(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4652707号
(P4652707)

(45)発行日　平成23年3月16日(2011.3.16)　(24)登録日　平成22年12月24日(2010.12.24)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/268	(2006.01)	H01L	21/268	J
H01L 21/20	(2006.01)	H01L	21/20	
H01L 21/336	(2006.01)	H01L	29/78	627G
H01L 29/786	(2006.01)			

請求項の数 17　(全 38 頁)

(21)出願番号　特願2004-83799(P2004-83799)
(22)出願日　平成16年3月23日(2004.3.23)
(65)公開番号　特開2004-343073(P2004-343073A)
(43)公開日　平成16年12月2日(2004.12.2)
審査請求日　平成19年1月11日(2007.1.11)
(31)優先権主張番号　特願2003-117486(P2003-117486)
(32)優先日　平成15年4月22日(2003.4.22)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　501286657
株式会社　液晶先端技術開発センター
神奈川県川崎市幸区堀川町６６番地２
(74)代理人　100095256
弁理士　山口　孝雄
(72)発明者　松村　正清
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
(72)発明者　谷口　幸夫
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

審査官　太田　一平

最終頁に続く

(54)【発明の名称】結晶化装置、結晶化方法、位相変調素子、およびデバイス

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

少なくとも第１の位相値を有する第１領域と、第２の位相値を有する第２領域とを有する位相変調単位の前記第１領域と前記第２領域との占有面積率が異なる位相変調単位が複数配置され、入射光を位相変調した光を出射する位相変調素子と、

前記位相変調素子に入射する面内強度分布が均一な前記入射光を生成するための照明系と、

前記位相変調素子の出射側に設けられこの位相変調素子により位相変調された光に基づき光強度分布を所定面に形成するための結像光学系と、

前記結像光学系の出射側に設けられこの結像光学系の前記所定面に非単結晶半導体膜を有する基板を位置決めして保持するためのステージと、を有し、

前記位相変調素子の前記位相変調単位は、前記結像光学系の前記所定面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも少なくとも一方向に関して光学的に小さく、且つ前記位相変調素子は、前記光強度分布が底部から周辺に向かって光強度が直線状に増大するように前記占有面積率を変化させて複数の位相変調単位が配置され、

前記基板の前記非単結晶半導体膜に形成される前記光強度分布の底部から周辺に向かって光強度を直線状に増大させることにより結晶を結晶核からラテラル成長させることを特徴とする結晶化装置。

【請求項２】

少なくとも第１の位相値を有する第１領域と、第２の位相値を有する第２領域とを有する

位相変調単位の前記第１領域と前記第２領域との占有面積率が異なる位相変調単位が複数配置され、入射光を位相変調した光を出射する位相変調素子と、
前記位相変調素子に入射する面内強度分布が均一な前記入射光を生成するための照明系と、
前記位相変調素子の出射側に設けられこの位相変調素子により位相変調された光に基づき光強度分布を所定面に形成するための結像光学系と、
前記結像光学系の出射側に設けられこの結像光学系の前記所定面に非単結晶半導体膜を有する基板を位置決めして保持するためのステージと、を有し、
前記位相変調素子の前記位相変調単位は、前記結像光学系の前記所定面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも少なくとも一方向に関して光学的に小さく、且つ
前記位相変調素子は、前記光強度分布が底部から周辺に向かって光強度が直線状に増大するように前記占有面積率を変化させて複数の位相変調単位を配列し、
前記結像光学系の点像分布範囲の半径Ｒ／２は、光の波長をλとし、前記結像光学系の出射側の開口数をＮＡとするとき、Ｒ／２＝０．６１λ／ＮＡであり、
前記基板の前記非単結晶半導体膜に形成される前記光強度分布の底部から周辺に向かって光強度を直線状に増大させることにより結晶を結晶核からラテラル成長させることを特徴とする結晶化装置。
【請求項３】
前記位相変調単位の前記第１領域と第２領域との占有面積率は、左側から右側方向に連続して変化していることを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項４】
前記位相変調単位は、前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい複数の矩形状のピクセルからなり、該複数のピクセルは縦横に且つ稠密に所定の位相値の分布を形成するように配置されていることを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項５】
前記位相変調単位は、前記結像光学系の結像面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい複数のセルからなり、該複数のセルは左側から右側方向に配置され、
前記第１の位相値を有する第１領域は同一サイズの大きさであり、前記第２領域は前記第１領域内に位置し、左側から右側方向に面積が変化して前記第１領域と前記第２領域との占有面積率が左側から右側方向に単調に変化することを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項６】
前記位相変調単位は、複数の矩形状のピクセルを縦横に且つ稠密に所定の位相値の分布を形成するように配置してなり、前記位相変調素子は、前記結像光学系の結像面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい複数のピクセルからなる位相変調単位を複数有し、
この複数の位相変調単位において、同一位相値のピクセル数が変化することを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項７】
前記位相変調単位は、前記結像光学系の結像面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい幅を有し、少なくとも前記第１の位相値を有する第１領域である細長い三角形状の第１の短冊状領域と、前記第２の位相値を有する第２領域である細長い逆三角形状の第２の短冊状領域とが稠密に配置された複数の短冊状領域からなることを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項８】
前記位相変調単位は、前記結像光学系の結像面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい幅の前記第１領域であるライン部と、前記第２領域であるスペース部とからなり稠密に配置されたラインアンドスペースパターンを有し、
各前記ライン部は前記第１の位相値を有し、各前記スペース部は前記第２の位相値を有

し、互いに隣接するライン部の幅とスペース部の幅との比が幅方向に沿って変化することを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項９】
前記位相変調単位が稠密に複数配置され、各前記位相変調単位において前記光強度分布の最小光強度を出射する位置に、透過する光強度が最小値となる位相値を有する孤立領域を備えることを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項１０】
前記結像光学系は、像側開口数を決定する開口絞りを有し、この開口絞りは前記非単結晶半導体膜上に前記光強度分布を形成させるように設定されたものであることを特徴とする請求項１または２記載の結晶化装置。
【請求項１１】
少なくとも第１の位相値を有する第１領域と、第２の位相値を有する第２領域とを有する位相変調単位の前記第１領域と前記第２領域との占有面積率が異なる位相変調単位が複数配置され、入射光を位相変調した光を出射する位相変調素子と、
前記位相変調素子に入射する面内強度分布が均一な前記入射光を生成するための照明系と、
前記位相変調素子の出射側に設けられこの位相変調素子により位相変調された光に基づき光強度分布を所定面に形成するための結像光学系と、
前記結像光学系の出射側に設けられこの結像光学系の前記所定面に非単結晶半導体膜を有する基板を位置決めして保持するためのステージと、を有し、
前記位相変調素子の前記位相変調単位は、前記結像光学系の前記所定面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも少なくとも一方向に関して光学的に小さく、且つ前記位相変調素子は、前記光強度分布が底部から周辺に向かって光強度が直線状に増大するように前記占有面積率を変化させて複数の位相変調単位が配置されてなる結晶化装置により、前記非単結晶半導体膜に結晶核からラテラル成長させた結晶化領域を形成するのに際し、
前記照明系より面内強度分布が均一な前記入射光を前記位相変調素子に照射することにより、前記占有面積率の変化に応じた底部から周辺に向かって光強度が直線状に増大する光を出射する工程と、
前記結像光学系により前記底部から周辺に向かって光強度が直線状に増大する光を前記非単結晶半導体膜に結像させ、線形状の温度勾配を形成する工程と、
前記非単結晶半導体膜に形成された前記線形状の温度勾配に沿って結晶核からラテラル成長させた結晶粒を形成する工程と、を具備してなることを特徴とする結晶化方法。
【請求項１２】
少なくとも第１の位相値を有する第１領域と、第２の位相値を有する第２領域とを有する位相変調単位の前記第１領域と前記第２領域との占有面積率が異なる位相変調単位が複数配置され、面内強度分布が均一な入射光を位相変調して光強度分布を有する光を出射する位相変調素子であって、
前記位相変調単位は、結像光学系の所定面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも少なくとも一方向に関して光学的に小さく、且つ前記光強度分布が底部から周辺に向かって光強度が直線状に増大するように、前記占有面積率を変化させて複数の位相変調単位が配置された位相分布を、前記占有面積率の変化方向に沿って繰り返し設けていることを特徴とする位相変調素子。
【請求項１３】
少なくとも前記第１の位相値を有する第１領域および前記第２の位相値を有する第２領域は、前記第１の位相値を有する第１の矩形状ピクセルおよび前記第２の位相値を有する第２の矩形状ピクセルであり、位相変調単位当りの前記第１又は第２の位相値を有するピクセル数が変化することを特徴とする請求項１２に記載の位相変調素子。
【請求項１４】
少なくとも前記第１の位相値を有する第１領域である細長い三角形状の第１の短冊状領域

と、前記第２の位相値を有する第２領域である細長い逆三角形状の第２の短冊状領域とが稠密配置されたものであることを特徴とする請求項１２に記載の位相変調素子。

【請求項１５】

少なくとも前記第１の位相値を有する第１領域である第１のライン部と、前記第２の位相値を有する第２領域である第２のスペース部とが稠密配置されたものであることを特徴とする請求項１２に記載の位相変調素子。

【請求項１６】

前記位相変調単位が稠密に複数配置され、各前記位相変調単位において前記光強度分布の最小光強度を出射する位置に、透過する光強度が最小値となる位相値を有する孤立領域を備えることを特徴とする請求項１２に記載の位相変調素子。

【請求項１７】

請求項１１の結晶化方法により非単結晶半導体膜にラテラル成長して形成された結晶粒に位置合わせしてチャネル、ソース、ドレインが設けられてなるデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、所定の光強度分布を有するレーザ光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置、結晶化方法、位相変調素子、デバイスおよび表示装置に関する。例えばアクティブマトリックス型フラットパネルディスプレイに適用される、薄膜半導体基板、薄膜半導体基板の製造方法、結晶化方法、結晶化装置、薄膜半導体装置、および薄膜半導体装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

例えば、液晶表示装置（Liquid-Crystal-Display：ＬＣＤ）の画素に印加する電圧を制御するスイッチング素子などに用いられる薄膜トランジスタ（Thin-Film-Transistor：ＴＦＴ）は、非晶質シリコン（amorphous-Silicon）層や多結晶シリコン（poly-Silicon）層に形成されている。

【０００３】

多結晶シリコン層は、非晶質シリコン層よりも電子又は正孔の移動度が高い。従って、多結晶シリコン層にトランジスタを形成した場合、非晶質シリコン層に形成する場合よりも、スイッチング速度が速くなり、ディスプレイの応答速度が向上される。また、周辺ＬＳＩを薄膜トランジスタで構成することが可能になる。さらに、他の部品の設計マージンを減らせる等の利点がある。また、ドライバ回路やＤＡＣ等の周辺回路は、ディスプレイに組み入れる場合に、それらの周辺回路を、より高速に動作させることができる。

【０００４】

多結晶シリコンは結晶粒の集合からなるが、単結晶シリコンに比べると電子又は正孔の移動度が低い。また、多結晶シリコンに形成された多数の薄膜トランジスタは、チャネル部における結晶粒界数のバラツキが問題となる。そこで、最近、電子又は正孔の移動度を向上させ且つチャネル部における結晶粒界数のバラツキを少なくするために、大粒径の結晶化シリコンを生成する結晶化方法が提案されている。

【０００５】

この種の結晶化方法として、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結晶化を行う技術が開示されている（例えば特許文献１参照）。

【０００６】

また、多結晶半導体膜または非晶質半導体膜と平行に近接させた位相シフタにエキシマレーザ光を照射して結晶化半導体膜を生成する「位相制御ＥＬＡ（Excimer Laser Annealing）法」が知られている。なお、位相制御ＥＬＡ法では、位相シフタの位相シフト部に対応する点において光強度がほぼ０の逆ピークパターン（中心において光強度がほぼ０で周囲に向かって光強度が急激に増大するパターン）の光強度分布を発生させ、この逆ピー

クパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜あるいは非晶質半導体膜に照射する。その結果、光強度分布に応じて溶融領域に温度勾配が生じ、光強度がほぼ０の点に対応して最初に凝固する部分に結晶核が形成され、その結晶核から周囲に向かって結晶が横方向に成長する（以降「ラテラル（lateral）成長」とよぶ）ことにより大粒径の単結晶粒が生成される、との記載がある（例えば非特許文献１参照）。

【０００７】

さらに、位相シフタと光吸収分布とを組み合わせて発生させた凹型パターンと逆ピークパターンとを含む光強度分布を有する光を半導体膜に照射して結晶化する技術が知られている（例えば非特許文献２参照）。

【０００８】

【特許文献１】特開２０００－３０６８５９号公報

【非特許文献１】表面科学Vol.21、 No.5、 pp.278-287、 2000

【非特許文献２】井上、中田、松村、「シリコン薄膜の振幅・位相制御エキシマレーザ溶融再結晶化法－新しい２－Ｄ位置制御大結晶粒形成法－」、電子情報通信学会論文誌 Vol.J85-C、 No.8、 pp.624-629、 2002年8月（図３および関連する記載を参照）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

特許文献１に開示されているように、位相シフタを用いて逆ピークパターンの光強度分布を形成する技術では、位相シフト部に対応する部分に逆ピークパターンの光強度分布が形成される。しかしながら、光強度が直線状に増大しないため、また、逆ピークパターンの光強度分布の周辺に余分な凹凸分布が発生するため、結晶の成長が途中で終了し易い。

【００１０】

なお、位相シフタに対する照明光の角度分布を調節したり、位相シフタの配置位置を設計したりすることにより、得られる光強度分布を理想的な分布に近づけることは可能かもしれない。しかしながら、その設計を解析的に見通しをもって行うことはできないし、例え解析的な設計が実現可能だとしても、かなり複雑な設計条件になることが予想される。

【００１１】

一方、非特許文献２に開示されているように、位相シフタと光吸収分布とを組み合わせる技術では、結晶化するための凹型パターンと逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。しかしながら、これを実現することは困難である。すなわち連続的に変化する光吸収分布を有する膜を成膜することは、一般に困難である。また、特に結晶化のための強度の非常に大きい光は、被結晶化膜に照射したとき、光吸収による熱や化学変化により光吸収分布を有する膜の膜材料の劣化を生じ易いので望ましくない。

【００１２】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、結晶を結晶核からラテラル成長させることにより大粒径の結晶化半導体膜を生成することのできる結晶化装置、結晶化方法、およびその結晶化半導体膜を用いた薄膜トランジスタおよび表示装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【００１３】

前記課題を解決するために、本発明では、入射光に対する出射光の位相が場所によって異なる位相変調素子と、前記位相変調素子に入射する前記入射光を生成するための照明系と、前記位相変調素子の出射側に設けられた結像光学系と、前記結像光学系の出射側に設けられた非単結晶半導体膜を有する基板を支持するためのステージと、を有し、

前記位相変調素子は、前記結像光学系の結像面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有することを特徴とする結晶化装置を提供する。

