 EL 表示装置などのような表示装置では、各画素を個別に駆動するために、ガラスやプラスチック等の絶縁基板上に多数の薄膜トランジスタ (Thin-Film-Transistor: 以下、「TFT」という) が形成される。この TFT

50

のソース、ドレイン、チャネル領域が形成される非晶質シリコン (amorphous-Silicon : 以下、「a - Si」という) 膜は、形成温度が低く、気相法で比較的容易に形成することが可能であり、量産性にも富むため、TFTに用いる半導体薄膜として一般的に用いられている。

#### 【0003】

しかしながら、非晶質シリコン膜は、導電率等の物性が多結晶シリコン (poly-Silicon : 以下、「p - Si」という) 膜に比べて劣る (a - Siの移動度はp - Siの移動度比べて2桁以上低い) という欠点がある。このため、TFTの動作速度を高速化するために、多結晶シリコン膜にTFTのソース、ドレイン、チャネル領域を形成する技術、例えばエキシマレーザを用いたアニール法 (Excimer Laser Annealing ; 以下、「ELA法」という) が用いられている。このELA法は、汎用ガラス基板が使用可能な温度範囲、すなわち室温から500°C程度までの温度範囲で実施することができる。

10

#### 【0004】

ELA法は、例えば基板上に非晶質シリコン膜を所定の厚さ (例えば50nm程度の厚さ) に堆積した後、この非晶質シリコン膜に波長が248nmのKrF (クリプトン弗素) エキシマレーザ光や波長が308nmのXeCl (キセノン塩素) エキシマレーザ光などのようなレーザ光を線状に整形して基板にスキャン照射し、照射領域の非晶質シリコン膜を局所的に熔融・再結晶化させて平均粒径が0.1~0.2µm程度の多結晶シリコン膜に変える結晶化方法である。

#### 【0005】

なお、ELA法は、レーザ光の平均強度 (フルエンス) を変化させることにより、他の様々なプロセスに適用可能である。例えば、加熱の作用のみが発揮されるようなレーザ光の強度に設定すれば、TFTの不純物活性化工程に用いることができる。また、レーザ光の強度を極端に大きく設定すれば、急激な温度上昇を引き起こすため、TFTにおける膜の除去に利用することもできる。また、これらの現象の利用は、TFTに限定されることなく、広く半導体プロセスに適用できるものである。

20

#### 【0006】

ところで、液晶表示装置や有機EL表示装置などの表示装置は、動作速度の高速化や高性能化を図るために多結晶シリコン膜にTFTを形成すると、多結晶シリコン膜の結晶粒界がTFTのチャネル領域に存在することになる。この場合、各TFTのチャネル領域に形成される結晶粒界数が異なり、この結晶粒界数の相違によりTFT毎の閾値電圧や移動度などの特性ばらつきが著しく増大する。TFT毎の閾値電圧のばらつきは、表示装置全体としての動作特性を大幅に低下させ、画質などを劣化させる原因になる。

30

#### 【0007】

このため、各TFTのチャネル領域の結晶粒界数をできるだけ均等にするか、粒径の大きい結晶化領域を形成し且つ各結晶化領域内に各TFTが形成されるように結晶化領域の形成位置を制御することにより各TFTのチャネル領域から結晶粒界を排除することが要望されている。従来、位相シフトマスク (位相シフタ) を介して発生させた逆ピークパターンの光強度分布を有する光を半導体膜に照射して大粒径の結晶化シリコンを生成する技術が開示されている (非特許文献1、特許文献1および2を参照)。

40

#### 【0008】

【非特許文献1】Chang-Ho OH et al., "A Novel Phase-Modulated Excimer-Laser Crystallization Method of Silicon Thin Films", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37(1998), pp. L492-L495

【特許文献1】特開2000-082669号公報

【特許文献2】特開2000-306859号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0009】

本願発明者の研究によれば、TFTのサイズよりも十分に大きい粒径の結晶を生成し且

50

つその形成位置を制御してTFTの活性層から結晶粒界を排除するには、被処理基板上に所望の光強度分布を安定的に形成する必要がある。被処理基板である非晶質シリコン膜上でのレーザ光の光強度分布(平面像)が適切な光強度分布に調整されれば、位置制御された大粒径化シリコン単結晶薄膜が得られる。この単結晶薄膜とTFTのチャンネル領域とを位置合わせすれば、活性領域に結晶粒界が存在しない高性能TFTを作成することが可能になる。

#### 【0010】

さらに、所望する粒径の結晶化を安定的に行うには、被処理基板の表面での光強度勾配が重要なファクターであり、光強度分布のミクロな安定性とマクロな均一性とが重要である。光強度分布のミクロな安定性とマクロな均一性とを実現するには、レーザ光源の特性(局所的な領域での光の平行度、コヒーレンシなど)が安定していることが必要である。しかしながら、本願発明者の研究によれば、エキシマレーザ光源を長期間使用すると、これらの特性が劣化することがわかってきた。

10

#### 【0011】

エキシマレーザ光源を長期間に亘って使用すると、局所的な領域での光の平行度およびコヒーレンシが低下し、射出される光束に波面の歪み(乱れ)が発生する。レーザ光源からの射出光束の波面の歪みは、被処理基板位置での像のずれ(光軸と直交する平面上での光強度分布の位置ずれ)、像のムラ(照度ムラ)、像のボケ(光強度分布の光軸方向の位置ずれ)などの現象を発生させる。これらの像のずれ、ムラ、ボケなどの現象の把握方法に関しては、エキシマレーザ光は不可視であるため、作業員による肉眼での監視が困難である。

20

#### 【0012】

従って、例えばアモルファスシリコン(非晶質シリコン)を成膜した基板に照射して実際にレーザアニールを行い、セコ(Secco)エッチングなどで結晶粒界を際立たせる処理を行った後に、走査型電子顕微鏡などによって結晶組織を観察することにより、像のずれ、ムラ、ボケなどの現象の発生を判断する方法、いわゆるオフライン検査方法行うことしかできなかった。このオフライン検査方法は非常に時間と手間が掛かるので、実用的ではなく、安定した結晶組織を形成することが困難であった。

#### 【0013】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、レーザ光源の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えて所望の光強度分布を安定的に形成することができる光照射装置を提供することを目的とする。

30

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0014】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、レーザ光源と、  
前記レーザ光源からの光に基づいて光変調素子を重畳的に照明するためのホモジナイザを含む照明光学系と、  
前記光変調素子により位相変調された光に基づいて所定の光強度分布を所定面に形成する結像光学系と、  
前記レーザ光源と前記ホモジナイザとの間に配置されて入射光束の波面を補正して射出する波面補正光学素子と、  
前記波面補正光学素子と前記ホモジナイザとの間の光路から光束を取り出して該光束の波面を測定する波面測定部と、  
前記波面測定部の出力に基づいて前記波面補正光学素子を制御する制御部とを備えていることを特徴とする光照射装置を提供する。

40

#### 【0015】

本発明の第2形態では、レーザ光源と、  
前記レーザ光源からの光に基づいて光変調素子を重畳的に照明するためのホモジナイザを含む照明光学系と、  
前記光変調素子により位相変調された光に基づいて所定の光強度分布を所定面に形成す

50

る結像光学系と、

前記レーザ光源と前記ホモジナイザとの間に配置されて入射光束の波面を補正して射出する波面補正光学素子と、

前記照明光学系の瞳を可变的に限定する可動絞りと、

前記所定面に形成される光強度分布を測定するビームプロファイラと、

前記可動絞りおよび前記波面補正光学素子を制御する制御部とを備え、

前記制御部は、前記照明光学系の瞳の変化に応じて測定される光強度分布の情報に基づいて前記波面補正光学素子を制御することを特徴とする光照射装置を提供する。

【0016】

本発明の第3形態では、ホモジナイザを含む照明光学系によりレーザ光源からの光で光変調素子を重畳的に照明し、該光変調素子により位相変調された光を結像光学系により所定面に結像させて、前記所定面に所定の光強度分布を形成する光照射装置の調整方法であって、

前記ホモジナイザよりも光源側の光路から取り出した光束の波面を測定する波面測定工程と、

前記波面測定工程で得られた測定結果に基づいて、前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を補正する波面補正工程とを含むことを特徴とする調整方法を提供する。

【0017】

本発明の第4形態では、ホモジナイザを含む照明光学系によりレーザ光源からの光で光変調素子を重畳的に照明し、該光変調素子により位相変調された光を結像光学系により所定面に結像させて、前記所定面に所定の光強度分布を形成する光照射装置の調整方法であって、

前記照明光学系の瞳を可变的に限定する限定工程と、

前記所定面に形成される光強度分布を測定する分布測定工程と、

前記照明光学系の瞳の変化に応じて前記分布測定工程で得られた測定結果に基づいて、前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を補正する波面補正工程とを含むことを特徴とする調整方法を提供する。

【0018】

本発明の第5形態では、ホモジナイザを含む照明光学系によりレーザ光源からの光で光変調素子を重畳的に照明し、該光変調素子により位相変調された光を結像光学系により所定面に結像させて、前記所定面に所定の光強度分布を形成する光照射装置の調整方法であって、

第3形態の調整方法を用いて前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を粗精度で補正する粗精度補正工程と、

第4形態の調整方法を用いて前記ホモジナイザへ入射する光束の波面を細精度で補正する細精度補正工程とを含むことを特徴とする調整方法を提供する。

【0019】

本発明の第6形態では、第1形態または第2形態の光照射装置と、前記所定面に非単結晶半導体膜を保持するためのステージとを備え、前記所定面に保持された非単結晶半導体膜に前記所定の光強度分布を有する光を照射して結晶化半導体膜を生成することを特徴とする結晶化装置を提供する。

【0020】

本発明の第7形態では、第1形態または第2形態の光照射装置を用いて、前記所定面に保持された非単結晶半導体膜に前記所定の光強度分布を有する光を照射して結晶化半導体膜を生成することを特徴とする結晶化方法を提供する。

【0021】

本発明の第8形態では、第3形態～第5形態の調整方法により調整された光照射装置を用いて、前記所定面に保持された非単結晶半導体膜に前記所定の光強度分布を有する光を照射して結晶化半導体膜を生成することを特徴とする結晶化方法を提供する。

【0022】

10

20

30

40

50

本発明の第9形態では、第6形態の結晶化装置または第7形態あるいは第8形態の結晶化方法を用いて製造されたことを特徴とするデバイスを提供する。

【発明の効果】

【0023】

本発明の照射装置では、レーザ光源の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えて、被処理基板の表面上において所望の光強度分布を安定的に形成することができ、ひいては所望する粒径の結晶化を安定的に行うことができる。その結果、たとえばTFTのサイズよりも十分に大きい粒径の結晶を生成し、且つその形成位置を制御してTFTの活性層から結晶粒界を排除することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施形態にかかる照射装置の構成を概略的に示す図である。図1を参照すると、第1実施形態の照射装置は、レーザ光源1と、レーザ光源1の直後に配置されたアッテネータ2と、アッテネータ2を経たレーザ光で位相シフタ(光変調素子)3を照明する照明光学系4と、アッテネータ2と照明光学系4との間に配置されたデフォーダブルミラー5と、被処理基板6を保持する基板ステージ7と、位相シフタ3と被処理基板6との間に設けられた結像光学系8とを備えている。

【0025】

また、第1実施形態の照射装置は、デフォーダブルミラー5と照明光学系4との間に配置されたハーフミラー(ビームスプリッター)9と、ハーフミラー9で反射されたレーザ光の波面を測定する波面センサユニット10と、波面センサユニット10の出力に基づいてデフォーダブルミラー5を制御する制御部11とを備えている。レーザ光源1として、被結晶化処理体を溶融するエネルギー光線を射出する性能を有する光源、例えばArFエキシマレーザ光源、XeFエキシマレーザ光源、KrFエキシマレーザ光源やXeClエキシマレーザ光源などを用いることができる。

【0026】

レーザ光源1から発振されたレーザ光は、光軸に対する傾斜角が可変のアッテネータ2により減衰され、その光強度が調節された後に、デフォーダブルミラー5およびハーフミラー9を介して、照明光学系4に入射する。デフォーダブルミラー5およびハーフミラー9の作用については後述する。図2に示すように、照明光学系4に入射したレーザ光は、テレスコープ(ビームエキスパンダ)4aを介して拡大された後、一对のレンズアレイ4ba, 4bbとフィールドレンズ4bcとからなるホモジナイザ4bに入射する。ホモジナイザ4bを介した光束は、位相シフタ3を重畳的に照明する。

【0027】

ホモジナイザ4bにより、照明光学系4に入射したレーザ光について、位相シフタ3上での入射角度に関する均一化が図られる。こうして、照明光学系4は、ほぼ均一な光強度分布を有するレーザ光により位相シフタ3を照射する。位相シフタ3に入射して位相変調されたレーザ光は、結像光学系8を介して、被処理基板6に入射する。ここで、結像光学系8は、位相シフタ3の位相パターン面と被処理基板6とを光学的に共役に配置している。換言すれば、被処理基板6は、位相シフタ3の位相パターン面と光学的に共役な面(結像光学系8の像面)に設定されている。

【0028】

結像光学系8は、第1正レンズ群8aと、第2正レンズ群8bと、これらのレンズ群の間に配置された開口絞り8cを備えている。開口絞り8cの開口部(光透過部)の大きさ(ひいては結像光学系8の像側開口数NA)は、被処理基板6の半導体膜上において所要の光強度分布を発生させるように設定されている。結像光学系8は、屈折型の光学系であってもよいし、反射型の光学系であってもよいし、屈折反射型の光学系であってもよい。

【0029】

被処理基板6は、基板上に、下層絶縁膜、半導体薄膜、上層絶縁膜の順に成膜すること

10

20

30

40

50

により構成されている。すなわち、被処理基板 6 は、たとえば液晶ディスプレイ用板ガラスのような透明基板の上に化学気相成長法 (CVD) により下地絶縁膜、非単結晶膜例えば非晶質シリコン膜およびキャップ膜が順次形成されたものである。キャップ膜は、例えば  $\text{SiO}_2$  や、 $\text{SiO}_x$  などである。下地絶縁膜は、非晶質シリコン膜とガラス基板が直接接触してガラスに含まれる  $\text{Na}$  などの成分が非晶質シリコン膜に混入するのを防止し、また非晶質シリコン膜の熱が直接ガラス基板に伝熱されるのを防止するために、 $\text{SiN}$  や、 $\text{SiN}$  と  $\text{SiO}_2$  の多層膜を使用する。

#### 【0030】

非単結晶シリコン薄膜は、結晶化される半導体膜である。キャップ膜は、非単結晶シリコン薄膜に入射する光ビームの一部により加熱され、この加熱された温度を蓄熱する。この蓄熱効果は、光ビームの入射が遮断されたとき、非単結晶シリコン薄膜の被照射面において高温部が相対的に急速に降温するが、この降温勾配を緩和させ、大粒径の横方向の結晶成長を促進させる。被処理基板 6 は、真空チャックや静電チャックなどにより基板ステージ 7 上において予め定められた所定の位置に位置決めされて保持されている。

10

#### 【0031】

図 1 に示す光照射装置では、位相シフタ 3 を介してその直後に例えば逆ピーク状の光強度分布が形成され、結像光学系 8 により逆ピーク状の光強度分布の像が被処理基板 6 の表面上に形成される。その結果、逆ピーク状の光強度分布における光強度の勾配方向に沿って結晶核からラテラル方向に結晶が成長し、大粒径の結晶化半導体膜が生成される。しかしながら、前述したように、レーザ光源の特性の経時的な劣化などに起因して光束の波面の歪みが発生し、この波面の歪みの影響により被処理基板 6 の表面上において所望の光強度分布を安定的に形成することができなくなる。

20

#### 【0032】

具体的に、波面に歪み (乱れ) が全くない理想的な平面波の光束が照明光学系 4 中のホモジナイザ 4 b に入射する場合、ホモジナイザ 4 b により形成された複数の小光源の各々からの光も同じく平面状の波面で位相シフタ 3 を照明し、各小光源からの光が位相シフタ 3 の直後の平面上に鮮明な像としての所望の光強度分布を形成する。その結果、各小光源からの光は、結像光学系 8 を介して、被処理基板 6 の表面上に鮮明な合成像としての所望の光強度分布を形成する。