【００１４】

また、本発明では、入射光に対する出射光の位相が場所によって異なる位相変調素子と

、前記位相変調素子に入射する前記入射光を生成するための照明系と、前記位相変調素子と所定面との間の光路中に配置された結像光学系と、を有し、
前記位相変調素子は、前記結像光学系の結像面に換算して前記結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有することを特徴とする露光装置を提供する。
【００１５】
また、本発明では、結像面に換算して結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子を照明し、
前記位相変調素子と多結晶半導体膜または非晶質半導体膜との間の光路中に配置された前記結像光学系を介して、前記多結晶半導体膜または前記非晶質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
ことを特徴とする結晶化方法を提供する。
【００１６】
また、本発明では、結像面に換算して結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子を照明し、
前記位相変調素子と所定面との間の光路中に配置された前記結像光学系を介して、前記所定面において所定の光強度分布を形成することを特徴とする結晶化方法。を提供する。
【００１７】
また、本発明では、所定の大きさの位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子であって、
第１の位相値を有する第１領域と第２の位相値を有する第２領域を有し、
前記位相分布は、前記第１の領域および前記第２の領域の占有面積率が位置によって変化することで規定されることを特徴とする位相変調素子を提供する。
【００１８】
また、本発明では、所定の大きさの位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子であって、
それぞれ一定の位相値を有する複数の分割領域を含み、
個々の分割領域において、位相値が分割領域毎に周期的に変化する位相分布を有することを特徴とする位相変調素子を提供する。
【００１９】
また、本発明では、所定の大きさの位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子であって、
第１の位相分布を有し且つ位相の変化方向に沿って延びた第１帯状領域と、第２の位相分布を有し且つ位相の変化方向に沿って延びた第２帯状領域と、を有し、
前記第１帯状領域と前記第２帯状領域とは位相の変化方向に沿った境界線を挟んで隣接し、前記境界線上の局部領域において前記第１帯状領域側の平均位相値と前記第２帯状領域側の平均位相値とが実質的に異なることを特徴とする位相変調素子を提供する。
【００２０】
また、本発明では、結像面に換算して結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子を照明し、前記位相変調素子と所定面との間の光路中に配置された前記結像光学系を介して、前記所定面において所定の光強度分布を形成する、結晶化方法により製造される半導体薄膜を含むことを特徴とするデバイスを提供する。
【００２１】
また、本発明では、所定の間隙を介して互いに接合した一対の基板と、
この間隙に保持された電気光学物質と、
一方の基板に形成された対向電極と、
他方の基板に形成された画素電極およびこれを駆動する薄膜トランジスタを提供可能な半導体薄膜と、
を有し、

前記半導体薄膜は、入射光に対する出射光の位相が場所によって異なる位相変調素子および結像光学系を介して、前記多結晶半導体膜または前記非晶質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した半導体膜を含むことを特徴とする表示装置を提供する。

【発明の効果】

【００２２】

本発明の結晶化装置および結晶化方法では、位相変調素子が結像光学系の点像分布範囲Ｒの半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有するので、結像光学系の点像分布範囲Ｒに光学的に対応する単位範囲における複数の単位ベクトルの組み合わせを適宜変化させることにより、形成される光強度分布を解析的に且つ簡単な計算にしたがって制御することができる。

【００２３】

また、本発明の位相変調素子は、基板上任意の位置において光強度が最も小さく、且つ周辺に向かって光強度が増大するような分布の光強度分布を提供できるので、結晶の結晶核からの十分なラテラル成長を実現でき、大粒径で特性の安定した結晶化半導体膜を生成することができる。

【００２４】

さらに、本発明の位相変調素子を用いた結晶化装置および結晶化方法により生成される基板に薄膜トランジスタ等を形成することで、高速動作が可能なデバイスが提供される。なお、そのデバイスを、例えば液晶表示装置に適用することで高速の画像信号に追従可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２５】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について詳細に説明する。

図１は、本発明の実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。また、図２は、図１の照明系の内部構成を概略的に示す図である。図１および図２を参照すると、本実施形態の結晶化装置は、位相変調素子１を照明するための照明系２を備えている。位相変調素子１の構成および作用については後述する。

【００２６】

照明系２は、位相変調素子１に入射する入射光を生成するレーザ光源たとえば非晶質シリコン膜又は多結晶シリコン膜などの非単結晶半導体膜を結晶化するための２４８ｎｍの波長を有する光を供給するＫｒＦエキシマレーザ光源２ａを備えている。なお、光源２ａとして、ＸｅＣｌエキシマレーザ光源やＹＡＧレーザ光源のような他の適当な光源を用いることもできる。光源２ａから供給されたレーザ光は、ビームエキスパンダ２ｂを介して拡大された後、第１フライアイレンズ２ｃに入射する。

【００２７】

第１フライアイレンズ２ｃの後側焦点面には複数の擬似光源が形成（第１フライアイレンズ２ｃの後側焦点面に光源２ａの像が転写されて擬似光源が規定）される。第１フライアイレンズ２ｃの後ろ側焦点面すなわち複数の（擬似）光源からの光束は第１コンデンサ光学系２ｄを介して、第２フライアイレンズ２ｅの入射面に案内される。その結果、第２フライアイレンズ２ｅの後側焦点面には、第１フライアイレンズ２ｃの後側焦点面よりも多くの複数の擬似光源が形成（第２フライアイレンズ２ｅの後側焦点面に第１フライアイレンズ２ｃの像が転写されて擬似光源が規定）される。第２フライアイレンズ２ｅの後側焦点面に形成された複数の光源からの光束は、第２コンデンサ光学系２ｆを介して、位相変調素子１に入射される。

【００２８】

第１フライアイレンズ２ｃおよび第１コンデンサ光学系２ｄは、光源２ａからの照明光に、homogenization効果を与える第１ホモジナイザ（homogenizer すなわち homogenization 機構）を構成する。従って、この第１ホモジナイザにより光源２ａから供給されたレーザ光は、面内強度分布が均一化された状態で第２フライアイレンズ２ｅに入射される。

【００２９】
また、第２フライアイレンズ２ｅおよび第２コンデンサ光学系２ｆは第２ホモジナイザを構成し、この第２ホモジナイザにより、第１ホモジナイザにより入射角度が均一化されたレーザ光が、位相変調素子１に実質的に面内強度分布が均一な状態で照射される。このように、第１フライアイレンズ２ｃ、第１コンデンサ光学系２ｄ、第２フライアイレンズ２ｅおよび第２コンデンサ光学系２ｆにより、位相変調素子１の全域に入射角度分布が均一で、かつ面内強度分布が均一なレーザ光が照射される。
【００３０】
位相変調素子１で位相変調されたレーザ光は、結像光学系３の出射側に設けられた被処理基板４（所定面すなわち結像光学系３の結像面）に入射される。結像光学系３は、凸レンズ３ａと凸レンズ３ｂと両レンズの間に開口絞り３ｃを備え、位相変調素子１と被処理基板４（所定面）とを光学的に共役な位置関係に位置させることができる。換言すれば、被処理基板４は、結晶化処理される膜を有するもので、位相変調素子１と光学的に共役な面（結像光学系３の像面）に設定されている。なお、被処理基板４は、真空チャックや静電チャック等により、基板ステージ５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。
【００３１】
開口絞り３ｃは、開口部（光透過部）の大きさを任意に設定可能である。なお、開口絞り３ｃは、例えば開口部の大きさを連続して変化できる虹彩絞り等を用いることができる。また、開口絞り３ｃは、所定の大きさの開口部が設けられた板状体を複数用意して、任意に光路に設置してもよい。いずれにしても、開口絞り３ｃの開口部（実質的に、結像光学系３の像側開口数ＮＡ）の大きさは、後述するように、被処理基板４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。
【００３２】
なお、結像光学系３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。また、被処理基板４は、たとえば液晶ディスプレイ用板ガラスの上に化学気相成長法（ＣＶＤ）により下地膜（下層保護膜）および非単結晶半導体膜例えば非晶質シリコン膜が順次形成されたものである。
【００３３】
図３（ａ）～（ｆ）は、本発明の基本原理を説明する図である。図１および図２と同一部分には同一符号を付与し、その詳細な説明は省略する。一般に、位相変調素子１による結像の光振幅分布Ｕ（ｘ，ｙ）は、式（１）
Ｕ（ｘ，ｙ）＝Ｔ（ｘ，ｙ）＊ＡＳＦ（ｘ，ｙ）・・・（１）
で表わされる。なお、式（１）において、Ｔ（ｘ，ｙ）は位相変調素子１の複素振幅透過率分布を、＊はコンボリューション（たたみ込み積分）を、ＡＳＦ（ｘ，ｙ）は結像光学系３の点像分布関数をそれぞれ示している。また、点像分布関数とは、結像光学系による点像の振幅分布と定義する。
【００３４】
なお、位相変調素子１の複素振幅透過率分布Ｔは、振幅が均一であることから、以下に示す式（２）
$T = T_0 e^{i\phi(x,y)}$・・・（２）
で表わされる。なお、式（２）において、T_0は一定の値であり、φ（ｘ，ｙ）は位相分布を示している。
【００３５】
また、結像光学系３が均一円形瞳を有し、且つ収差がない場合、点像分布関数ＡＳＦ（ｘ，ｙ）に関して、式（３）
$ASF(x, y) \propto 2J_1(2\pi / \lambda \cdot NA \cdot r) / (2\pi / \lambda \cdot NA \cdot r)$・・・（３）
ただし、$r = (x^2 + y^2)^{1/2}$
に示す関係が成立する。なお、式（３）において、J_1はベッセル（Bessel）関数を、λは光の波長を、ＮＡは上述したように結像光学系３の像側開口数をそれぞれ示している。

【００３６】
図３（ａ）に示す結像光学系３の点像分布関数は、被処理基板４の像面３ｆでの光強度分布であり、図３（ｂ）に示すものである。横軸は、被処理基板４の入射面であり、縦軸は入射光強度である。図３（ａ）に示す結像光学系３の点像分布関数は、図３（ｂ）に破線で示す直径Ｒの円筒形３ｅで近似することができる。すなわち、図３（ｃ）に示す位相変調素子１上の直径Ｒ’（図３（ｂ）の直径Ｒに光学的に対応する値）の円内の複素振幅分布を積分したものが図３（ａ）に示した像面３ｆ上の複素振幅を決定する。
【００３７】
上述したように、像面３ｆに結像された結像の光振幅すなわち光強度は、位相変調素子１の複素振幅透過率分布と点像分布関数とのコンボリューションで与えられる。点像分布関数を円筒形３ｅで近似して考えると、図３（ｃ）に示す円形の点像分布範囲Ｒ内で位相変調素子１の複素振幅透過率を均一重みで積分した結果が、像面３ｆでの複素振幅になり、その絶対値の二乗が光強度となる。なお、結像光学系３での点像分布範囲Ｒとは、点像分布関数によって描かれた図３（ｂ）の振幅曲線と横軸３ｉとの交点３ｊ内の範囲をいう。
【００３８】
従って、点像分布範囲Ｒ内で位相の変化が少ないほど光強度は大きくなり、逆に位相の変化が大きいほど光強度は小さくなる。この点は、図３（ｄ）に示すように単位円３ｇ内での位相ベクトル３ｈの和で考えると理解しやすい。像面３ｆを物体例えば半導体膜とした場合、図３（ｂ）の点像分布関数は、図３（ｆ）に示すような点像分布関数となる。図３（ｅ）は、像面３ｆの一点を表す図であり、上記の過程によりこの点の光強度が決定される。
【００３９】
図４（ａ）～（ｃ）は、点像分布範囲Ｒ内での位相の変化と光強度との典型的な関係を示す図である。図４（ａ）は、４つの領域の位相値がすべて０度の場合を示す図であり、０度方向のそれぞれＥの振幅を持つ４つの位相ベクトル４ｇの和が振幅４Ｅとなり、その二乗が光強度１６Ｉに対応することになる。
【００４０】
図４（ｂ）は、２つの領域の位相値が０度であり、他の２つの領域の位相値が９０度の場合を示す図であり、０度方向の２つの位相ベクトルと９０度方向の２つの位相ベクトルとの和が振幅２√２Ｅに対応し、その二乗が光強度８Ｉに対応することになる。図４（ｃ）は、位相値が０度の領域と位相値が９０度の領域と位相値が１８０度の領域と位相値が２７０度の領域の場合を示す図であり、０度方向の位相ベクトル４ｓと９０度方向の位相ベクトル４ｔと１８０度方向の位相ベクトル４ｕと２７０度方向の位相ベクトル４ｖとの和のベクトルの振幅は０Ｅとなり、その二乗が光強度０Ｉに対応することになる。
【００４１】
図５（ａ）および（ｂ）は、結像光学系３における瞳関数と点像分布関数との関係を示す図である。一般に、点像分布関数（図５（ｂ））は、瞳関数（図５（ａ））のフーリエ変換で与えられる。具体的には、結像光学系３が均一円形瞳を有し、且つ収差がない場合、点像分布関数ＡＳＦ（ｘ，ｙ）は上述の式（３）により表わされる。しかしながら、結像光学系３に収差が存在する場合や、均一円形瞳以外の瞳関数を有する場合はこの限りではない。
【００４２】
均一円形瞳で収差がない場合、点像分布関数が最初に０となるまでの中央領域（すなわちエアリーディスク）の半径Ｒ／２は、式（４）
Ｒ／２＝０．６１λ／ＮＡ・・・（４）
で表わされることが知られている。
【００４３】
本発明において、点像分布範囲Ｒとは、図３（ｂ）または図５（ｂ）に示すように点像分布関数Ｆ（ｘ）が最初に０となるまでの円形状の中央領域を意味している。図４（ａ）

～（ｃ）から明らかなように、結像光学系の点像分布範囲Ｒに光学的に対応する円の中に複数（図４（ａ）～（ｃ）では４つ）の位相変調単位が含まれていると、複数の位相ベクトル４ｇの和により光の振幅を、すなわち光の強度を解析的に且つ簡単な計算に従って制御することが可能である。その結果、比較的複雑な光強度分布を比較的容易に得ることができる。

【００４４】

従って、本発明では、光強度を自由に制御するために、位相変調素子１の位相変調単位は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒ（図３（ｂ）参照）の半径すなわちＲ／２よりも光学的に小さいことが必要である。換言すれば、結像光学系３の像側における結像光学系の結像面（所定面）に換算して位相変調素子１の位相変調単位に基づく位相分布の大きさは、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも小さいことが必要である。ここで、位相変調単位とは、例えば後述するセル型の場合は、セルの一番短い一辺の大きさであり、ピクセル型の場合は一辺の長さを表す。

【００４５】

以下、本実施形態で用いることのできる位相変調素子１の実施例について説明する。

図６（ａ）は、位相変調素子１の構成を概略的に示し、図６（ｂ）は、図６（ａ）に示した位相変調素子の個々のセルの面積占有率の変化を示している。図６（ａ）を参照すると、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも光学的に小さいサイズであって矩形状の波線により示した複数のセル２１を有する。また、それぞれの位相変調素子１は、斜線を施した第１の位相値φ１を有する第１領域２１ａと斜線を付加しない空白として示した第２の位相値φ２を有する第２領域２１ｂとを有する。

【００４６】

図６（ａ）に示すように、各セル２１内における位相値φ１（たとえば９０度）の第１領域２１ａと位相値φ２（たとえば０度）の第２領域２１ｂとの占有面積率がセル毎に変化している。換言すれば、位相値φ１の第１領域２１ａと位相値φ２の第２領域２１ｂとの占有面積率が位置によって変化する位相分布を有する。さらに具体的には、セル内における位相値φ２の第２領域２１ｂの占有面積は、最も左側に示されているセルにおいて最も大きく、最も右側に示されているセルにおいて最も小さく、その間において単調に変化している。従って、図６（ａ）に示した６つのセルからなる位相変調素子１においては、図６（ｂ）に示すように、個々のセルの位相値の異なる領域の大きさが連続して変化される。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。

【００４７】

以上のように、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも光学的に小さいサイズの位相変調単位（セル）２１に基づく位相分布を有する。従って、各位相変調単位２１における第１領域２１ａと第２領域２１ｂと占有面積率を、すなわち２つの位相ベクトルの和を適宜変化させることにより、被処理基板４（図１参照）上に形成される光強度分布を、所定の演算によって制御することが可能である。第１および第２の位相値φ１、φ２を有する位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを、第１および第２の位相値φ１、φ２が形成されるように選択することにより製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢ（Foucused Ion Beam）により形成することができる。

【００４８】

図７は、位相変調素子１の別の実施の形態を概略的に示す図である。図７を参照すると、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも光学的に小さい複数の矩形状のピクセル２２を有する。これらの複数のピクセル２２は、縦横に且つ稠密に配置され、各ピクセル２２はそれぞれ一定の位相値を有する。具体的には、斜線を施した第１の位相値φ１（たとえば９０度）を有する第１ピクセル２２ａと、斜線を付加しない空白として示した第２の位相値φ２（たとえば０度）を有する第２ピクセル２２ｂとを有する。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように用紙表面（手前側）から裏面