#### 【0033】

一方、波面に歪みのある光束が照明光学系 4 中のホモジナイザ 4 b に入射する場合、ホモジナイザ 4 b により形成された複数の小光源のうち少なくとも一部からの光も波面に歪みのある光束で位相シフタ 3 を照明することになる。このため、ある小光源からの光は位相シフタ 3 の直後の平面上に鮮明な像としての所望の光強度分布を形成するが、ある小光源からの光は位相シフタ 3 の直後の平面上に歪んだ像としての光強度分布を形成する。

30

#### 【0034】

ここで、「歪んだ像」とは、理想的な波面の揃った光でない入射光に起因して発生する、光軸と直交する平面上での像の位置ずれ、光軸方向の像の位置ずれ、像の形状の歪みなどを指す。各小光源からの光は、結像光学系 8 を介して、被処理基板 6 の表面上に不鮮明な合成像としての光強度分布を形成する。すなわち、被処理基板 6 の表面上に形成される光強度分布は、所望の光強度分布に比して、基板 6 の表面に沿って位置ずれしたり、結像光学系 8 の光軸方向 (フォーカス方向) に位置ずれしたり、形状 (プロファイル) が歪んだりし、被処理基板 6 の表面上において所望の光強度分布を得ることができない。

40

#### 【0035】

この問題に対して、レーザ光の周辺を使用することなく中心部のみを使用することにより、すなわちほぼ波面の揃った光束だけを利用することにより所望の光強度分布を得る方法がある。しかしながら、この方法では、利用可能な光エネルギーが大幅に減少するため、スループットが極端に低下してしまう。

#### 【0036】

また、図 3 に示すように、通常は 1 段構成であるホモジナイザ (図 2 参照) を 2 段構成

50

にすることにより、ほぼ波面の揃った光束だけを利用して所望の光強度分布を得る方法もある。図3の2段構成では、望遠鏡4aを介して拡大された後、第1ホモジナイザ4b(4ba, 4bb, 4bc)を介して、一对のレンズアレイ4ca, 4cbとフィールドレンズ4ccとからなる第2ホモジナイザ4cの入射面を重疊的に照明する。

【0037】

さらに、第2ホモジナイザ4cを介した光束は、位相シフタ3を重疊的に照明する。第1ホモジナイザ4bにより、照明光学系4に入射したレーザー光について、位相シフタ3上での入射角度に関する均一化が図られる。また、第2ホモジナイザ4cにより、第1ホモジナイザ4bからの入射角度が均一化されたレーザー光について、位相シフタ3上での面内各位置での光強度に関する均一化が図られる。しかしながら、ホモジナイザを2段構成にする方法においても、利用可能な光エネルギーが大幅に減少するため、スループットが極端に低下してしまう。

10

【0038】

また、上述の問題はレーザー光源の特性の経時的な劣化が原因であるから、レーザー光源のチューブ(発振用のガス容器)を交換する方法もある。しかしながら、この方法は、レーザー光源のチューブが非常に高価であるため、コスト的な観点から実用的ではない。

【0039】

そこで、第1実施形態では、レーザー光源1と照明光学系4との間にデフォーダブルミラー5とハーフミラー9とを付設し、ハーフミラー9により照明光路から取り出されたレーザー光の波面を波面センサユニット10により測定するとともに、波面センサユニット10の出力に基づいてデフォーダブルミラー5を制御部11により制御する構成を採用している。デフォーダブルミラー5は、波面の歪み(乱れ)を補正するための波面補正光学素子である。ちなみに、市販されているデフォーダブルミラー(Intellite社製)は、薄膜状のアルミニウムからなるミラーの裏面に設けたマトリクス状の高電圧電極間に発生する静電応力を利用して、ミラー平面を局部的に変形させて波面を制御する能動変形ミラーである。

20

【0040】

また、波面センサユニット10として、例えばシャック-ハートマン(Shack-Hartmann)型の波面センサを用いることができる。この場合、波面センサユニット10は、光の入射側から順に、例えば保護用シャッター(不図示)と、マイクロレンズアレイ10aと、その集光位置に検出面を有する光検出器(例えばCCD)10bとにより構成される。波面センサユニット10の測定結果を分析してデフォーダブルミラー5の反射面の変形を制御する制御部11として、例えばパーソナルコンピュータを用いることができる。

30

【0041】

波面センサユニット10のマイクロレンズアレイ10aは、図4(a)に示すように、基盤の目状に配置された多数の微小レンズ(マイクロレンズ)10aaにより構成されている。したがって、マイクロレンズアレイ10aに入射した光束は多数の微小レンズ10aaにより波面分割され、各微小レンズ10aaを通過した光束はCCD10bの検出面10ba上に集光する。波面センサユニット10に入射する光束の波面に歪みが無く平面状である場合、図4(b)に示すように、基盤の目状に配置された多数の微小レンズ10aaに対応して、CCD10bの検出面10ba上において多数の集光点が基盤の目状に形成される。

40

【0042】

一方、波面センサユニット10に入射する光束の波面に歪みがある場合、図4(c)に示すように、CCD10bの検出面10ba上において1つまたは複数の集光点が波面の歪みに応じて所定位置から位置ずれする。制御部11は、CCD10bの検出面10ba上における1つまたは複数の集光点の所定位置からの位置ずれ情報に基づいて、波面センサユニット10に入射した光束の波面の歪みに関する情報、ひいてはレーザー光源1から射出された光束の波面の歪みに関する情報を計算する。そして、制御部11は、計算により求めた波面の歪み情報に基づいて、この波面の歪みを補正するのに必要なデフォーダブルミ

50

ラー 5 の所要変形量を計算し、デフォーマルミラー 5 の反射面の所要領域を所要量だけ変形させる。

【 0 0 4 3 】

以下、図 5 のフローチャートを参照して、第 1 実施形態における波面の調整方法を説明する。第 1 実施形態の波面調整方法では、先ず、波面の歪みの許容範囲 ( C C D 1 0 b の検出面 1 0 b a 上における集光点の位置ずれ許容範囲 ) を制御部 1 1 に読み込む ( S 1 1 )。次に、レーザ光源 1 を ON にしてレーザ光をパルス発振させる ( S 1 2 )。その後、波面センサユニット 1 0 が波面の歪みデータを測定 ( 収集 ) し ( S 1 3 )、制御部 1 1 は測定された波面の歪み量が許容範囲内か否かを判定する ( S 1 4 )。判定工程 S 1 4 において波面の歪み量が許容範囲内であると判定された場合、波面の調整方法は終了する。

10

【 0 0 4 4 】

一方、判定工程 S 1 4 において波面の歪み量が許容範囲を超えていると判定された場合、制御部 1 1 は、波面の歪みを補正するのに必要なデフォーマルミラー 5 の所要変形量を計算する ( S 1 5 )。次いで、制御部 1 1 は、所要変形量の計算結果に基づいて、デフォーマルミラー 5 の反射面の所要領域を所要量だけ変形させる ( S 1 6 )。こうして、レーザ光源 1 を ON にしてレーザ光を再びパルス発振させ ( S 1 2 )、波面の歪みデータを測定し ( S 1 3 )、測定された波面の歪み量が許容範囲内か否かを判定する ( S 1 4 )。

【 0 0 4 5 】

2 回目の判定工程 S 1 4 において波面の歪み量が許容範囲内であると判定された場合、波面の調整方法は終了する。一方、2 回目の判定工程 S 1 4 において波面の歪み量が許容範囲を超えていると判定された場合、計算工程 S 1 5、変形工程 S 1 6、発振工程 S 1 2、測定工程 S 1 3、および判定工程 S 1 4 を繰り返すことにより、波面の適正な調整 ( 補正 ) を行う。

20

【 0 0 4 6 】

こうして、第 1 実施形態の光照射装置では、レーザ光源 1 の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えて、被処理基板 6 の表面上において所望の光強度分布を安定的に形成することができ、ひいては所望する粒径の結晶化を安定的に行うことができる。すなわち、たとえば T F T のサイズよりも十分に大きい粒径の結晶を生成し、且つその形成位置を制御して T F T の活性層から結晶粒界を排除することができる。なお、波面調整を行うタイミングとしては、レーザアニールの直前が好ましい。

30

【 0 0 4 7 】

第 1 実施形態では、照明光学系 4 よりも後段の光学系部分が波面の調整とは無関係である。このため、波面の調整中は、ハーフミラー 9 と照明光学系 4 との間に光学系保護のための遮光板を挿入してもよい。また、ハーフミラー 9 として、5 0 % の透過率および 5 0 % の反射率を有するものではなく、例えば透過率が 9 9 % で反射率が 1 % のものなどを用いることができる。ハーフミラー 9 の透過と反射との比率については様々な変形例が可能であるが、波面センサユニット 1 0 のレーザ光耐性を考慮して、C C D 1 0 b におけるレーザフルエンスが  $10 \text{ m J / c m}^2$  程度以下となるように、透過率が 9 5 % 程度で反射率が 5 % 程度のハーフミラー 9 を用いることが好ましい。

【 0 0 4 8 】

レーザ光源の劣化例を、図 1 7 ( a ) および図 1 7 ( b ) に示す。図 1 7 ( b ) は、 $1 \times 10^8$  ショットの発振後の K r F エキシマレーザ光源からのビームを、図 2 の照明光学系に類似した構成を有する図 1 7 ( a ) の光学系へ導き、図 1 7 ( a ) の光学系において一對のシリンダリカルレンズアレイ ( 図 2 の一對のレンズアレイ 4 b a および 4 b b に対応 ) 4 b a ' と 4 b b ' との間の光路中に配置された感熱紙 4 0 に焼き付けたときに得られたプロファイル ( 光強度分布 ) である。図 1 7 ( b ) では、黒色の度合いが強いほど、レーザ強度が高いことを示している。

40

【 0 0 4 9 】

感熱紙 4 0 の直前に配置されたシリンダリカルレンズアレイ 4 b a ' を構成する各レンズ要素は等間隔に配置され且つ同じ曲率を有するため、図中 a で示したすべての間隔は 1

50

2 mmと互いに等しいはずであるが、実測結果ではこれらの間隔が互いに異なっていた。また、本来レーザ光が集光されて達しないはずの領域（図中bで示す領域）に、光が存在していた。これは、レーザ光の波面が乱れており、斜入斜成分が多く存在しているために、領域bが生じたものと考えられる。このように、レーザ光源では、経時劣化によって波面の歪みが顕著になるのである。

#### 【0050】

図6は、本発明の第2実施形態にかかる光照射装置の構成を概略的に示す図である。第2実施形態は、第1実施形態と類似の構成を有するが、ハーフミラー9および波面センサユニット10が取り除かれている点、基板ステージ7上にビームプロファイラ12が設けられている点、照明光学系4中に可動絞り4dが設けられている点が第1実施形態と相違している。以下、第1実施形態との相違点に着目して、第2実施形態を説明する。

10

#### 【0051】

第2実施形態では、デフォーダブルミラー5を制御するために、ビームプロファイラ12と、ビームプロファイラ12の測定結果を分析する制御部11とを用いる。また、光源を局在化するために、照明光学系4中に設けられた可動絞り4dを用いる。ビームプロファイラ12は、被処理基板6を保持する基板ステージ7上に設けられて、基板6の表面とほぼ同一面に位置決め可能な測定面（観察面）を有する。また、ビームプロファイラ12は、基板6の表面上で互いに直交するX方向およびY方向、並びに結像光学系8の光軸に沿ったZ方向に独立して移動可能であり、1～200倍程度の拡大倍率を有する。

#### 【0052】

ビームプロファイラ12は、不可視レーザ光を検出するセンサとして蛍光性を有する薄膜を備え、この薄膜の変化を測定する蛍光顕微鏡と同等のシステムでもよい。また、ビームプロファイラ12は、UV顕微鏡のように、不可視レーザ光を直接測定するシステムでもよい。具体的に、第2実施形態のビームプロファイラ12として、特開2004-336013号公報に開示されたビームプロファイラを用いることができる。

20

#### 【0053】

第2実施形態では、位相シフタ3として、レーザ光源1からの射出光の波長の1/2の段差を持つラインアンドスペース型の位相シフタのように単純なものを使用することが好ましい。また、90度角度を変えた方向を見やすくするために、口の字型の位相シフタでも良い。これは、レーザ光源1の基本的な特性を測定する上で、理論値のわかりやすい位相シフタを用いることにより、データ処理の信頼性および高速性が向上するからである。光源を局在化するために用いる可動絞り4dは、図7に示すように照明光学系4中において後側のレンズアレイ4bcの直前に配置され、照明光学系4の瞳を可変的に限定する。

30

#### 【0054】

なお、図7には、XY平面（光軸に直交する平面）に沿ってレンズが縦横に並んだレンズアレイを示しているが、エキシマレーザのように縦横比が大きいレーザのビーム形状の場合には、X方向のみに屈折力を有するシリンダカルレンズアレイのセットと、Y方向のみに屈折力を有するシリンダカルレンズアレイのセットとに分離する方法もある。可動絞り4dは、後側のレンズアレイ4bc中の1つの任意のレンズにのみ光を通過させるように、XY平面に沿って移動可能で且つ開口（光透過部）の大きさを調節可能に構成されている。

40

#### 【0055】

以下、図8のフローチャートを参照して、第2実施形態における波面の調整方法を説明する。第2実施形態の波面調整方法では、まず、ビームプロファイラ（位相シフタ3に対応して基板6の表面と同じ高さ位置において得られる光強度分布の二次元データ）の許容範囲を制御部11に読み込む（S21）。次に、ビームプロファイラ12を測定位置へ移動させ（S22）、可動絞り4dの開口をレンズアレイ4bc中の1つのレンズに対応する位置に設定する（S23）。その後、レーザ光源1をONにしてレーザ光をパルス発振させ（S24）、ビームプロファイラ12を用いてビームプロファイラ（光強度分布）を測定する（S25）。ビームプロファイラ12の測定結果は、制御部11へ供給される。

50

## 【0056】

可動絞り4dのXYマッピングに従って開口位置を変化させつつ(すなわち照明光学系4の瞳を変化させつつ)、可動絞り4dの開口の設定工程S23、レーザ光源1のパルス発振工程S24、およびビームプロファイルの測定工程S25を繰り返す。所要回数の測定工程S25が終了すると、制御部11は、ビームプロファイラ12の測定結果に基づいてビームプロファイルの合成計算を行う(S26)。すなわち、制御部11は、ビームプロファイル間の差異を抽出し、その差異と可動絞り4dのXYマッピング(可動絞り4dの開口位置)との相関関係を求める。

## 【0057】

次いで、制御部11は、ビームプロファイル間の差異と可動絞り4dのXYマッピングとの相関関係に基づいて、ビームプロファイルを補正(ひいては波面の歪みを補正)するのに必要なデフォーマルミラー5の所要変形量を計算する(S27)。さらに、制御部11は、工程S27の計算結果に基づいて、デフォーマルミラー5の反射面の所要領域を所要量だけ変形させる(S28)。次に、可動絞り4dを全開状態(可動絞り4dのない状態と光学的に等価な状態)にし(S29)、レーザ光源1をONにしてレーザ光をパルス発振させ(S210)、ビームプロファイラ12を用いてビームプロファイルを測定する(S211)。

## 【0058】

制御部11は、測定工程S211で得られたビームプロファイルが許容範囲内か否かを判定する(S212)。判定工程S212においてビームプロファイルが許容範囲内であると判定された場合、波面の調整方法は終了する。一方、判定工程S212においてビームプロファイルが許容範囲を超えていると判定された場合、移動工程S22と設定工程S23との間に戻って、工程S23~工程S212までの作業を繰り返すことにより、波面の適正な調整(補正)を行う。こうして、第2実施形態の光照射装置においても、レーザ光源1の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えて、被処理基板6の表面上において所望の光強度分布を安定的に形成することができ、ひいては所望する粒径の結晶化を安定的に行うことができる。