（奥側）方向に透過する。

【００４９】

図７に示すように、結像光学系３の点像分布範囲Ｒ（図３（ｂ）参照）に光学的に対応する単位範囲（破線の円Ｃで示す）当りの同一位相値のピクセル数が単位範囲毎に変化している。換言すれば、図７に示す位相変調素子１は、図６（ａ）に示した位相変調素子と同様に、位相値φ１の第１領域としての第１ピクセル２２ａと位相値φ２の第２領域としての第２ピクセル２２ｂとの占有面積率が位置によって変化する位相分布を有する。

【００５０】

以上のように、図７に示した位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも光学的に小さいサイズの位相変調単位（ピクセル）２２に基づく位相分布を有する。従って、結像光学系３の点像分布範囲Ｒに光学的に対応する位相変調素子１における単位範囲Ｃにおける第１ピクセル２２ａと第２ピクセル２２ｂとの占有面積率を、すなわち複数の位相ベクトルの和を適宜変化させることにより、被処理基板４上に形成される光強度分布を、所定の演算によって制御することが可能である。

【００５１】

図８は、位相変調素子１のさらに別の実施の形態を概略的に示す図である。図８を参照すると、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒに対応する単位範囲Ｃの半径よりも光学的に小さい幅を有する複数の細長い三角形状に規定された帯状（短冊状）領域２３を有する。これらの複数の帯状（短冊状）領域２３は、図示のように稠密配置され、各短冊状領域２３はそれぞれ一定の位相値を有する。具体的には、斜線を施した第１の位相値φ１（たとえば９０度）を有する第１短冊状領域２３ａと、斜線を付加しない空白として示した第２の位相値φ２（たとえば０度）を有する第２短冊状領域２３ｂとを有する。

【００５２】

図８に示すように、各短冊状領域２３ａ、２３ｂの幅が長手方向（矢印ｘで示す）に沿って変化している。換言すれば、位相値φ１の第１領域としての第１短冊状領域２３ａと位相値φ２の第２領域としての第２短冊状領域２３ｂとの占有面積率が位置によって変化する位相分布を有する。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図８において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを第１および第２の位相値φ１、φ２が形成されるように選択することにより製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【００５３】

以上のように、図８に示した位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも光学的に小さい幅の位相変調単位（短冊状領域）に基づく位相分布を有する。従って、結像光学系３の点像分布範囲Ｒに光学的に対応する単位範囲Ｃにおける第１短冊状領域２３ａと第２短冊状領域２３ｂとの占有面積率を、すなわち複数の位相ベクトルの和を適宜変化させることにより、被処理基板４上に形成される光強度分布を所定の演算によって制御することが可能である。

【００５４】

図９（ａ）は、位相変調素子１のまたさらに別の実施の形態を概略的に示す図である。図９（ａ）を参照すると、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒ（図３（ｂ）、図７および図９（ａ）に「Ｃ」で示す）の半径よりも光学的に小さい幅のラインアンドスペースパターン２４を有する。なお、単にラインアンドスペースパターンと呼称する場合、一般に透過領域と非透過領域の組を示すが、本発明では、二種類の異なる位相の繰り返しに対してラインアンドスペースと表記する。

【００５５】

図９（ａ）においては、斜線を施した各ライン部２４ａは第１の位相値φ１（たとえば９０度）を有し、斜線を付加しない空白として示した各スペース部２４ｂは第２の位相値φ２（たとえば０度）を有し、互いに隣接するライン部２４ａの幅とスペース部２４ｂの

幅との比、すなわち第１の位相値φ１の部分と第２の位相値φ２の部分を一組としてピッチを示すとき、個々のピッチにおいて第１の位相値φ１の占める割合が矢印ｘ方向に沿って変化している。

【００５６】

具体的には、ラインアンドスペースパターン２４の中央においてデューティ比（ライン部２４ａの幅／ピッチ）が０％で、周辺に向かってデューティ比が５％ずつ線形的に増大し、両側ではデューティ比が５０％になっている。このように、図９（ａ）に示した位相変調素子においても前に説明した位相変調素子の実施の形態と同様に、位相値φ１の第１領域としてのライン部２４ａと位相値φ２の第２領域としてのスペース部２４ｂとの占有面積率が位置によって変化する位相分布を有する。

【００５７】

以上のように、図９（ａ）に示した位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも光学的に小さい幅の位相変調単位（ライン部またはスペース部）Ｃに基づく位相分布を有する。従って、結像光学系３の点像分布範囲Ｒに光学的に対応する単位範囲Ｃにおけるライン部２４ａとスペース部２４ｂとの占有面積率を、複数の位相ベクトルの和を適宜変化させることにより、被処理基板４（図１参照）上に形成される光強度分布を、所定の演算によって制御することが可能である。

【００５８】

具体的には、図９（ａ）に示したように、長手（矢印ｘ）方向の中央付近を、実質的に第２の位相値φ２とし、矢印ｘ方向の両端部に向けて次第に第１の位相値φ１の領域の比が増えるようにラインアンドスペースパターン２４を形成する。この場合、矢印ｚで示すように用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に位相変調素子１を透過する入射光は、図９（ｂ）に示すように、ラインアンドスペースパターン２４の中央に対応する中央位置において最も光強度が大きく、ラインアンドスペースパターン２４の両側に対応する両側位置において最も光強度が小さい凸型パターンの光強度分布を呈する。

【００５９】

実際には、ラインアンドスペースパターン２４は、矢印方向の両側に沿って繰り返し形成されているので、中央において光強度が最も小さく且つ周辺に向かって一次元的に且つほぼ線形的に光強度が増大するような凹型パターンの光強度分布、すなわち、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）パターンの光強度分布が得られる。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを第１および第２の位相値φ１、φ２が形成されるように選択することにより製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。なお、図９（ｂ）に示すような厳密に直線状の光強度分布を得るためには、位相値の異なる領域２４ａと２４ｂは、前に説明したように、デューティ比（ライン部２４ａの幅／ピッチ）を線形に増大するのではなく、式（１）に従って求めた非線形に増加するデューティー比（例えば、０％、５％、１１％、１８％、２８％、５０％の６ステップ）を用いることが望ましい。

【００６０】

ところで、図９（ｂ）に示したような凹型パターンを有する光強度のレーザ光を被処理基板４に照射した場合、光強度分布の底部（光強度の最も小さい部位）にほぼ対応する被処理基板４上の位置において結晶核が発生することが知られている。すなわち、非晶質から結晶への変化である結晶の成長（大粒径化）は、結晶核から周囲に向かう温度勾配に沿って、進む。被処理基板４に照射されるレーザ光の光強度が閾値α値以下の部分では半導体膜（Ｓｉ）は融けない（非晶質のまま）か、あるいは表面の一部が溶けるのみでポリシリコンの状態にとどまり（結晶成長せず）、閾値α値を越えたところから結晶成長が開始する。

【００６１】

従って、凹型パターンの光強度分布を採用してできるだけ大粒径の結晶を得るには、凹型パターンの光強度分布の底における光強度の値がこのα値よりもわずかに下回ることが

望ましい。換言すれば、大粒径の結晶を得るためのα値は、凹型パターンの光強度分布の底値よりわずかに大きい光強度が望ましい。すなわち、図９（ａ）に示した位相変調素子１を用いることで、図９（ｂ）に示すように、予め設定した任意の位置において光強度を最も小さくし（光強度分布の底部を作り）、光強度分布の底部から周辺に向かって光強度が増大するようなパターンの光強度分布を用いることで、結晶を結晶核からラテラル成長させることにより、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【００６２】

特に、凹型パターンの中でも周辺に向かって線形状に光強度が増大するようなＶ字型パターンの光強度分布では周囲に向かう温度勾配も線形状になるので、結晶の成長が途中で停止することなく、さらに大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。また、図９（ｂ）に示したように位相シフタを用いる従来技術とは異なり、余分な凹凸分布の光強度分布が発生しないため、上述したパターンの光強度分布を用いることにより、高い充填率で結晶粒をアレイ状に生成することができる。

【００６３】

なお、上述の図６（ａ）、図７および図８に示す位相分布を所定方向（占有面積率の変化方向）に沿って繰り返すことにより、図９（ｂ）に示すＶ字型パターンと類似の凹型パターンの光強度分布２４ｄを一軸方向に限らず、任意の方向に提供できる。その結果、図６（ａ）、図７および図８に示した位相変調素子を用いても、図９（ｂ）に示したと同様の凹型パターンの光強度分布２４ｄに基づいて結晶を結晶核からラテラル成長させることにより、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【００６４】

なお、図１０（ａ）に示すように、図９（ａ）に示した位相変調素子を矢印ｘ方向と直交する矢印ｙ方向に、位相値φ２の位置を所定量オフセットさせてマトリクス状とすることで、図１０（ｂ）に示すような面方向に凹凸分布が与えられた光強度分布を得ることができる。また、図１０（ａ）に示すようなマトリクスタイプの位相変調素子において、単位となる位相変調素子ブロックの一辺の大きさは、例えば矢印ｘ方向が１０μｍで、矢印ｙ方向が５μｍである。

【００６５】

図１１（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図１１（ａ）を参照すると、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒ（すなわち単位範囲Ｃ）の半径Ｒ／２よりも光学的に小さい複数の矩形状のピクセル２５を有する。これらの複数のピクセル２５は、縦横に且つ稠密に配置され、各ピクセル２５はそれぞれ一定の位相値を有し、位相値がピクセル２５毎に変化している。換言すれば、図１１（ａ）に示す位相変調素子１は、周期的な分割領域構造を有し、各分割領域（ピクセル）２５はそれぞれ一定の位相値を有し、位相値が分割領域毎に変化する位相分布を有する。

【００６６】

具体的には、第１の位相値φ１（たとえば９０度）を有する第１ピクセル２５ａと、第２の位相値φ２（たとえば６７．５度）を有する第２ピクセル２５ｂと、第３の位相値φ３（たとえば４５度）を有する第３ピクセル２５ｃと、第４の位相値φ４（たとえば２２．５度）を有する第４ピクセル２５ｄと、第５の位相値φ５（たとえば０度）を有する第５ピクセル２５ｅとを有する。また、第１～第５ピクセル２５ａ～２５ｅ以外のピクセルは等しい位相値（例えば０度）を有する。すなわち、図１１（ａ）に示した位相変調素子１においては、第５の位相値φ５が与えられた第５のピクセル２５ｅ側の領域において位相値の変化量が小さく、第１の位相値φ１が与えられた第１のピクセル２５ａ側の領域において位相値の変化量が大きく、その間において位相値の変化量が単調に変化している。従って、矢印ｚで示すように用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に位相変調素子１を透過した光の光強度は、図１１（ｂ）に示すように、第５のピクセル２５ｅ側で第１のピクセル２５ａ側よりも大きくなる。

【００６７】

以上のように、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒ（単位範囲Ｃ）の半

径Ｒ／２よりも光学的に小さいサイズの位相変調単位（ピクセル）２５に基づく位相分布を有し、その位相値の分布、すなわち複数の位相ベクトルの和を適宜変化させることにより、被処理基板４上に形成される光強度分布を所定の演算によって制御することが可能である。この位相変調素子１の製造は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより位相変調素子１を製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【００６８】

なお、上述の図１１（ａ）に示す位相分布を位相値の変化方向に沿って繰り返すことにより、図９（ｂ）に示すＶ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）パターンと類似の光強度分布をアレイ化することができる。その結果、凹型パターンの光強度分布に基づいて結晶を結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【００６９】

図１２（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図１２（ａ）を参照すると、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒ（単位範囲Ｃ）の半径Ｒ／２よりも光学的に小さい幅のラインアンドスペースパターン２６を有する。ここで、ラインアンドスペースパターン２６の全体に亘って、デューティ比（ライン部の幅／ピッチ）が５０％で一定である。しかしながら、斜線を施した各ライン部の位相値がライン部毎に変化している。

【００７０】

すなわち、ラインアンドスペースパターン２６の中央においてライン部２６ａの位相値φ１が最もスペース部の位相に近く、両側のライン部２６ｋの位相値φ１１が最もスペース部の位相と異なり、その間でライン部の位相値が単調に変化している。ラインアンドスペースパターン２６の各スペース部における位相値は一定である。具体的には、ライン部２６ａの位相値φ１は０度であり、ライン部２６ｂの位相値φ２は２５．９度であり、ライン部２６ｃの位相値φ３は３６．９度であり、ライン部２６ｄの位相値φ４は４５．６度であり、ライン部２６ｅの位相値φ５は５３．２度であり、ライン部２６ｆの位相値φ６は６０．０度である。

【００７１】

また、ライン部２６ｇの位相値φ７は６６．５度であり、ライン部２６ｈの位相値φ８は７２．６度であり、ライン部２６ｉの位相値φ９は７８．５度であり、ライン部２６ｊの位相値φ１０は８４．３度であり、ライン部２６ｋの位相値φ１１は９０．０度である。一方、各スペース部の位相値はすべて０度である。このように、周期的な分割領域構造を有し、各分割領域（ライン部またはスペース部）はそれぞれ一定の位相値を有し、位相値が分割領域毎に変化する位相分布を有する。

【００７２】

以上のように、位相変調素子１は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒの半径Ｒ／２よりも光学的に小さい幅の位相変調単位（ライン部またはスペース部）に基づく位相分布を有する。従って、結像光学系３の点像分布範囲Ｒよりも光学的に小さい単位範囲におけるライン部の位相値の分布を、複数の位相ベクトルの和を適宜変化させることにより、被処理基板４（図１参照）上に形成される光強度分布を、所定の演算によって制御することが可能である。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図１２（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより、容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【００７３】

また、上述の図１２（ａ）に示す位相分布を所定方向（位相値の変化方向）に沿って繰り返すことにより、図９（ｂ）に示すＶ字型パターンと類似の図１２（ｂ）に示す凹型パターンの光強度分布を得ることができ、結晶粒をアレイ状に生成することができる。その

結果、図１２（ａ）に示した凹型パターンの光強度分布に基づいて、結晶の結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【００７４】

図１３（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の実施の形態を説明する概略図である。図１３（ａ）を参照すると、位相変調素子１は、第１の位相分布を有し且つ位相の変化方向である矢印ｘ方向に沿って延びた第１帯状領域３１と、第２の位相分布を有し且つ位相の変化方向である第１帯状領域３１と概ね平行に、矢印ｘ方向に沿って延びた第２帯状領域３２とを有する。第１帯状領域３１と第２帯状領域３２とは、位相の変化方向に沿った境界線３３を挟んで隣接し、境界線３３上の局部領域において第１帯状領域３１側の平均位相値と第２帯状領域３２側の平均位相値とが実質的に異なっている。なお、図１３（ａ）において矢印３１ｘ、３２ｘで示す方向に直線状下り勾配の光強度特性は、例えば図９（ａ）や図１２（ａ）で示す位相分布により得ることができる。

【００７５】

第１帯状領域３１と第２帯状領域３２とは、対応して形成される光強度分布が互いにほぼ同じになるように構成されている。光強度分布の光強度の小さい部分に対応する境界線３３上の第１局部領域３４において、第１帯状領域３１側の平均位相値と第２帯状領域３２側の平均位相値とが実質的に異なる。一方、光強度分布の光強度の大きい部分に対応する境界線３３上の第２局部領域３５において第１帯状領域３１側の平均位相値φaveと第２帯状領域３２側の平均位相値φaveとがほぼ等しい。平均位相値φaveとは、

$$\phi ave = arg\left(\int_D E(x, y)\, dx\, dy\right)$$

である。ここで、Ｄは積分範囲であり、例えば点像分布範囲Ｒのうち境界線３３で仕切られた中心に近い側の範囲である。また、Ｅ（ｘ，ｙ）は、座標（ｘ，ｙ）における位相を持つ単位ベクトル、「ａｒｇ」は、ベクトルから位相を得る関数である。