## 【0059】

図9は、本発明の第3実施形態にかかる光照射装置の構成を概略的に示す図である。第3実施形態は、第1実施形態の特徴的な要部構成と第2実施形態の特徴的な要部構成とを併せ備えている。以下、第1実施形態との相違点および第2実施形態との相違点に着目して、第3実施形態を説明する。第3実施形態の光照射装置では、デフォーマルミラー5を波面補正光学素子とし、波面計測ユニット5を粗精度の波面調整に用い、細精度の波面調整にビームプロファイラ12を用いる。

## 【0060】

以下、図10および図11のフローチャートを参照して、第3実施形態における波面の調整方法を説明する。第3実施形態の波面調整方法では、粗精度の波面調整のために第1実施形態の波面調整方法を適用する。すなわち、第3実施形態の波面調整方法における粗精度の波面調整段階では、図10に示すように、波面の歪みの許容範囲を制御部11に読み込み(S31)、レーザ光源1をONにしてレーザ光をパルス発振させ(S32)、波面センサユニット10が波面の歪みデータを測定し(S33)、測定された波面の歪み量が許容範囲内か否かを判定する(S34)。判定工程S34において波面の歪み量が許容範囲内であると判定された場合、粗精度の波面調整段階は終了する。

## 【0061】

一方、判定工程S34において波面の歪み量が許容範囲を超えていると判定された場合、波面の歪みを補正するのに必要なデフォーマルミラー5の所要変形量を計算し(S35)、デフォーマルミラー5の反射面の所要領域を所要量だけ変形させ(S36)、レーザ光源1をONにしてレーザ光を再びパルス発振させ(S32)、波面の歪みデータを測定し(S33)、測定された波面の歪み量が許容範囲内か否かを判定する(S34)。2回目の判定工程S34において波面の歪み量が許容範囲内であると判定された場合、粗精度

10

20

30

40

50

の波面調整段階は終了する。一方、2回目の判定工程S34において波面の歪み量が許容範囲を超えていると判定された場合、計算工程S35、変形工程S36、発振工程S32、測定工程S33、および判定工程S34を繰り返すことにより、波面の適正な粗精度調整(補正)を行う。

#### 【0062】

次いで、第3実施形態の波面調整方法では、細精度の波面調整のために第2実施形態に類似した波面調整方法を適用する。すなわち、第3実施形態の波面調整方法における細精度の波面調整段階では、図11に示すように、ビームプロファイルの許容範囲を制御部11に読み込み(S31)、ビームプロファイラ12を測定位置へ移動させ(S32)、可動絞り4dの開口を初期位置に設定し(S33)、レーザ光源1をONにしてレーザ光をパルス発振させ(S34)、ビームプロファイラ12を用いてビームプロファイルを測定する(S35)。

10

#### 【0063】

可動絞り4dのXYマッピングに従って開口位置を変化させつつ、設定工程S33、発振工程S34、および測定工程S35を繰り返す。所要回数の測定工程S35が終了すると、ビームプロファイルの合成計算を行い(S36)、デフォーマルミラー5の所要変形量を計算し(S37)、デフォーマルミラー5の反射面の所要領域を所要量だけ変形させ(S38)、可動絞り4dを全開状態にし(S39)、レーザ光源1をONにしてレーザ光をパルス発振させ(S310)、ビームプロファイラ12を用いてビームプロファイルを測定する(S311)。

20

#### 【0064】

制御部11は、測定工程S311で得られたビームプロファイルが許容範囲内か否かを判定する(S312)。判定工程S312においてビームプロファイルが許容範囲内であると判定された場合、波面の調整方法は終了する。一方、判定工程S312においてビームプロファイルが許容範囲を超えているがその差が比較的小さいと判定された場合、移動工程S32と設定工程S33との間に戻って、工程S33~工程S312までの作業を繰り返すことにより、波面の適正な細精度調整(補正)を行う。

#### 【0065】

また、判定工程S312においてビームプロファイルが許容範囲を超えており且つその差が比較的大きいと判定された場合、読込工程S31と発振工程S32との間に戻って、上述した粗精度の波面調整および細精度の波面調整を再度行う。こうして、第3実施形態の光照射装置においても、レーザ光源1の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えて、被処理基板6の表面上において所望の光強度分布を安定的に形成することができ、ひいては所望する粒径の結晶化を安定的に行うことができる。

30

#### 【0066】

次に、図12(a)乃至(e)を参照して、本実施形態の光照射装置(結晶化装置)を用いて結晶化された領域に電子デバイスを作製する方法を説明する。図12(a)に示すように、絶縁基板80(例えば、アルカリガラス、石英ガラス、プラスチック、ポリイミドなど)の上に、下地膜81(例えば、膜厚50nmのSiNおよび膜厚100nmのSiO<sub>2</sub>積層膜など)および非晶質半導体膜82(例えば、膜厚50nm~200nm程度のSi, Ge, SiGeなど)および不図示のキャップ膜82a(例えば、膜厚30nm~300nmのSiO<sub>2</sub>膜など)を、化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜した被処理基板5を準備する。そして、本実施形態にしたがう光照射装置を用いて、非晶質半導体膜82の表面の予め定められた領域に、レーザ光83(例えば、KrFエキシマレーザ光やXeClエキシマレーザ光など)を照射する。

40

#### 【0067】

こうして、図12(b)に示すように、大粒径の結晶を有する多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜84が生成される。次に、キャップ膜82aをエッチングにより除去した後、図12(c)に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜84を例えば薄膜トランジスタを形成するための領域となる島状の半導

50

体膜 85 に加工し、表面にゲート絶縁膜 86 として膜厚 20 nm ~ 100 nm の  $\text{SiO}_2$  膜を化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜する。さらに、図 12 (d) に示すように、ゲート絶縁膜上にゲート電極 87 (例えば、シリサイドや MoW など) を形成し、ゲート電極 87 をマスクにして不純物イオン 88 (N チャネルトランジスタの場合にはリン、P チャネルトランジスタの場合にはホウ素) をイオン注入する。その後、窒素雰囲気中でアニール処理 (例えば、炉において 450 °C で 1 時間) やレーザによる活性化 (レーザ光 83 を用いる) を行い、不純物を活性化して島状の半導体膜 85 にソース領域 91、ドレイン領域 92 を形成する。次に、図 12 (e) に示すように、層間絶縁膜 89 を成膜してコンタクト穴をあけ、チャンネル 90 でつながるソース 91 およびドレイン 92 に接続するソース電極 93 およびドレイン電極 94 を形成する。

10

**【0068】**

以上の工程において、図 12 (a) および (b) に示す工程で生成された多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 84 の大粒径結晶の位置に合わせて、チャンネル 90 を形成する。以上の工程により、多結晶トランジスタまたは単結晶化半導体に薄膜トランジスタ (TFET) を形成することができる。こうして製造された多結晶トランジスタまたは単結晶化トランジスタは、液晶表示装置 (ディスプレイ) や EL (エレクトロルミネッセンス) ディスプレイなどの駆動回路や、メモリ (SRAM や DRAM) や CPU などの集積回路などに適用可能である。

**【0069】**

なお、上述の説明では、非単結晶半導体膜に所定の光強度分布を有する光を照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置に本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、一般的に結像光学系を介して所定の光強度分布を所定面に形成する照射装置、たとえばレーザアニール装置、レーザ結晶化装置、レーザアブレーション加工装置などに対して本発明を適用することができる。

20

**【0070】**

具体的に、現在一般的に使用されているラインビーム (線状) 光学系を用いたレーザアニール装置にも本発明を適用して、波面の歪みの補償、すなわち波面の調整を行うことができる。ラインビームは、矩形レーザビームの短辺を長辺に比して極端に短くしたもので、例えば、0.5 mm x 10 mm ~ 500 mm 程度の断面形状を有する。ラインビームレーザアニール装置では、1 度から 90 度の角度で長辺方向と交差する方向にラインビームを相対的に移動させて (スキャンさせて) レーザ照射を行う。スキャンピッチは、典型的には、約 20  $\mu\text{m}$  / パルスから 30  $\mu\text{m}$  / パルスである。

30

**【0071】**

図 13 は、ラインビームレーザアニール装置に本発明を適用した第 1 例を概略的に示す図である。図 13 の装置は、図 1 の第 1 実施形態と類似の構成を有するが、結像光学系 8 の設置を省略して位相シフタ 3 の位置に被処理基板 6 を配置し、且つ照明光学系 4 と被処理基板 6 との間にシリンドリカルレンズ 21 を付設している点が第 1 実施形態と相違している。図 13 では、図 1 の第 1 実施形態における構成要素と同じ機能を果たす要素に、図 1 と同じ参照符号を付している。以下、第 1 実施形態との相違点に着目して、ラインビームレーザアニール装置の第 1 例を説明する。

40

**【0072】**

図 13 のラインビームレーザアニール装置において、照明光学系 4 と被処理基板 6 との間の光路中に付設されたシリンドリカルレンズ 21 は、図 13 の紙面に平行な面において正の屈折力を有し、且つ図 13 の紙面に垂直な面において無屈折力である。したがって、シリンドリカルレンズ 21 の作用により、図 13 の紙面に垂直な方向に沿って非常に細長く延びるラインビーム、例えば 0.5 mm x 10 mm ~ 500 mm 程度の断面形状を有するラインビームが、被処理基板 6 の表面に照射される。換言すれば、被処理基板 6 の表面上に所望の断面形状のラインビームが形成されるように、シリンドリカルレンズ 21 の屈折力が設定されている。

**【0073】**

50

こうして、図13のラインビームレーザアニール装置では、デフォーダブルミラー5の波面調整機能により、レーザ光源1の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えることができ、ひいては被処理基板6の表面上において所望の光強度分布を有するラインビームを安定的に形成することができる。図13のラインビームレーザアニール装置の場合、部分的なダイバージェンスの差がラインビームの品質に大きく影響するため、デフォーダブルミラー5による波面の補正は極めて有効であり、像のずれ、ムラ、ボケなどの現象を良好に抑えるだけでなく、被処理基板6への結像に関する焦点深度(DOF)が深くなるという効果がある。

【0074】

図14は、ラインビームレーザアニール装置に本発明を適用した第2例を概略的に示す図である。図14の装置は、図1の第1実施形態と類似の構成を有するが、結像光学系8に代えて、シリンドリカルレンズ22を含む結像光学系8Aを配置している点が第1実施形態と相違している。図14では、図1の第1実施形態における構成要素と同じ機能を果たす要素に、図1と同じ参照符号を付している。以下、第1実施形態との相違点に着目して、ラインビームレーザアニール装置の第2例を説明する。

【0075】

図14のラインビームレーザアニール装置において、結像光学系8A中に含まれるシリンドリカルレンズ22は、図14の紙面に平行な面において正の屈折力を有し、且つ図14の紙面に垂直な面において無屈折力である。したがって、シリンドリカルレンズ22を含む結像光学系8Aの作用により、図14の紙面に垂直な方向に沿って非常に細長く伸びるラインビーム、例えば0.5mm×10mm~500mm程度の断面形状を有するラインビームが、被処理基板6の表面に照射される。換言すれば、被処理基板6の表面上に所望の断面形状のラインビームが形成されるように、結像光学系8A中のシリンドリカルレンズ22の屈折力が設定されている。

【0076】

こうして、図14のラインビームレーザアニール装置においても図13の装置と同様に、デフォーダブルミラー5の波面調整機能により、レーザ光源1の特性の経時的な劣化などに起因する光束の波面の歪みの影響を抑えることができ、ひいては被処理基板6の表面上において所望の光強度分布を有するラインビームを安定的に形成することができる。また、図14のラインビームレーザアニール装置の場合においても、部分的なダイバージェンスの差がラインビームの品質に大きく影響するため、デフォーダブルミラー5による波面の補正は極めて有効であり、像のずれ、ムラ、ボケなどの現象を良好に抑えるだけでなく、被処理基板6への結像に関する焦点深度が深くなるという効果がある。

【0077】

なお、図6の第2実施形態では、図7に示すように照明光学系4中においてレンズアレイ4bcの直前に配置された可動絞り4dを用いて、照明光学系4の瞳を可変的に限定している。具体的に、可動絞り4dは、レンズアレイ4bc中の1つの任意のレンズにのみ光を通過させるように、XY平面に沿って移動可能で且つ開口(光透過部)の大きさを調節可能に構成されている。レンズアレイ4bcは縦横に且つ稠密に配置された多数のレンズにより構成されているので、図15(a)に示すように、レンズアレイ4bcの各レンズに入射する光束は1つの円で模式的に表わされ、レンズアレイ4bcの全体に入射する光束は縦横に且つ規則的に配列された多数の円で模式的に表わされる。

【0078】

第2実施形態では、図15(b)に示すように、レンズアレイ4bc中の1つの任意のレンズにのみ光を通過させるように、可動絞り4dの開口部(光透過部)が設定される。図15(b)において、黒塗り部分は光の通過を遮る遮光部であり、遮光部中の白抜き部分は光の通過を許容する開口部である。第2実施形態では、可動絞り4dのXYマッピングに従って開口位置を変化させつつビームプロファイラ12を用いてビームプロファイルを測定し、測定されたビームプロファイルが所望の状態でない場合、可動絞り4dの開口位置に対応するデフォーダブルミラー5の反射面の所要領域を変形させて波面の歪みを補正

10

20

30

40

50

する。

【0079】

しかしながら、波面補正光学素子としてのデフォーマルミラー5は必ずしも万能ではなく、レンズアレイ4bc中の1つまたは複数のレンズを通過する光の波面の歪みを補正し切れないことも考えられる。この場合、被処理基板6への光照射に際して、波面の歪みを補正し切れなかった1つまたは複数のレンズを積極的に利用しないことにより、すなわち波面の歪みを補正し切れなかった光束を可動絞り4dで遮ることにより、照明光学系4の瞳を様々な形状に限定して変形照明を行って、被処理基板6上に所望の光強度分布を安定的に形成することができる。

【0080】

例えば、第2実施形態の変形例では、図16(a)に示すように照明光学系4の瞳を輪帯状に限定したり、図16(b)に示すように照明光学系4の瞳を正方形の4つの辺に対応する正方環状に限定したり、図16(c)に示すように照明光学系4の瞳を比較的小さい円形状に限定したり、図16(d)に示すように照明光学系4の瞳を比較的小さい正方形形状に限定したりする。また、図16(e)に示すように照明光学系4の瞳を4つの円からなる4極状に限定したり、図16(f)に示すように照明光学系4の瞳を4つの正方形からなる4極状に限定したり、図16(g)に示すように照明光学系4の瞳を一方向に細長い矩形形状に限定したりする。

【0081】

この変形例では、被処理基板6への結像に関する焦点深度や解像度を向上させることができる。しかしながら、可動絞り4dにおける光量損失により被処理基板6上での照度が低下するので、レーザ光源1の出力(レーザパワー)を増大させる必要がある。また、変形照明により被処理基板6への入射光の瞳分布が変わるので、結像特性のシミュレーションを行い、被処理基板6上に形成されるパターンの補正を行う必要がある。

【図面の簡単な説明】

【0082】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる光照射装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の照明光学系の構成を概略的に示す図である。

【図3】ホモジナイザを2段構成にした照明光学系を概略的に示す図である。

【図4】波面センサユニットの構成および作用を説明する図である。

【図5】第1実施形態における波面調整方法の工程を説明するフローチャートである。

【図6】本発明の第2実施形態にかかる光照射装置の構成を概略的に示す図である。

【図7】光源を局在化するための可動絞りが照明光学系中に配置されている様子を示す図である。

【図8】第2実施形態における波面調整方法の工程を説明するフローチャートである。

【図9】本発明の第3実施形態にかかる光照射装置の構成を概略的に示す図である。

【図10】第3実施形態における波面調整方法の工程を説明する第1フローチャートである。

【図11】第3実施形態における波面調整方法の工程を説明する第2フローチャートである。

【図12】本実施形態の光照射装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。

【図13】ラインビームレーザアニール装置に本発明を適用した第1例を概略的に示す図である。

【図14】ラインビームレーザアニール装置に本発明を適用した第2例を概略的に示す図である。

【図15】第2実施形態の動作を補足説明する図であって、(a)はレンズアレイに入射する光束を縦横に且つ規則的に配列された多数の円で模式的に表わし、(b)はレンズアレイ中の1つのレンズにのみ光を通過させるように可動絞りの開口部が設定される様子を示している。