【００７６】

図１３（ａ）に示した位相分布パターンを透過した光は、図１３（ｂ）に示すように、境界線３３から十分に離れた第１帯状領域３１および第２帯状領域３２において位相の変化方向に沿って、たとえばＶ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹型パターンの光強度分布１２０を呈する。図１３（ｃ）に示す境界線３３に沿った光強度分布は、境界線３３上の第１局部領域３４では第１帯状領域３１側の平均位相値と第２帯状領域３２側の平均位相値とが実質的に異なるので、図３（ｂ）～（ｆ）により前に説明した通り、第１局部領域３４に対応する領域に、光強度の小さい部分となる逆ピークパターン状の光強度の落ち込み１２１を生起させる。

【００７７】

しかしながら、境界線３３上の第２局部領域３５では第１帯状領域３１側の平均位相値と第２帯状領域３２側の平均位相値とがほぼ等しいので、光強度の大きい部分において第２局部領域３５による影響はほとんど発生しない。図１３（ａ）に示した位相パターンを有する位相変調素子においては、たとえばＶ字型（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹型パターンの光強度分布１２０と、この凹型パターンの光強度分布１２０で局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン１２１の光強度分布との合成光強度分布、すなわち凹型パターン１２０と局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン１２１の光強度分布が得られる。

【００７８】

凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布では、図９（ｂ）を用いて上述したα値が逆ピークパターンの光強度分布１２１と凹型パターンの光強度分布１２０との境目付近か、あるいは逆ピークパターンの光強度分布１２１の内側（光強度の低い方）へ位置されるように設定することが望ましい。光強度がα値となる位置を上述した位置（図１３（ａ）参照）に設定することにより、結晶成長の開始点を逆ピークパターン１２１を含む凹型パターンの光強度分布１２０の中心へ極力近づけることができ、その結果、大粒径の結晶粒を生成することが可能になる。

【００７９】

また、逆ピークパターン１２１の作用により、結晶核の形成位置すなわち結晶生成位置を二次元状の任意の位置に制御することができる。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図１３（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１の製造は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより位相変調素子１を製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【００８０】

また、図１３（ａ）に示した位相パターンを有する位相変調素子においては、２つの領域間の位相差、すなわち境界線３３上の第１局部領域３４における第１帯状領域３１側の平均位相値と第２帯状領域３２側の平均位相値との差によって、図１３（ｃ）を用いて説明したように、Ｖ字型（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）のパターンのうちの最も光強度が小さくなる位置に、逆ピークパターンの光強度分布１２１が形成される。このとき、第１局部領域は線状であるため、図１４に示すように、被処理基板４上に形成される低光強度領域３６の端部の角度が鋭角になり、結晶粒３７が非常に幅広く生成され易くなる。このことは、平均位相値の異なる境界線を有する位相変調素子において共通である。

【００８１】

図１５（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図１５（ａ）を参照すると、位相変調素子１の第１帯状領域３１を構成するラインアンドスペースパターンにおいても第２帯状領域３２を構成するラインアンドスペースパターンにおいても、その中央においてデューティ比（ライン部の幅／ピッチ）が０％で、左右の周辺方向に向かってデューティ比が５％ずつ線形的に増大し、両側ではデューティ比が５０％（合計１１ステップ）になっている。なお、図１５（ａ）に示した位相変調素子において、単位となる位相変調素子ブロックの一辺の大きさは、結像面に換算した値で例えば矢印ｘ方向が１０μｍで、矢印ｙ方向が５μｍである。

【００８２】

第１帯状領域３１のラインアンドスペースパターンは、斜線を施した各ライン部が第１の位相値φ１（たとえば９０度）を有し、斜線を付加しない空白として示した各スペース部が第２の位相値φ２（たとえば０度）を有する。一方、第２帯状領域３２のラインアンドスペースパターンは、斜線を施した各ライン部が第３の位相値φ３（たとえば－９０度）を有し、斜線を付加しない空白として示した各スペース部が第２の位相値φ２（たとえば０度）を有する位相分布である。すなわち、図１５（ａ）および（ｂ）に示した位相変調素子１は、中央から矢印ｘに沿って次第に位相値９０°の領域の面積が増える第１帯状領域３１と中央から矢印ｘに沿って次第に位相値－９０°の領域の面積が増える第２帯状領域３２が境界線３３に沿って接続された構造を有する。

【００８３】

このように、図１５（ａ）および（ｂ）に示した位相変調素子１においては、第１帯状領域３１と第２帯状領域３２とは、対応して形成される光強度分布が互いにほぼ同じになるように構成されている。光強度分布の光強度の小さい部分に対応する境界線３３上の第１局部領域３４において、第１帯状領域３１側の平均位相値（たとえば約４５度）と第２帯状領域３２側の平均位相値（たとえば約－４５度）とが実質的に異なる。一方、光強度分布の光強度の大きい部分に対応する境界線３３上の第２局部領域３５において第１帯状領域３１側の平均位相値（たとえば約０度）と第２帯状領域３２側の平均位相値（たとえば約０度）とがほぼ等しい。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図１５（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【００８４】

以上説明した通り、図１５（ａ）および（ｂ）に示した位相変調素子によれば、図１３

（ａ）により前に説明した位相変調素子と同様に、境界線３３から十分に離れた第１帯状領域３１および第２帯状領域３２においては位相の変化方向に沿って、図１５（ｂ）に示すような凹型パターンの光強度分布が得られる。

【００８５】

図１６（ａ）は、図１５（ａ）に示した位相変調素子において得られる光強度分布を等高線図で示した概略図であり、図１６（ｂ）は、図１６（ａ）の線Ａ－Ａに沿った光強度分布を、図１６（ｃ）は、図１６（ａ）の境界線Ｂ－Ｂに沿った光強度分布をそれぞれ示している。なお、結像光学系３（図３（ａ）参照）の像側開口数ＮＡを０．１３とし、照明シグマ値（照明系の開口数／結像光学系３の物体側開口数）を０．４３と設定している。

【００８６】

図１６（ｂ）に示す図１６（ａ）の線Ａ－Ａに沿った光強度分布と図１６（ｃ）に示す境界線３３に沿った図１６（ａ）の線Ｂ－Ｂに沿った光強度分布とを比較すると、第１局部領域３４に対応する光強度の小さい部分において逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成されていることがわかる。すなわち、図１５（ａ）に示した位相値パターンを有する位相変調素子を用いて被処理基板にレーザ光を照射することにより、結晶化に適した凹型パターンと光強度が閾値αよりも小さな逆ピークパターンの光強度分布が実際に得られていることがわかる。

【００８７】

図１７（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図１７（ａ）を参照すると、位相変調素子１の第１帯状領域３１を構成するラインアンドスペースパターンにおいても第２帯状領域３２を構成するラインアンドスペースパターンにおいても、その全体に亘ってデューティ比（ライン部の幅／ピッチ）が５０％（合計１１ステップ）で一定である。

【００８８】

第１帯状領域３１のラインアンドスペースパターンでは、その中央においてライン部の位相値φ１が最もスペース部の位相に近く、両側のライン部の位相値φ１１が最もスペース部の位相と異なり、その間でライン部の位相値が単調に変化している。具体的には、位相値φ１は０度であり、位相値φ２は２５．９度であり、位相値φ３は３６．９度であり、位相値φ４は４５．６度であり、位相値φ５は５３．２度であり、位相値φ６は６０．０度であり、位相値φ７は６６．５度であり、位相値φ８は７２．６度であり、位相値φ９は７８．５度であり、位相値φ１０は８４．３度であり、位相値φ１１は９０．０度である。

【００８９】

一方、第２帯状領域３２のラインアンドスペースパターンでは、その中央においてライン部の位相値φ－１が最もスペース部の位相に近く、両側のライン部の位相値φ－１１が最もスペース部の位相と異なり、その間でライン部の位相値が単調に変化している。具体的には、位相値φ－１は０度であり、位相値φ－２は－２５．９度であり、位相値φ－３は－３６．９度であり、位相値φ－４は－４５．６度であり、位相値φ－５は－５３．２度であり、位相値φ－６は－６０．０度であり、位相値φ－７は－６６．５度であり、位相値φ－８は－７２．６度であり、位相値φ－９は－７８．５度であり、位相値φ－１０は－８４．３度であり、位相値φ－１１は－９０．０度である。ただし、第１帯状領域３１を構成するラインアンドスペースパターンにおいても第２帯状領域３２を構成するラインアンドスペースパターンにおいても、各スペース部の位相値はすべて０度である。なお、図１７（ａ）に示した位相変調素子において、単位となる位相変調素子ブロックの一辺の大きさは、結像面に換算した値で例えば矢印ｘ方向が１０μｍで、矢印ｙ方向が５μｍである。

【００９０】

図１７（ａ）および（ｂ）に示した位相変調素子においては、第１帯状領域３１と第２帯状領域３２とは、対応して形成される光強度分布が互いにほぼ同じになるように構成さ

れている。この位相変調素子においては、光強度分布の光強度の小さい部分に対応する境界線３３上の第１局部領域３４において、第１帯状領域３１側の平均位相値（たとえば約４５度）と第２帯状領域３２側の平均位相値（たとえば約－４５度）とが実質的に異なる。一方、光強度分布の光強度の大きい部分に対応する境界線３３上の第２局部領域３５において第１帯状領域３１側の平均位相値（たとえば約０度）と第２帯状領域３２側の平均位相値（たとえば約０度）とがほぼ等しい。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図１７（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１の製造は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより位相変調素子１を製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【００９１】

以上説明した通り、図１７（ａ）および（ｂ）に示した位相変調素子によれば、図１３（ａ）により前に説明した位相変調素子と同様に、境界線３３から十分に離れた第１帯状領域３１および第２帯状領域３２において位相の変化方向に沿って、図１３（ｂ）に示すような凹型パターンの光強度分布が得られる。また、境界線３３に沿って、図１３（ｃ）に示すように、第１局部領域３４に対応する光強度の小さい逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。その結果、結晶化に適した凹型パターンと光強度が閾値αよりも小さな逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。

【００９２】

図１８（ａ）は、図１７（ａ）に示した位相変調素子において得られる光強度分布を等高線図を、図１８（ｂ）は図１８（ａ）の線Ａ－Ａに沿った光強度分布を、図１８（ｃ）は図１８（ａ）の境界線Ｂ－Ｂに沿った光強度分布をそれぞれ示している。なお、結像光学系３の像側開口数ＮＡを０．１３とし、照明シグマ値を０．４３と設定している。

【００９３】

図１８（ｂ）に示す図１８（ａ）の線Ａ－Ａに沿った光強度分布と図１８（ｃ）に示す境界線３３に沿った図１８（ａ）の線Ｂ－Ｂに沿った光強度分布とを比較すると、第１局部領域３４に対応する光強度の小さい部分において逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成されていることがわかる。すなわち、図１７（ａ）に示した位相値パターンを有する位相変調素子を用いて被処理基板にレーザ光を照射することにより、結晶化に適した凹型パターンと光強度が閾値αよりも小さな逆ピークパターンの光強度分布が実際に得られていることがわかる。

【００９４】

図１９（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図１９（ａ）を参照すると、位相変調素子１は、所定の位相分布を有し且つ位相の変化方向である矢印ｘ方向に沿って延びた帯状領域４１と、帯状領域４１の作用により形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して、周囲とは実質的に異なる位相値を有する孤立領域４２が設けられている。孤立領域４２は、結像光学系３の点像分布範囲Ｒに光学的に対応する単位範囲Ｃの半径よりも光学的に小さいサイズで位相差が大の領域である。

【００９５】

図１９（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた領域を通過する光の光強度は、図１９（ｂ）に示すように、位相の変化方向に沿って、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた位置の光強度を最小値とし、孤立領域４２相互間の中間位置付近の光強度を最大値とし、矢印ｘで示す方向に直線的に下り勾配（孤立領域４２の中間位置で光強度が最大で孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置に向けて次第に光強度が減少する特性）で変化する。換言すると、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹型パターンの光強度分布が得られる。

【００９６】

図１９（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、孤立領域４２を通る矢印ｘ方向の

光の光強度は、図１９（ｃ）に示すように、（孤立領域４２の位相値とその周囲の位相値とが実質的に異なるので、）孤立領域４２の作用により孤立領域４２に対応する光強度の小さい部分において局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。

【００９７】

図１９（ｂ）に示すＶ字型光分布パターンを得るための位相変調素子１の位相分布は、例えば図９（ａ）や図１２（ａ）に示すパターンにすればよい。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図１９（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１の製造は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより位相変調素子１を製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【００９８】

以上説明したように、図１９（ａ）に示した位相変調素子を用いることにより、たとえばＶ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹型パターンの光強度分布１８１と、この凹型パターンの光強度分布１８１で光強度の小さい部分における局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布１８２との合成光強度分布、すなわち図１９（ｃ）に示す凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの合成光強度分布１８３が得られる。

【００９９】

その結果、結晶成長の開始点を局所的に光強度の小さい部分の光強度分布の中心へ極力近づけて大粒径の結晶粒を生成することが可能になるとともに、結晶生成位置を二次元状の任意の位置に制御することができる。また、局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン１８２を例えば種結晶位置に位置合わせして結晶化することにより、大粒径のラテラル成長した結晶化を行うこともできる。孤立領域４２は、方形状に限らず円形状三角形状など何れでもよい。

【０１００】

図２０（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図２０（ａ）を参照すると、位相変調素子１の帯状領域４１を構成するラインアンドスペースパターンでは、その中央においてデューティ比（ライン部の幅／ピッチ）が１００％で、周辺に向かってデューティ比が５％ずつ線形的に減少し、両側ではデューティ比が５０％になっている。

【０１０１】

図２０（ａ）に示す位相変調素子は、斜線を施した各ライン部が第１の位相値φ１（たとえば９０度）を有し、斜線を付加しない空白として示した各スペース部が第２の位相値φ２（たとえば０度）を有し、孤立領域４２が第３の位相値φ３（たとえば２２５度）を有する。図２０（ａ）から明らかなように、孤立領域４２が、帯状領域４１の作用により形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して配置され、周囲とは実質的に異なる位相値を有する。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図２０（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【０１０２】

図２０（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた領域を通過する光の光強度は、位相の変化方向に沿って、図２０（ｂ）に示すように、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた位置の光強度を最小値とし、孤立領域４２相互間の中間位置付近の光強度を最大値とし、矢印ｘで示す方向に直線的に下り勾配（孤立領域４２の中間位置で光強度が最大で孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置に向けて次第に光強度が減少する特性）で変化する。すなわち、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）

形態を有する凹型パターンの光強度分布が得られる。また、孤立領域４２を含む断面に沿って、図２０（ｃ）に示すように、孤立領域４２に対応する光強度の小さい部分において局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。その結果、結晶化に適した凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。

【０１０３】

図２１（ａ）は、図２０（ａ）に示した位相変調素子において得られる光強度分布の等高線図を、図２１（ｂ）は図２１（ａ）の線Ａ－Ａに沿った光強度分布を、図２１（ｃ）は図２１（ａ）の線Ｂ－Ｂに沿った光強度分布をそれぞれ示している。なお、結像光学系３の像側開口数ＮＡを０．１３とし、照明シグマ値を０．４３と設定している。

【０１０４】

図２１（ｂ）に示す図２１（ａ）の線Ａ－Ａに沿った光強度分布と図２１（ｃ）に示す孤立領域４２を含む断面に沿った図２１（ａ）の線Ｂ－Ｂに沿った光強度分布とを比較すると、孤立領域４２に対応する光強度の小さい部分において局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成されていることがわかる。すなわち、図２１（ａ）に示した位相値パターンを有する位相変調素子を用いて被処理基板にレーザ光を照射することにより、結晶化に適した凹型パターンと光強度が閾値αよりも小さな逆ピークパターンの光強度分布が実際に得られていることがわかる。