10

20

30

40

50

【図16】第2実施形態の変形例において照明光学系の瞳を様々な形状に限定して変形照明を行う様子を示す図である。

【図17】レーザ光源の劣化例を示す図である。

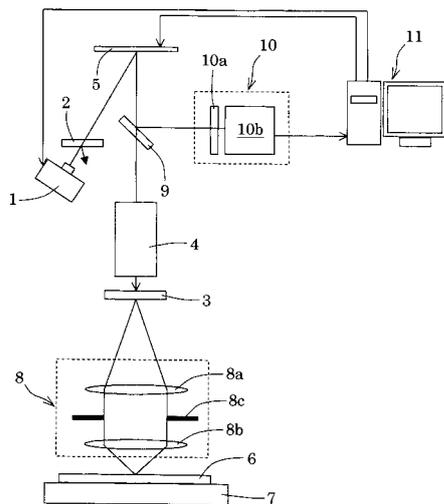
【符号の説明】

【0083】

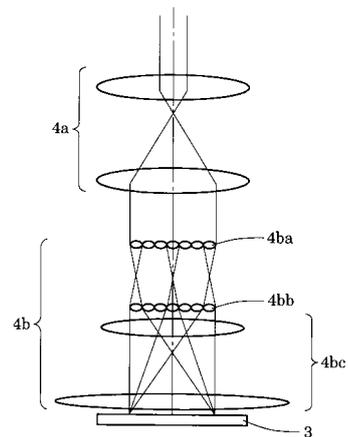
- 1 レーザ光源
- 2 アッテネータ
- 3 位相シフト
- 4 照明光学系
- 4 d 可動絞り
- 5 デフォーマブルミラー
- 6 被処理基板
- 7 基板ステージ
- 8 結像光学系
- 10 波面センサユニット
- 11 制御部
- 12 ビームプロファイラ