【０１０５】

図２２（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図２２（ａ）を参照すると、位相変調素子１の第１帯状領域３１を構成するパターンは、斜線を施した矩形状の領域が例えば９０度の位相値を有し、斜線を付加しない空白として示した領域が例えば０度の位相値を有する。一方、第２帯状領域３２を構成するパターンは、斜線を施した矩形状の領域が例えば－９０度の位相値を有し、斜線を付加しない空白として示した領域が例えば０度の位相値を有する。

【０１０６】

第１帯状領域３１と第２帯状領域３２とは、対応して形成される光強度分布が互いにほぼ同じになるように構成されている。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図２２（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを第１および第２の位相値φ１、φ２が形成されるように選択することにより容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【０１０７】

図２２（ａ）に示した位相変調素子においては、光強度分布の光強度の小さい部分に対応する境界線３３上に定義される第１局部領域３４において、第１帯状領域３１側の平均位相値（たとえば約４５度）と第２帯状領域３２側の平均位相値（たとえば約－４５度）とが実質的に異なる。一方、光強度分布の光強度の大きい部分に対応する境界線３３上に定義される第２局部領域３５において、第１帯状領域３１側の平均位相値（たとえば約０度）と第２帯状領域３２側の平均位相値（たとえば約０度）とがほぼ等しい。

【０１０８】

図２２（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、境界線３３から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた領域（Ａ－Ａ線に沿う断面）を通過する光の光強度は、図２２（ｂ）に示すように、第２局部領域３５から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置の光強度を最大値とし、第１局部領域３４から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置の光強度を最小値とし、矢印ｘで示す方向に直線的に下り勾配（第２局部領域３５から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置で光強度が最大で第１局部領域３４から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置に向けて次第に光強度が減少する特性）で変化する。すなわち、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹パターンの光強度分布が得られる。また、境界線３３すなわち第１局部領域３４と第２局部領域３５を含む断面に沿って通過する光の光強度は、図２２（ｃ）に示すように、第２局部領域３５

に対応する領域において最大値をとり、第１局部領域３４に対応する領域において最小値をとる。なお、第１局部領域３４に対応する領域においては、局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。すなわち、結晶化に適した凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。

【０１０９】

図２３（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図２３（ａ）を参照すると、位相変調素子１の帯状領域４１を構成するパターンは、斜線を施した矩形状の領域が例えば９０度の位相値を有し、斜線を付加しない空白として示した領域が例えば０度の位相値を有する。また、帯状領域４１の作用により形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して、周囲とは実質的に異なる位相値（例えば２２５度）を有する孤立領域４２が設けられている。図２３（ａ）から明らかなように、孤立領域４２が、帯状領域４１の作用により形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して配置され、周囲とは実質的に異なる位相値を有する。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図２３（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【０１１０】

図２３（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた領域を通過する光の光強度は、位相の変化方向に沿って、図２３（ｂ）に示すように、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた位置の光強度を最小値とし、孤立領域４２相互間の中間位置付近の光強度を最大値とし、矢印ｘで示す方向に直線的に下り勾配（孤立領域４２の中間位置で光強度が最大で孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置に向けて次第に光強度が減少する特性）で変化する。すなわち、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹型パターンの光強度分布が得られる。また、孤立領域４２を含む断面に沿って、図２３（ｃ）に示すように、孤立領域４２に対応する光強度の小さい部分において局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。その結果、結晶化に適した凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。

【０１１１】

図２４（ａ）は、発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図２４（ａ）を参照すると、位相変調素子１の帯状領域４１を構成するパターンは、斜線を施したライン部が例えば９０度の位相値を有し、斜線を付加しない空白として示したスペース部が例えば０度の位相値を有し、帯状領域４１の作用により形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して、周囲とは実質的に異なる位相値（例えば２２５度）を有する孤立領域４２が設けられている。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図２４（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【０１１２】

図２４（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた領域を通過する光の光強度は、位相の変化方向に沿って、図２４（ｂ）に示すように、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた位置の光強度を最小値とし、孤立領域４２相互間の中間位置付近の光強度を最大値とし、矢印ｘで示す方向に直線的に下り勾配（孤立領域４２の中間位置で光強度が最大で孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置に向けて次第に光強度が減少する特性）で変化する。すなわち、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）

形態を有する凹型パターンの光強度分布が得られる。また、孤立領域４２を含む断面に沿って、図２４（ｃ）に示すように、孤立領域４２に対応する光強度の小さい部分において局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。その結果、結晶化に適した凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。

【０１１３】

図２５（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図２５（ａ）を参照すると、位相変調素子１の帯状領域４１を構成するパターンは、斜線を施したライン部の位相値が例えば０度～９０度の間でライン部毎に変化し、斜線を付加しない空白として示したスペース部が例えば０度の位相値を有する。なお、帯状領域４１の作用により形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して、周囲とは実質的に異なる位相値（例えば２２５度）を有する孤立領域４２が設けられている。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図２５（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを所望の位相値分布が形成されるように選択することにより容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【０１１４】

図２５（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた領域を通過する光の光強度は、位相の変化方向に沿って、図２５（ｂ）に示すように、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた位置の光強度を最小値とし、孤立領域４２相互間の中間位置付近の光強度を最大値とし、矢印ｘで示す方向に直線的に下り勾配（孤立領域４２の中間位置で光強度が最大で孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置に向けて次第に光強度が減少する特性）で変化する。すなわち、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹型パターンの光強度分布が得られる。また、孤立領域４２を含む断面に沿って、図２５（ｃ）に示すように、孤立領域４２に対応する光強度の小さい部分において局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。その結果、結晶化に適した凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。

【０１１５】

図２６（ａ）は、本発明の位相変調素子のさらにまた別の構成を概略的に示す図である。図２６（ａ）を参照すると、位相変調素子１の帯状領域４１を構成するパターンは、斜線を施した短冊状領域の位相値が例えば９０度の位相値を有し、斜線を付加しない空白として示した領域が例えば０度の位相値を有し、帯状領域４１の作用により形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して、周囲とは実質的に異なる位相値（例えば２２５度）を有する孤立領域４２が設けられている。位相変調素子１への入射光は、矢印ｚで示すように図２６（ａ）において、用紙表面（手前側）から裏面（奥側）方向に透過する。この位相変調素子１は、例えば石英ガラスに厚さを第１および第２の位相値φ１、φ２が形成されるように選択することにより容易に製造することができる。石英ガラスの厚さの変化は、選択エッチングやＦＩＢにより形成することができる。

【０１１６】

図２６（ａ）に示した位相変調素子を用いることで、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた領域を通過する光の光強度は、位相の変化方向に沿って、図２６（ｂ）に示すように、孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定の距離だけ離れた位置の光強度を最小値とし、孤立領域４２相互間の中間位置付近の光強度を最大値とし、矢印ｘで示す方向に直線的に下り勾配（孤立領域４２の中間位置で光強度が最大で孤立領域４２から矢印ｙ方向に所定距離だけ離れた位置に向けて次第に光強度が減少する特性）で変化する。すなわち、Ｖ字型の（アルファベットのＶと逆さまにしたＶが交互に並んだようなジグザグ）形態を有する凹型パターンの光強度分布が得られる。また、孤立領域４２を含む断面に沿って、図２６（ｃ）に示すように、孤立領域４２に対応する光強度の小さい部分において

局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターン状の光強度の落ち込みが形成される。その結果、結晶化に適した凹型パターンと局所的に光強度の小さい部分を含む逆ピークパターンの光強度分布を得ることができる。

【０１１７】

なお、以上説明した様々な実施の形態においては、位相変調素子１は有限個の位相値をとる場合を示したが、位相値は連続的に変化してもよい。たとえば、今まで述べた実施例における位相変調素子１の段差のついた分布を、任意の方法により補間処理を行い滑らかにした曲面に置き換えても同等の効果が得られる。また、位相変調素子１は、通常の位相シフトマスクの作製技術を用いて、位相値に対応する凹凸形状により実現できる。また、凹凸形状以外に材料の屈折率の分布により実現してもよい。また、液晶素子やマイクロミラーデバイスの様な位相変調量を可変できる位相変調素子１を実現しても良い。

【０１１８】

また、上述の実施形態において、光強度分布は設計の段階でも計算できるが、実際の被処理面での光強度分布を観察して確認しておくことが望ましい。そのためには、被処理基板４の被処理面を光学系で拡大し、ＣＣＤなどの撮像素子で入力すれば良い。なお、使用光が紫外線の場合は、ＣＣＤ素子等を含む光学系が感度や光電変換効率の面で制約を受けることがあるため、観察時のみ被処理面に蛍光板を設けて可視光に変換しても良い。また、上述の実施形態では、位相変調素子１について具体的な構成例を例示したが、位相変調素子１の構成については本発明の範囲内において様々な変形例が可能である。

【０１１９】

図２７（ａ）～（ｅ）は、本実施形態の結晶化装置を用いて結晶化された領域（被処理面）に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２７（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_2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）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４を準備する。

【０１２０】

続いて、図１に示す結晶化装置を用いて、前に説明した様々な形態の位相変調素子１、例えば図１０（ａ）に示す位相変調素子１を介して非晶質半導体膜８２の表面の一部もしくは全部例えば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。従って、図２７（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、図２７（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体膜８５に加工し、表面にゲート絶縁膜８６として膜厚２０ｎｍ～１００ｎｍの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。

【０１２１】

さらに、図２７（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、図示しないが、窒素雰囲気（例えば、４５０°Ｃで１時間）でアニール処理を行い、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２７（ｅ）に示すように、例えば層間絶縁膜８９を成膜してコンタクト穴をあけ、チャネル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。

【０１２２】

以上の工程において、図２７（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（Ｔ

ＦＴ）を形成することができる。図２７に示した工程により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。

【０１２３】

次に、本実施形態の結晶化装置を用いて結晶化された領域を含む基材を表示装置、例えば液晶表示装置に適用した実施形態を説明する。

以下、ＴＦＴを備えた表示装置の形成方法について説明する。図２８および図２９は、表示装置２２０、例えばアクティブマトリックス型の液晶表示装置を示している。以下、表示装置２２０を液晶表示装置という。

【０１２４】

まず、液晶表示装置２２０について説明する。液晶表示装置２２０は、前後一対の透明基体２２１、２２２、液晶層２２３、画素電極２２４、走査配線２２５、信号配線２２６、対向電極２２７、およびＴＦＴ２３０等を備えている。一対の透明基体２２１、２２２としては、例えば一対のガラス板を用いることができる。これら透明基体２２１、２２２は、図示しない枠状のシール材を介して接合されている。液晶層２２３は、一対の透明基体２２１、２２２の間のシール材により囲まれた領域に設けられている。

【０１２５】

一対の透明基体２２１、２２２のうちの一方の透明基体、例えば後側の透明基体２２２の内面には、行方向および列方向にマトリックス状に設けられた複数の画素電極２２４と、複数の画素電極２２４と夫々電気的に接続された複数のＴＦＴ２３０と、複数のＴＦＴ２３０と電気的に接続された走査配線２２５および信号配線２２６とが設けられている。走査配線２２５は、画素電極２２４の行方向に夫々沿わせて設けられている。これら走査配線２２５の一端は、後側の透明基体２２２の一側縁部に設けられた複数の走査配線端子（図示せず）に夫々接続されている。複数の走査配線端子は夫々走査線駆動回路２４１に接続されている。

【０１２６】

一方、信号配線２２６は、画素電極２４の列方向に夫々沿わせて設けられている。これら信号配線２２６の一端は、後側の透明基体２２２の一端縁部に設けられた複数の信号配線２２６端子（図示せず）に夫々接続されている。複数の信号配線２２６端子は、それぞれ、信号線駆動回路２４２に接続されている。走査線駆動回路２４１および信号線駆動回路２４２は夫々液晶コントローラ２４３に接続されている。液晶コントローラ２４３は、例えば外部から供給される画像信号および同期信号を受け取り、画素映像信号Ｖpix、垂直走査制御信号ＹＣＴ、および水平走査制御信号ＸＣＴを発生する。

【０１２７】

他方の透明基体である前側の透明基体２２１の内面には、複数の画素電極２２４に対向する一枚膜状の透明な対向電極２２７が設けられている。また、前側の透明基体２２１の内面には、複数の画素電極２２４と対向電極２２７とが互いに対向する複数の画素部に対応させてカラーフィルタを設けるとともに、前記画素部の間の領域に対応させて遮光膜を設けてもよい。一対の透明基体２２１、２２２の外側には、図示しない偏光板が設けられている。また、透過型の液晶表示装置２２０では、後側の透明基体２２２の後側に図示しない面光源が設けられている。なお、液晶表示装置２２０は、反射型或いは半透過反射型であってもよい。

【０１２８】

以上説明したように、この発明の結晶化装置および結晶化方法では、位相変調素子が結像光学系の点像分布範囲Ｒの半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有するので、結像光学系の点像分布範囲Ｒに光学的に対応する単位範囲における複数の単位ベクトルの組み合わせを適宜変化させることにより、形成される光強度分布を解析的に且つ簡単な計算に従って制御することが可能である。その結果、本発明では、たとえば中央において光強度が最も小さく且つ周辺に向かって光強度が増大するような凹型パターン

の光強度分布に基づいて、結晶の結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【０１２９】

一例を示すと、位相変調素子と、位相変調素子を照明するための照明系と、位相変調素子と多結晶半導体膜または非晶質半導体膜との間の光路中に配置された結像光学系とを備え、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有し、多結晶半導体膜または非晶質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ことを特徴とする結晶化装置を提供する。この構成では、位相変調素子が結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有するので、結像光学系の点像分布範囲に光学的に対応する単位範囲における複数の単位ベクトルの組み合わせを適宜変化させることにより、形成される光強度分布を解析的に且つ簡単な計算に従って制御することが可能である。たとえば中央において光強度が最も小さく且つ周辺に向かって光強度が増大するような凹型パターンの光強度分布に基づいて、結晶を結晶核からのラテラル成長させることにより、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【０１３０】

またこの発明によれば、位相変調素子と、位相変調素子を照明するための照明系と、位相変調素子と所定面との間の光路中に配置された結像光学系とを備え、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有し、所定面において所定の光強度分布を形成することを特徴とする装置を提供する。この場合、結晶化装置以外の適当な装置においても、所定面に形成される光強度分布を解析的に且つ簡単な計算に従って制御することが可能である。

【０１３１】

すなわち、位相変調素子は、第１の位相値を有する第１領域と第２の位相値を有する第２領域との占有面積率が位置によって変化する位相分布を有する。この場合、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい複数のセルを有し、各セル内における第１領域と第２領域との占有面積率がセル毎に変化することが好ましい。あるいは、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい複数のピクセルを有し、各ピクセルはそれぞれ一定の位相値を有し、点像分布範囲に光学的に対応する単位範囲当りの同一位相値のピクセル数が単位範囲毎に変化することが好ましい。あるいは、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい幅を有する複数の短冊状領域を有し、各短冊状領域はそれぞれ一定の位相値を有し、各短冊状領域の幅が長手方向に沿って変化することが好ましい。あるいは、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい幅のラインアンドスペースパターンを有し、各ライン部は第１の位相値を有し、各スペース部は第２の位相値を有し、互いに隣接するライン部の幅とスペース部の幅との比が幅方向に沿って変化することが好ましい。また、位相変調素子は、周期的な分割領域構造を有し、各分割領域はそれぞれ一定の位相値を有し、位相値が分割領域毎に変化する位相分布を有する。この場合、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい複数のピクセルを有し、各ピクセルはそれぞれ一定の位相値を有し、位相値がピクセル毎に変化することが好ましい。あるいは、位相変調素子は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい幅のラインアンドスペースパターンを有し、位相値がライン部毎に変化することが好ましい。また、位相変調素子は、第１の位相分布を有し且つ位相の変化方向に沿って延びた第１帯状領域と、第２の位相分布を有し且つ位相の変化方向に沿って延びた第２帯状領域とを有し、第１帯状領域と第２帯状領域とは位相の変化方向に沿った境界線を挟んで隣接し、境界線上の局部領域において第１帯状領域側の平均位相値と第２帯状領域側の平均位相値とが実質的に異なる。

【０１３２】

この場合、第１帯状領域と第２帯状領域とは、対応して形成される光強度分布が互いにほぼ同じになるように構成され、光強度分布の光強度の小さい部分に対応する境界線上の

第１局部領域において第１帯状領域側の平均位相値と第２帯状領域側の平均位相値とが実質的に異なり、光強度分布の光強度の大きい部分に対応する境界線上の第２局部領域において第１帯状領域側の平均位相値と第２帯状領域側の平均位相値とがほぼ等しいことが好ましい。また、第１帯状領域および第２帯状領域は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい幅のラインアンドスペースパターンを有し、各ライン部は第１の位相値を有し、各スペース部は第２の位相値を有し、互いに隣接するライン部の幅とスペース部の幅との比が幅方向に沿って変化することが好ましい。あるいは、第１帯状領域および第２帯状領域は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい幅のラインアンドスペースパターンを有し、位相値がライン部毎に変化することが好ましい。また、位相変調素子は、形成される光強度分布の光強度の小さい部分に対応して、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さく且つ周囲とは実質的に異なる位相値を有する孤立領域を備えている。また、第１形態または第２形態では、所定の光強度分布は、第１の光強度を有する中心領域から周辺に向かって光強度が増大する凹型パターンの光強度分布を有することが好ましい。この場合、凹型パターンの光強度分布は、中心領域から周辺に向かって光強度が一次元的に増大する分布を有することが好ましい。また、所定の光強度分布は、凹型パターンの光強度分布の中心領域の近傍において、第１の光強度よりも実質的に小さい第２の光強度を有する第２中心領域から周辺に向かって光強度が急激に増大する逆ピークパターンの光強度分布を有することが好ましい。

【０１３３】

さらに本発明は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子を照明し、位相変調素子と多結晶半導体膜または非晶質半導体膜との間の光路中に配置された結像光学系を介して、多結晶半導体膜または非晶質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ことを特徴とする結晶化方法を提供する。この場合も結晶化装置の場合と同様に、形成される光強度分布を解析的に且つ簡単な計算に従って制御することが可能である。その結果、たとえば結晶化に適した所望の凹型パターンの光強度分布に基づいて、結晶を結晶核からラテラル成長させることにより、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【０１３４】

またさらに本発明は、結像光学系の点像分布範囲の半径よりも光学的に小さい位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子を照明し、位相変調素子と所定面との間の光路中に配置された結像光学系を介して、所定面において所定の光強度分布を形成することを特徴とする方法を提供する。この場合、結晶化方法以外の適当な方法においても、所定面に形成される光強度分布を解析的に且つ簡単な計算に従って制御することが可能である。

【０１３５】

さらにまた本発明は、所定の大きさの位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子であって、第１の位相値を有する第１領域と第２の位相値を有する第２領域との占有面積率が位置によって変化する位相分布を有することを特徴とする位相変調素子を提供する。この位相変調素子を例えば結晶化装置に適用することにより、結晶化に適した所望の凹型パターンの光強度分布を形成することができる。その結果、所望の凹型パターンの光強度分布に基づいて、結晶を結晶核からラテラル成長させることにより、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【０１３６】

またさらに本発明は、複数のセルを有し、各セル内における第１領域と第２領域との占有面積率がセル毎に変化することが好ましい。あるいは、複数のピクセルを有し、各ピクセルはそれぞれ一定の位相値を有し、点像分布範囲に光学的に対応する単位範囲当りの同一位相値のピクセル数が単位範囲毎に変化することが好ましい。あるいは、複数の短冊状領域を有し、各短冊状領域はそれぞれ一定の位相値を有し、各短冊状領域の幅が長手方向に沿って変化することが好ましい。あるいは、ラインアンドスペースパターンを有し、各ライン部は第１の位相値を有し、各スペース部は第２の位相値を有し、互いに隣接するラ

イン部の幅とスペース部の幅との比が幅方向に沿って変化することが好ましい。

【０１３７】

さらにまた本発明は、所定の大きさの位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子であって、周期的な分割領域構造を有し、各分割領域はそれぞれ一定の位相値を有し、位相値が分割領域毎に変化する位相分布を有することを特徴とする位相変調素子を提供する。この場合も、例えば結晶化装置に適用することにより、結晶化に適した所望の凹型パターンの光強度分布を形成することができ、結晶を結晶核からラテラル成長させることにより、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【０１３８】

またさらに本発明は、複数のピクセルを有し、各ピクセルはそれぞれ一定の位相値を有し、位相値がピクセル毎に変化する。あるいは、ラインアンドスペースパターンを有し、位相値がライン部毎に変化することが好ましい。

【０１３９】

さらにまた本発明は、所定の大きさの位相変調単位に基づく位相分布を有する位相変調素子であって、第１の位相分布を有し且つ位相の変化方向に沿って延びた第１帯状領域と、第２の位相分布を有し且つ位相の変化方向に沿って延びた第２帯状領域とを有し、第１帯状領域と第２帯状領域とは位相の変化方向に沿った境界線を挟んで隣接し、境界線上の局部領域において第１帯状領域側の平均位相値と第２帯状領域側の平均位相値とが実質的に異なることを特徴とする位相変調素子を提供する。この場合、例えば結晶化装置に適用することにより、結晶化に適した所望の凹型パターン＋逆ピークパターンの光強度分布を形成することができ、結晶を結晶核からラテラル成長させることにより、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【０１４０】

また、第１帯状領域と第２帯状領域とは、対応して形成される光強度分布が互いにほぼ同じになるように構成され、光強度分布の光強度の小さい部分に対応する境界線上の第１局部領域において第１帯状領域側の平均位相値と第２帯状領域側の平均位相値とが実質的に異なり、光強度分布の光強度の大きい部分に対応する境界線上の第２局部領域において第１帯状領域側の平均位相値と第２帯状領域側の平均位相値とがほぼ等しい。また、第１帯状領域および第２帯状領域は、ラインアンドスペースパターンを有し、各ライン部は第１の位相値を有し、各スペース部は第２の位相値を有し、互いに隣接するライン部の幅とスペース部の幅との比が幅方向に沿って変化することが好ましい。あるいは、第１帯状領域および第２帯状領域は、ラインアンドスペースパターンを有し、位相値がライン部毎に変化することが好ましい。

【０１４１】

なお、本発明のいずれかの実施の形態の位相変調素子を用いて製造された被処理膜すなわち基材は、結晶の結晶核からのラテラルの所定の大きさに結晶が成長されていることから、その基材を用いて構成される電子デバイスは良好な半導体特性を示す。また、同基材を、例えば液晶表示パネルに用いることで、動作の安定な表示装置が得られる。

【０１４２】

なお、この発明は、各実施の形態に限定されるものではなく、その実施の段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々な変形もしくは変更が可能である。また、各実施の形態は、可能な限り適宜組み合わせて実施されてもよく、その場合、組み合わせによる効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【０１４３】

【図１】本発明の実施形態にかかる結晶化装置の構成の一例を説明する概略図。

【図２】図１に示した結晶化装置の照明系の内部構成の一例を説明する概略図。

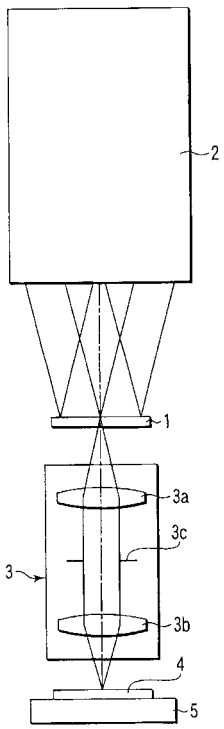
【図３】本発明の基本原理を説明する概略図。

【図４】図１で説明した点像分布範囲内での位相の変化と光強度との関係を説明する概略図。

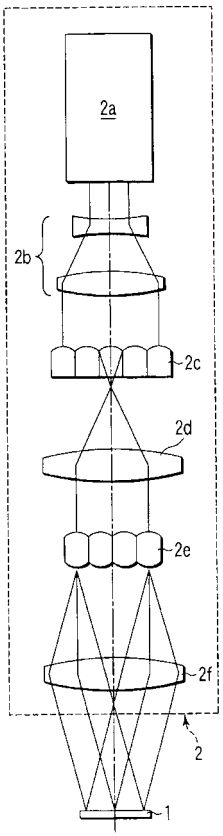
【図５】図１に示した結晶化装置の結像光学系における瞳関数と点像分布関数との関係を説明する概略図。
【図６】本発明の位相変調素子の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）個々のセルの面積占有率の変化の一例を示す。
【図７】本発明の位相変調素子の別の実施の形態を説明する概略図。
【図８】本発明の位相変調素子のさらに別の実施の形態を説明する概略図。
【図９】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、その位相変調素子により提供される光強度分布を示す。
【図１０】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、図９（ａ）の位相変調素子を矢印ｘ方向と直交する矢印ｙ方向にも配列した例を示し、（ｂ）は、その位相変調素子により提供される光強度分布を示す。
【図１１】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、その位相変調素子により提供される光強度分布を示す。
【図１２】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、その位相変調素子により提供される光強度分布を示す。
【図１３】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図１４】図１３に示した位相変調素子の特徴を説明する概略図。
【図１５】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、その位相変調素子により提供される光強度分布を示す。
【図１６】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図１７】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、その位相変調素子により提供される光強度分布を示す。
【図１８】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図１９】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図２０】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、その位相変調素子により提供される光強度分布を示す。
【図２１】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図２２】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図２３】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図２４】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ

）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図２５】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図２６】本発明の位相変調素子のまたさらに別の一例を説明する概略図であって、（ａ）は、実施の形態の一例を示し、（ｂ）は、Ａ－Ａに沿った光強度分布を示し、（ｃ）は、Ｂ－Ｂに沿った光強度分布を示す。
【図２７】本発明の結晶化装置により得られた透明基板に、電子デバイスを作製する工程の一例を説明する概略図。
【図２８】本発明の結晶化装置により得られた透明基板を、表示装置、例えばアクティブマトリックス型の液晶表示装置に適用する例を説明する概略図。
【図２９】本発明の結晶化装置により得られた透明基板を、表示装置、例えばアクティブマトリックス型の液晶表示装置に適用する例を説明する概略図。
【符号の説明】
【０１４４】
１・・・位相変調素子、２・・・照明系、２ａ・・・光源、２ｂ・・・ビームエキスパンダ、２ｃ・・・第１フライアイレンズ、２ｄ・・・第１コンデンサ光学系、２ｅ・・・第２フライアイレンズ、２ｆ・・・第２コンデンサ光学系、３・・・結像光学系、３ａ・・・凸レンズ、３ｂ・・・凸レンズ、３ｃ・・・開口絞り、４・・・被処理基板、５・・・基板ステージ、２１・・・セル（位相変調単位）、２１ａ・・・（位相値φ１の）第１領域、２１ｂ・・・（位相値φ２の）第２領域、２２・・・ピクセル、２２ａ・・・（位相値φ１の）第１ピクセル、２２ｂ・・・（位相値φ２の）第２ピクセル、２３・・・帯状（短冊状）領域、２３ａ・・・（位相値φ１の）第１領域、２３ｂ・・・（位相値φ２の）第２領域、２４・・・ラインアンドスペースパターン、２４ａ・・・（位相値φ１の）第１領域（ライン部）、２４ｂ・・・（位相値φ２の）第２領域（スペース部）、２４ｄ・・・凹型パターンの光強度分布、２５・・・ピクセル、２５ａ・・・（位相値φ１の）第１ピクセル、２５ｂ・・・（位相値φ２の）第２ピクセル、２５ｃ・・・（位相値φ３の）第３ピクセル、２５ｄ・・・（位相値φ４の）第４ピクセル、２５ｅ・・・（位相値φ５の）第５ピクセル、２６・・・ラインアンドスペースパターン、２６ａ～２６ｋ・・・（位相値φ１～φ１１の）ライン部、３１・・・第１帯状領域、３２・・・第２帯状領域、３３・・・境界線、３４・・・第１局部領域、３５・・・第２局部領域、３６・・・低光強度領域、３７・・・結晶粒、４１・・・帯状領域、４２・・・孤立領域、８０・・・絶縁基板、８１・・・下地膜、８２・・・非晶質半導体膜、８３・・・レーザ光、８４・・・単結晶化半導体膜、８５・・・半導体膜、８６・・・ゲート絶縁膜、８７・・・ゲート電極、８８・・・不純物イオン、８９・・・層間絶縁膜、９０・・・チャネル、９１・・・ソース領域、９２・・・ドレイン領域、９３・・・ソース電極、９４・・・ドレイン電極、１２０，１８１・・・凹型パターンの光強度分布、１２１，１８２・・・逆ピークパターンの光強度分布、１８３・・・合成光強度分布、２２０・・・液晶表示装置、２２１，２２２・・・基材、２２３・・・液晶層、２２４・・・画素電極、２２５・・・走査配線、２２６・・・信号配線、２２７・・・対向電極、２３０・・・ＴＦＴ、２４１・・・走査線駆動回路、２４２・・・信号線駆動回路、２４３・・・液晶コントローラ

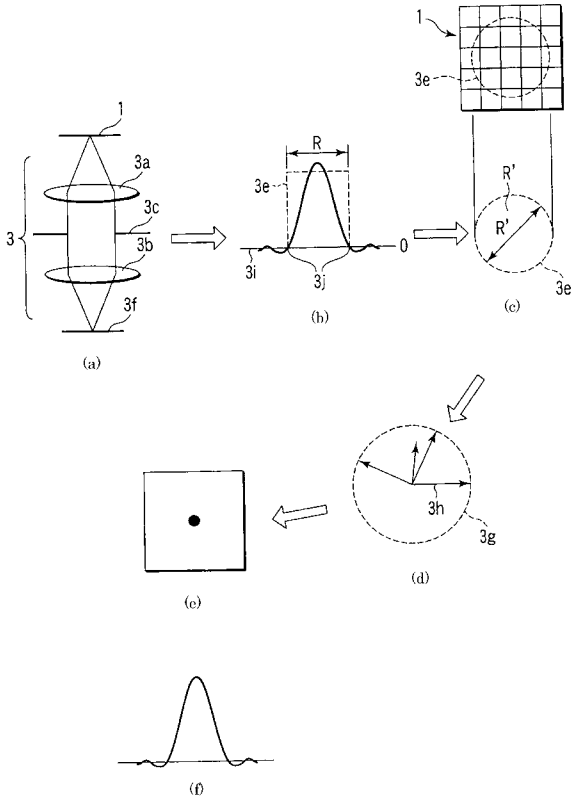
【図１】


2
1
3a
3c
3
3b
4
5

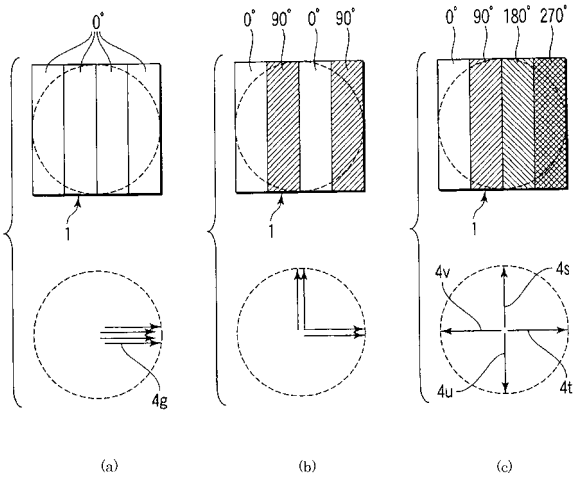
【図２】


2a
2b
2c
2d
2e
2f
2
1

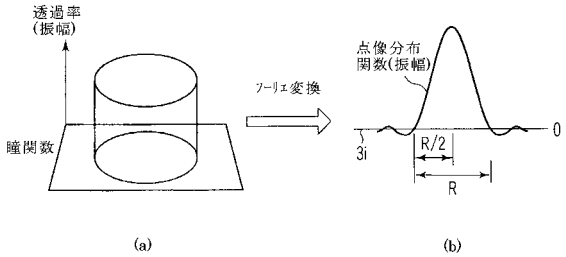
【図３】


1
3a
3c
3
3b
3f
(a)
R
3e
3i
3j
0
(b)
1
3e
R'
R'
3e
(c)
3h
3g
(d)
(e)
(f)