10

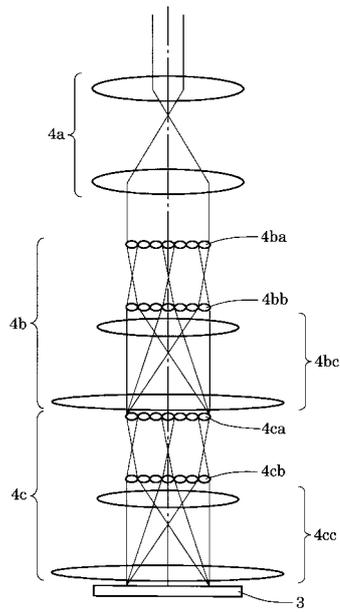
【図1】



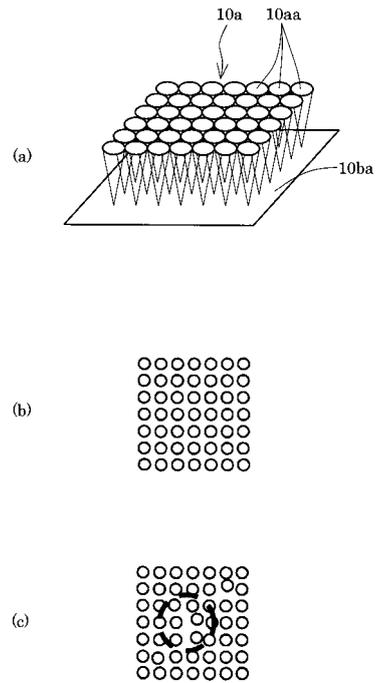
【図2】



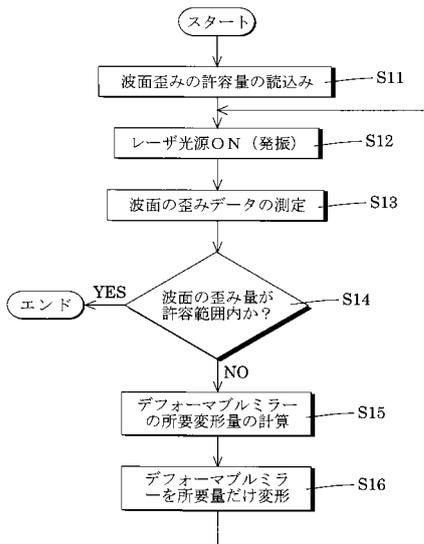
【 図 3 】



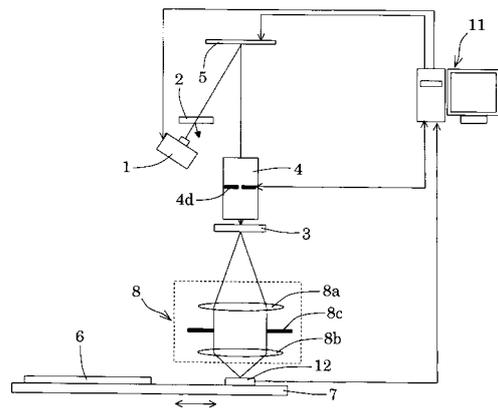
【 図 4 】



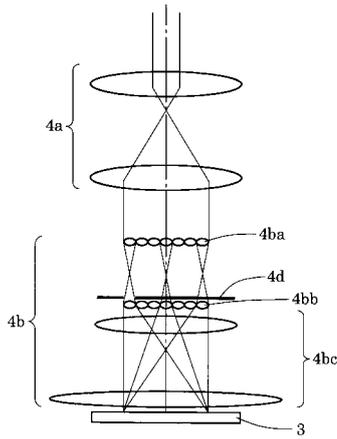
【 図 5 】



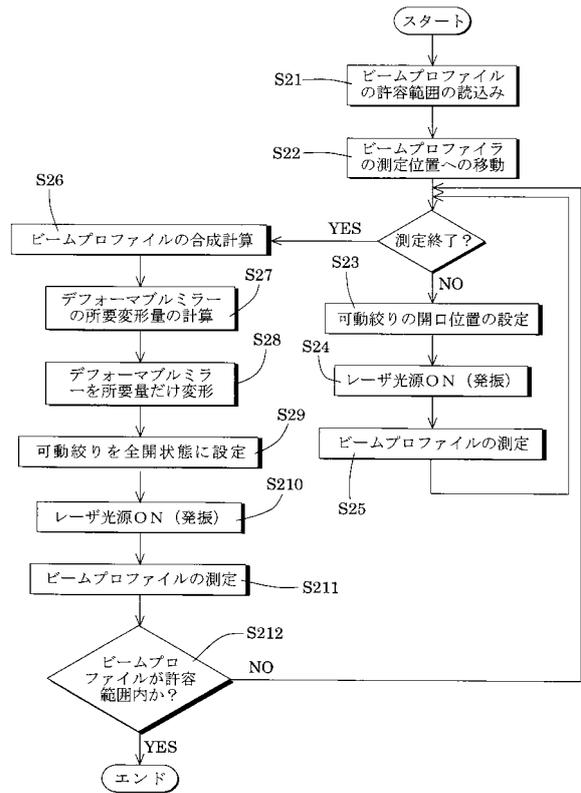
【 図 6 】



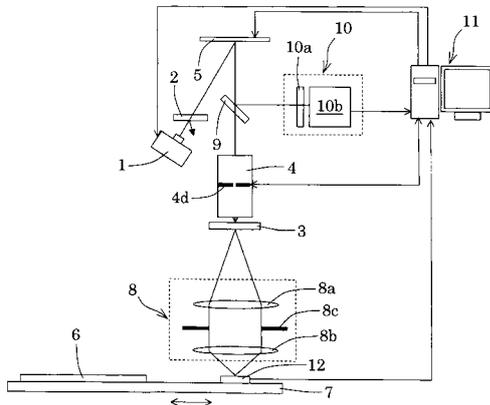
【 図 7 】



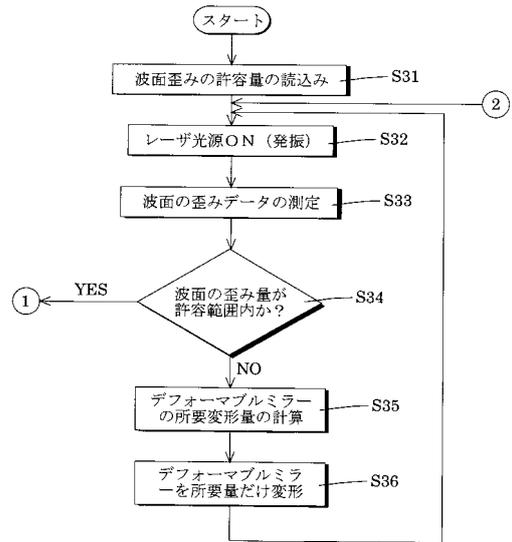
【 図 8 】



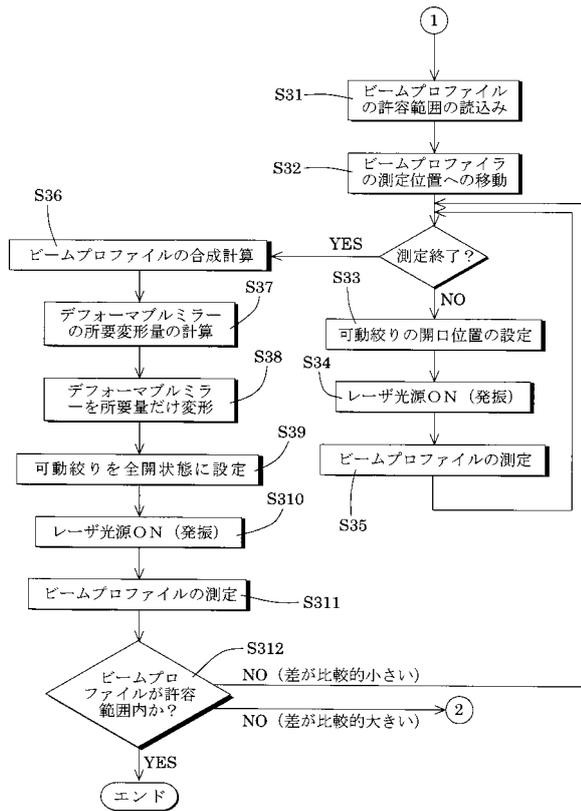
【 図 9 】



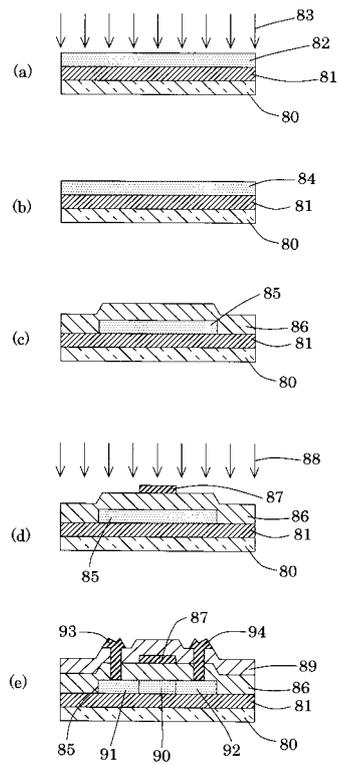
【 図 10 】



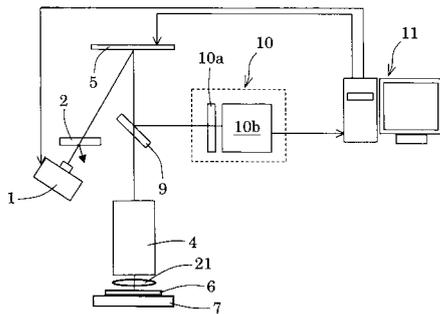
【 図 1 1 】



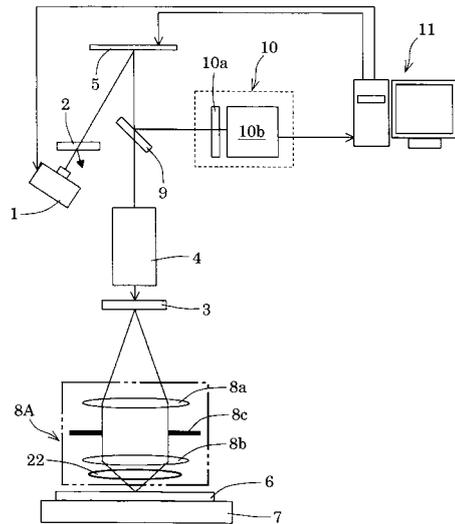
【 図 1 2 】



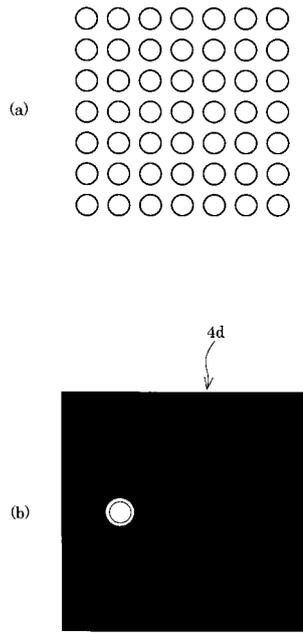
【 図 1 3 】



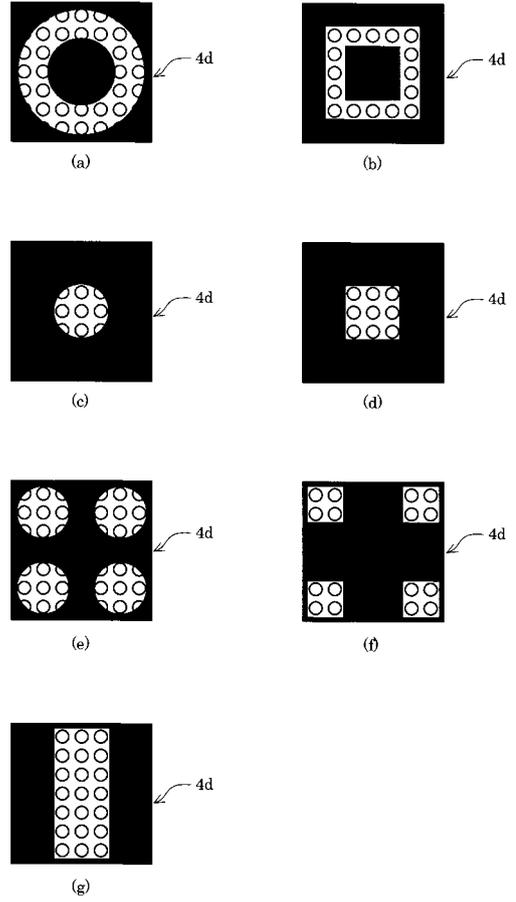
【 図 1 4 】



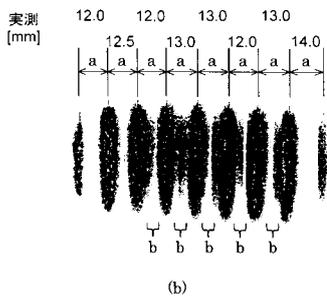
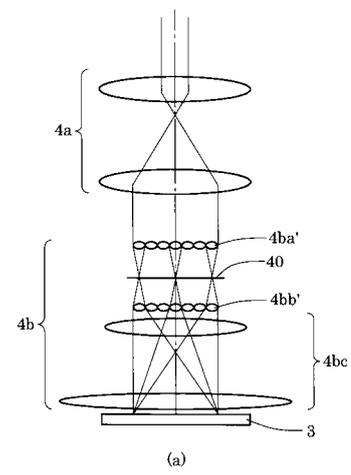
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 5F152 AA02 AA04 AA06 AA08 AA17 BB02 CC02 CC03 CC04 CD03  
CD13 CD14 CE05 CE06 CE12 CE16 CE24 CF03 CF13 EE01  
EE02 EE03 EE04 EE05 FF03 FG03 FG23 FG29 FH01 FH04  
FH05