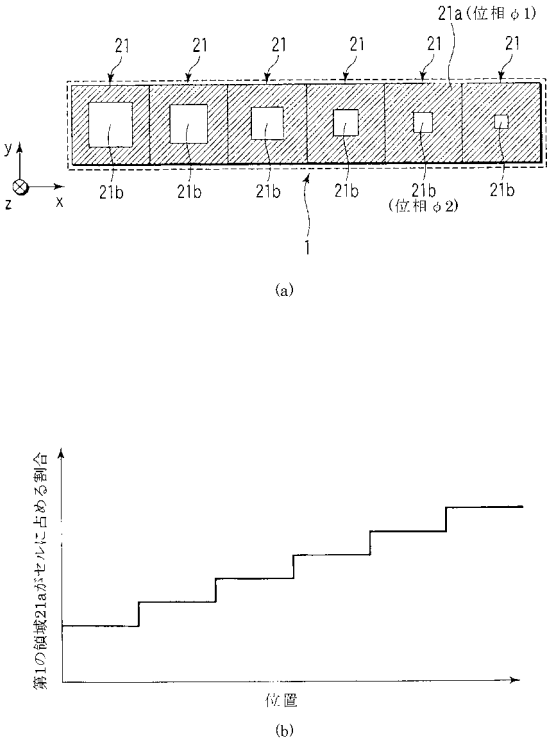
【図４】


0°
1
4g
(a)
0° 90° 0° 90°
1
(b)
0° 90° 180° 270°
1
4v
4s
4u
4t
(c)

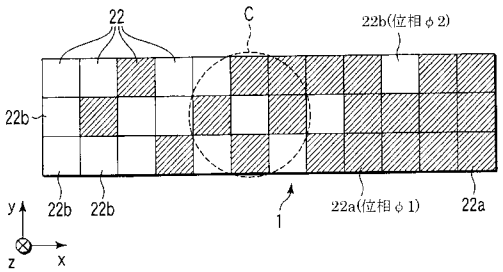
【図５】


透過率
(振幅)
瞳関数
フーリエ変換
点像分布
関数(振幅)
0
3i
R/2
R
(a)
(b)

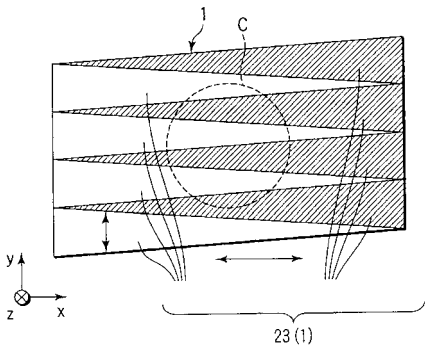
【図６】


21a(位相φ1)
21
21b
21b
21b
21b
21b
(位相φ2)
21b
1
y
z
x
(a)
第1の領域21aがセルに占める割合
位置
(b)

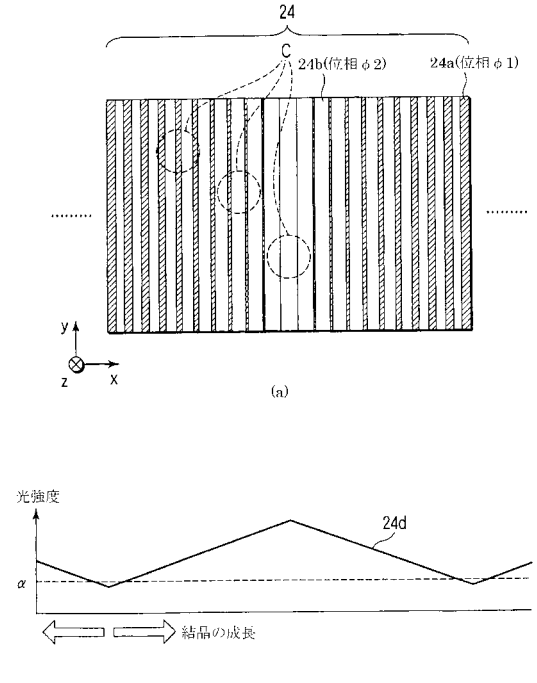
【図７】


22
C
22b(位相φ2)
22b
22b
22b
1
22a(位相φ1)
22a
y
z
x

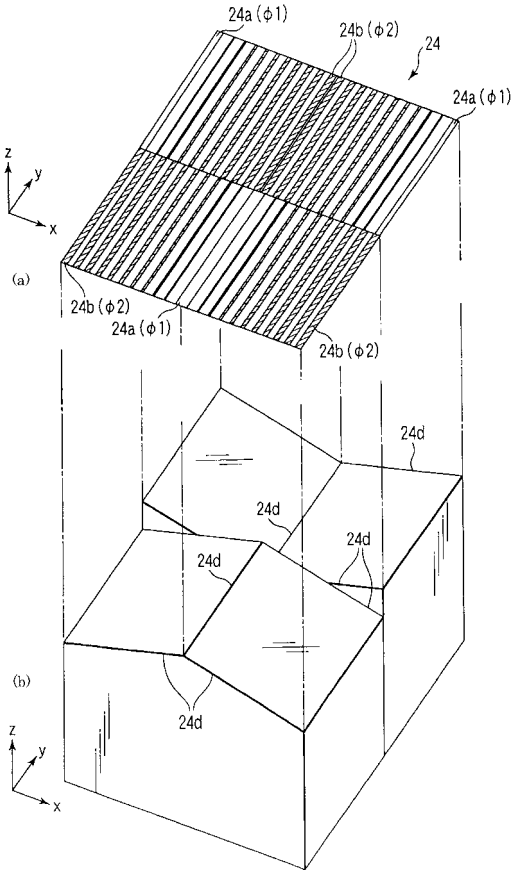
【図８】


1
C
y
z
x
23(1)

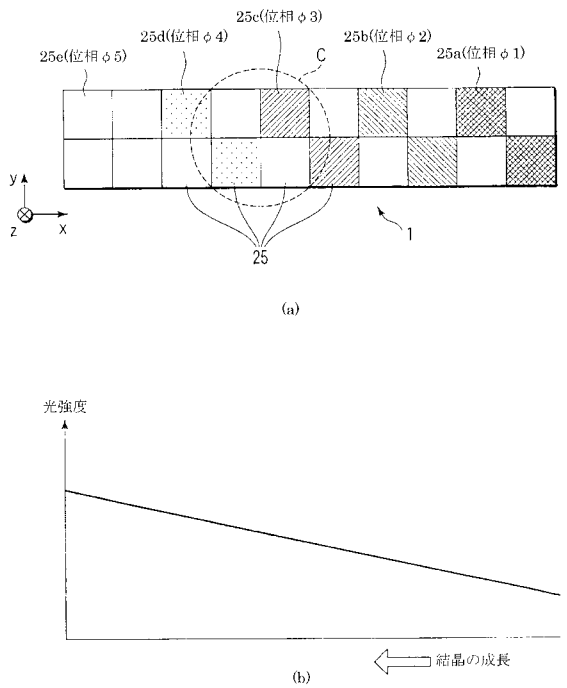
【図９】



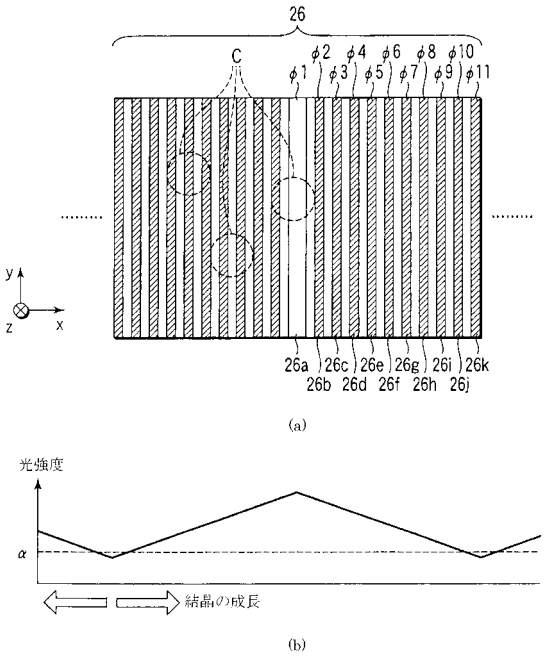
【図１０】



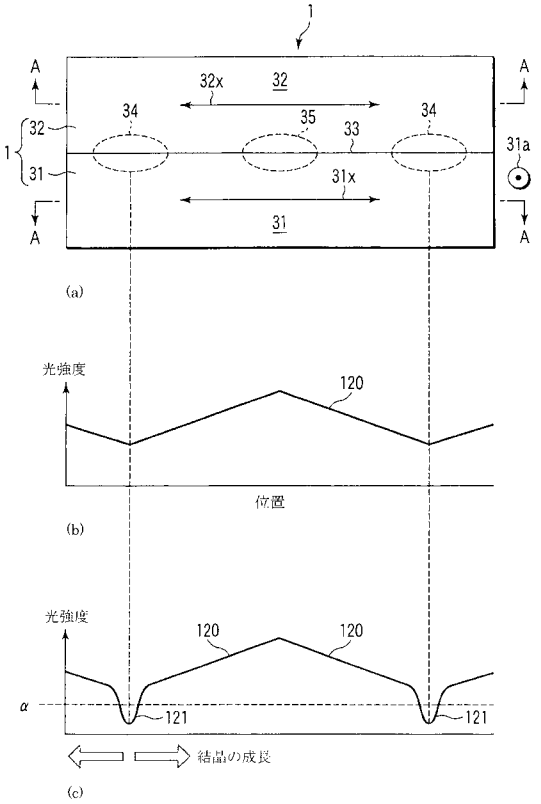
【図１１】



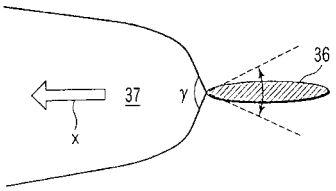
【図１２】



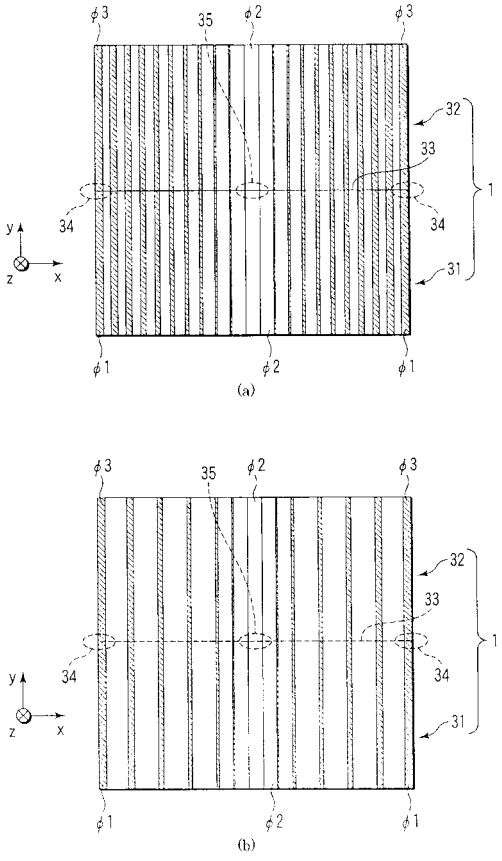
【図１３】



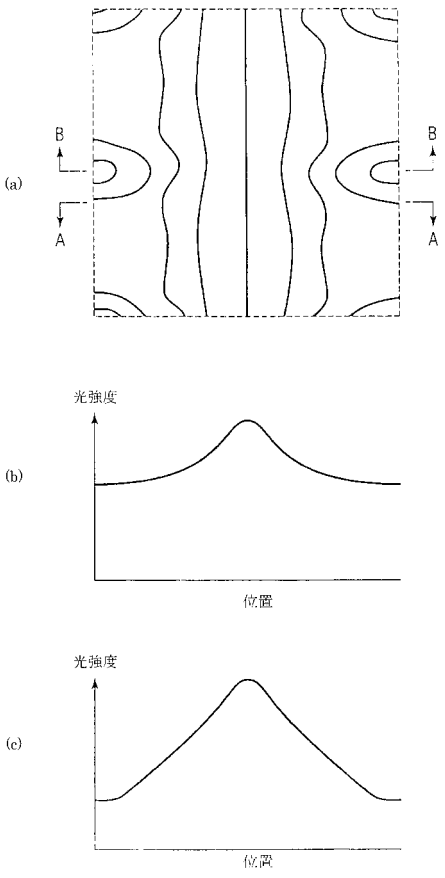
【図１４】



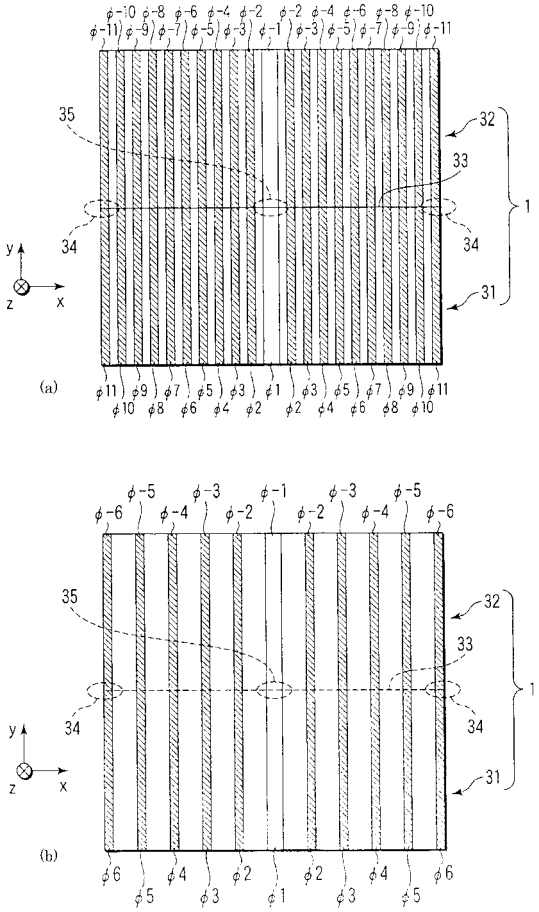
【図１５】



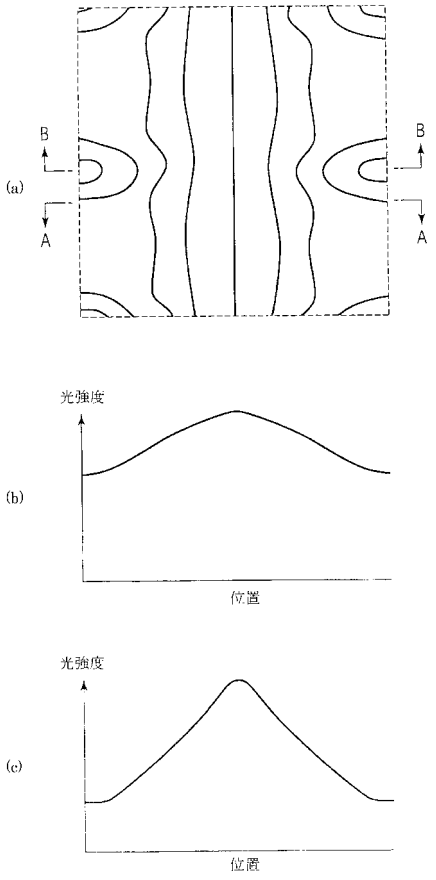
【図１６】



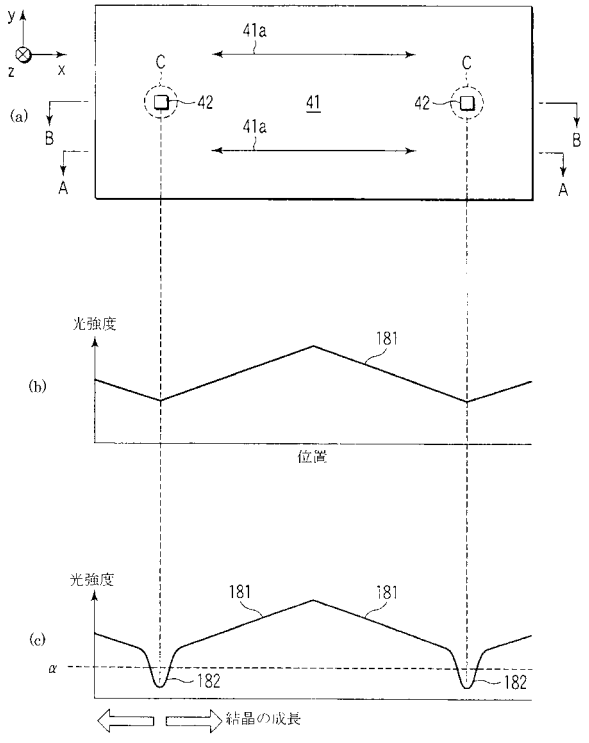
【図１７】



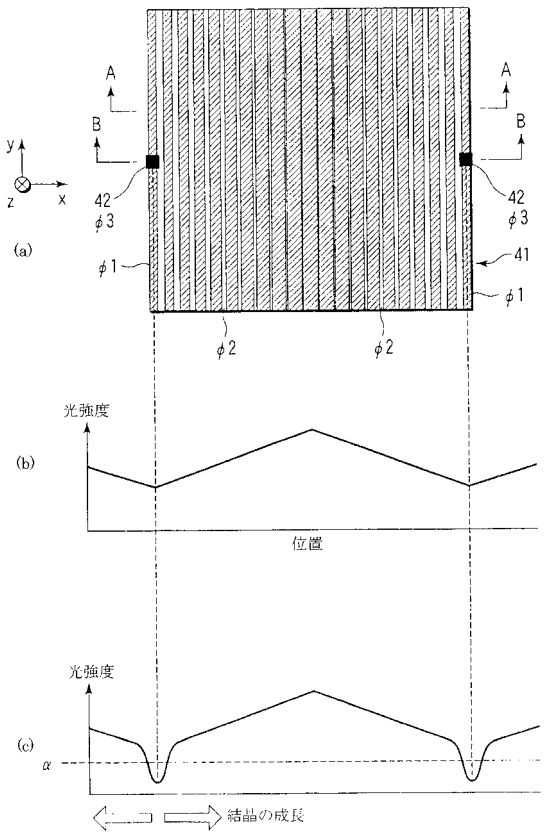
【図１８】



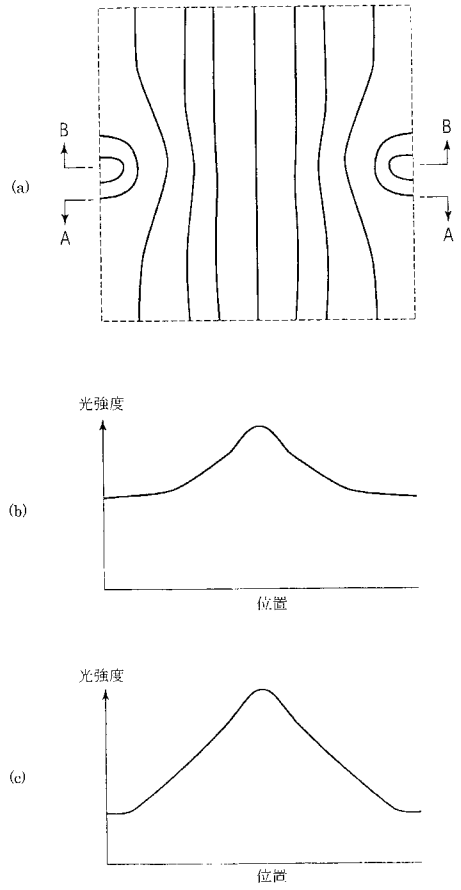
【図１９】



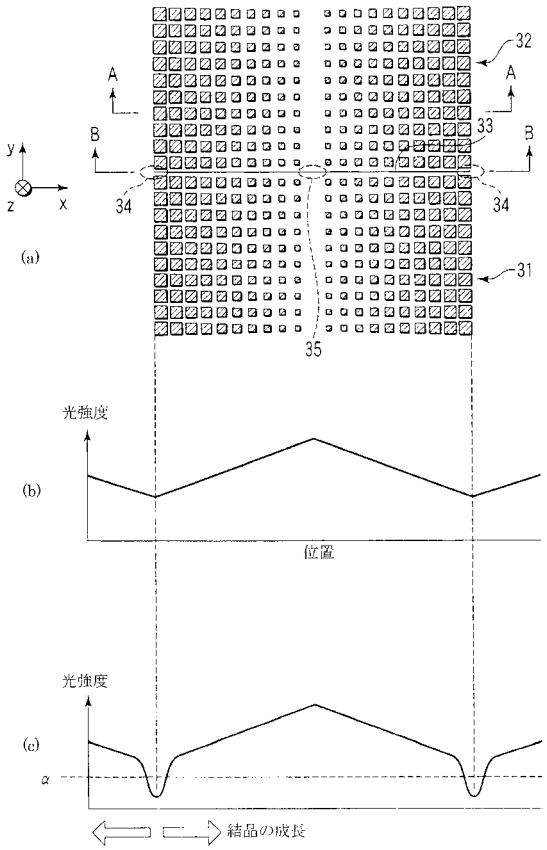
【図２０】



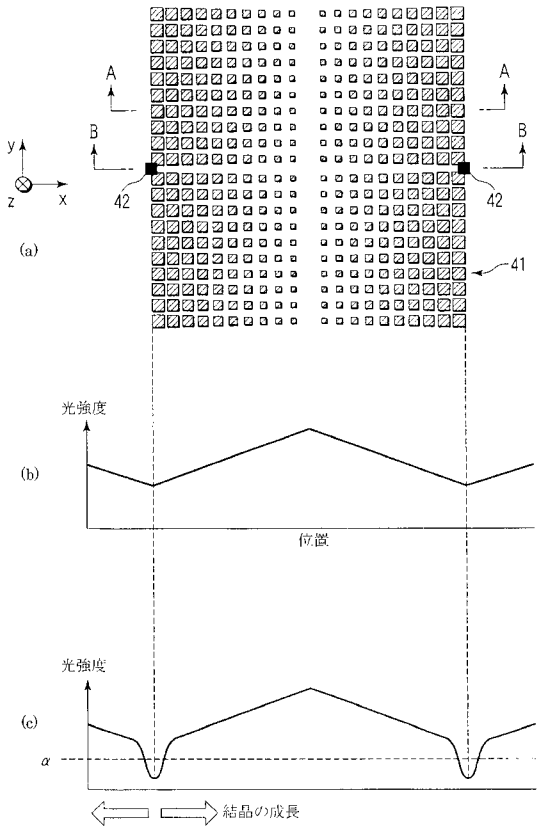
【図２１】



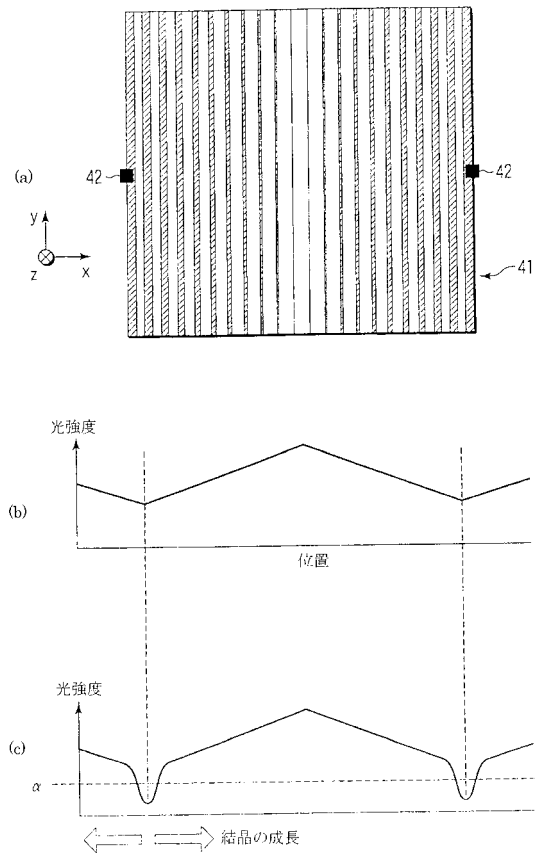
【図２２】



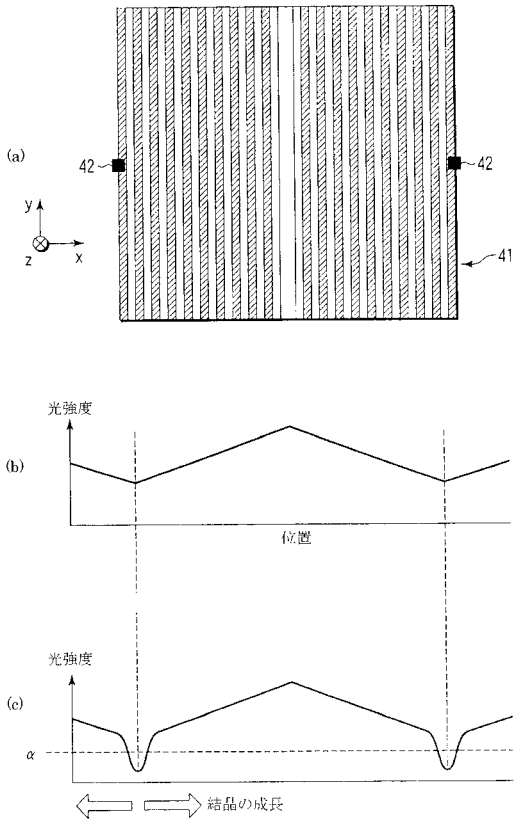
【図２３】



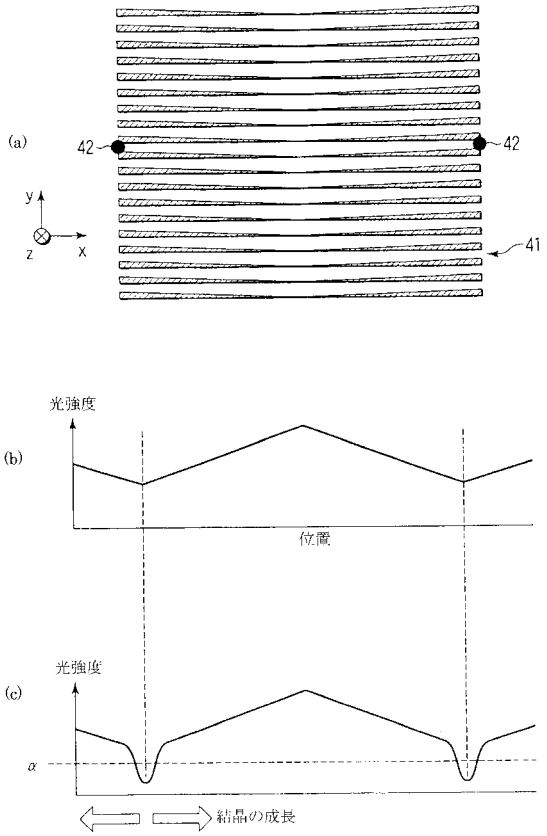
【図２４】



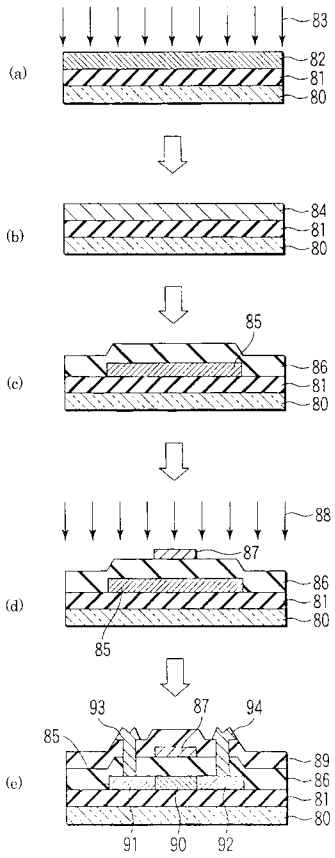
【図２５】



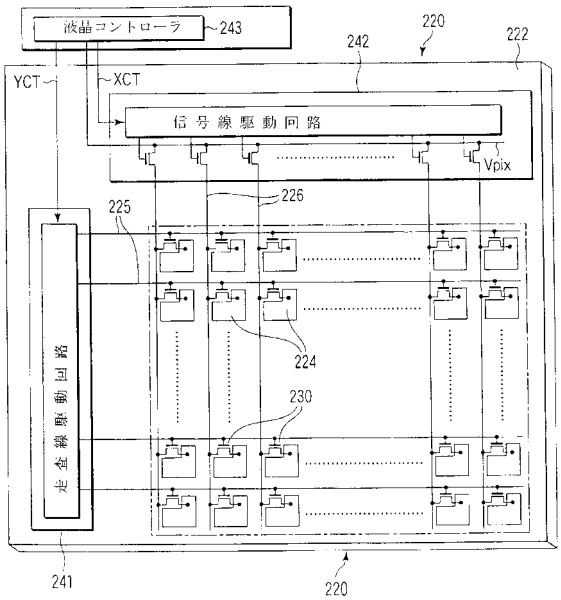
【図２６】



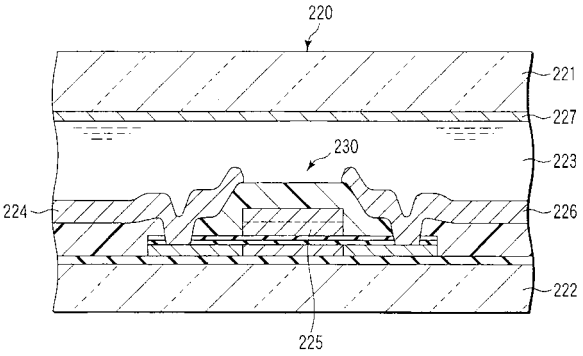
【図２７】



【図２８】



【図２９】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０００－３０６８５９（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１６３５９０（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－１５１４０７（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２０３８６１（ＪＰ，Ａ）
Chang-Ho OH, A Novel Phase-Modulated Excimer-Laser Crystallization Method of Silicon Thin Films, Japanese Journal of Applied Physics Part2, 日本, １９９８年 ５月 １日, 37巻, 5A号, pp.L492-L495
NAKATA, MITSURU, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, ２００１年 ５月, V40 PT1 N5A, P3049-3054
Chang-Ho Oh, Mitsuru Nakata, Masakiyo Matsumura, Optimization of phase-modulated excimer-laser annealing method for growing highly-packed large-grain, Applied Surface Science, ２０００年 ２月 １日, Volumes 154-155, Pages 105-111

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)

Ｈ０１Ｌ ２１／２６８
Ｈ０１Ｌ ２１／２０
Ｈ０１Ｌ ２１／３３６
Ｈ０１Ｌ ２９／７８６
Ｂ２３Ｋ ２６／００ － ２６／４２
Ｈ０１Ｌ ２１／０２７
Ｈ０１Ｌ ２１／３０
Ｈ０１Ｌ ２１／４６
Ｈ０１Ｓ ３／００ － ３／０２
Ｈ０１Ｓ ３／０４ － ３／０９５３
Ｈ０１Ｓ ３／０９８ － ３／１０２
Ｈ０１Ｓ ３／１０５ － ３／１３１
Ｈ０１Ｓ ３／１３６ － ３／２１３
Ｈ０１Ｓ ３／２３ － ４／００
Ｈ０１Ｓ ５／００ － ５／５０