

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3903761号

(P3903761)

(45) 発行日 平成19年4月11日(2007.4.11)

(24) 登録日 平成19年1月19日(2007.1.19)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 L 21/268	(2006.01)	HO 1 L 21/268	J
HO 1 L 21/20	(2006.01)	HO 1 L 21/20	
HO 1 L 21/336	(2006.01)	HO 1 L 29/78	6 2 7 G
HO 1 L 29/786	(2006.01)		

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2001-312113 (P2001-312113)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成13年10月10日(2001.10.10)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2003-124136 (P2003-124136A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成15年4月25日(2003.4.25)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成15年12月25日(2003.12.25)		弁理士 井上 学
		(72) 発明者	本郷 幹雄
			神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
			株式会社日立製作所生産技術研究所内
		(72) 発明者	宇都 幸雄
			神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
			株式会社日立製作所生産技術研究所内
		(72) 発明者	野本 峰生
			神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
			株式会社日立製作所生産技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザアニール方法およびレーザアニール装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料を載置して移動可能なステージと、
 連続発振レーザ光を発生するレーザ発振器と、
 前記レーザ発振器から発射された前記連続発振レーザ光のエネルギーを前記ステージによる前記試料の移動時間に応じて変調する変調器と、
 前記連続発振レーザ光の出力を調整する透過率可変フィルタと、
 前記連続発振レーザ光の空間的なエネルギー分布を調整するエネルギー分布調整光学系と、
 前記連続発振レーザ光の可干渉性を低減させる可干渉性低減器と、
 前記変調器と前記エネルギー分布調整光学系と前記可干渉性低減器とを通過した前記連続発振レーザ光を前記試料の表面に投影する投影光学系とを備え、
 前記ステージには、前記試料において前記投影光学系により前記連続発振レーザ光が投影される投影位置に対する該ステージの移動距離を検出する測長器が設けられ、
 前記測長器は、これにより検出された前記移動距離に応じて前記試料の選択された領域が前記投影位置を移動するレーザ照射期間毎に前記変調器を駆動させるトリガ信号を出力し、
 前記変調器は、前記レーザ照射期間にて、前記トリガ信号を受けて前記連続発振レーザ光を前記試料に投影させ、該レーザ照射期間以外において該連続発振レーザ光の該試料への投影を止め、且つ

10

20

前記変調器における前記連続発振レーザー光の透過率は、前記レーザー照射期間の最初の第1期間において該連続発振レーザー光のエネルギーを一定に保ち、該第1期間に続く第2期間において該連続発振レーザー光のエネルギーを該一定の値から減少させるように設定されていることを特徴とするレーザーアニール装置。

【請求項2】

試料を載置して移動可能なステージと、
連続発振レーザー光を発生するレーザー発振器と、
前記レーザー発振器から発射された前記連続発振レーザー光のエネルギーを前記ステージによる前記試料の移動時間に応じて変調する変調器と、
前記連続発振レーザー光の出力を調整する透過率可変フィルタと、
前記連続発振レーザー光の断面形状を成形する成形光学系と、
前記連続発振レーザー光の可干渉性を低減させる可干渉性低減器と、
前記変調器と前記成形光学系と前記可干渉性低減器とを通過した前記連続発振レーザー光を前記試料の表面に投影する投影光学系とを備え、
前記ステージには、前記試料において前記投影光学系により前記連続発振レーザー光が投影される投影位置に対する該ステージの移動距離を検出する測長器が設けられ、
前記測長器は、これにより検出された前記移動距離に応じて前記試料の選択された領域が前記投影位置を移動するレーザー照射期間毎に前記変調器を駆動させるトリガ信号を出力し、

10

前記変調器は、前記レーザー照射期間にて、前記トリガ信号を受けて前記連続発振レーザー光を前記試料に投影させ、該レーザー照射期間以外において該連続発振レーザー光の該試料への投影を止め、且つ

20

前記変調器における前記連続発振レーザー光の透過率は、前記レーザー照射期間の最初の第1期間において該連続発振レーザー光のエネルギーを一定に保ち、該第1期間に続く第2期間において該連続発振レーザー光のエネルギーを該一定の値から減少させるように設定されていることを特徴とするレーザーアニール装置。

【請求項3】

試料を載置して移動可能なステージと、
連続発振レーザー光を発生するレーザー発振器と、
前記レーザー発振器から発射された前記連続発振レーザー光のON/OFFを行うシャッターと、
前記シャッターを通過した前記連続発振レーザー光のエネルギーを前記ステージによる前記試料の移動時間に応じて変調する変調器と、
前記連続発振レーザー光の出力を調整する透過率可変フィルタと、
前記連続発振レーザー光の空間的なエネルギー分布を調整するエネルギー分布調整光学系と、
前記変調器と前記エネルギー分布調整光学系とを通過した前記連続発振レーザー光を前記試料の表面に投影する投影光学系とを備え、
前記ステージには、前記試料において前記投影光学系により前記連続発振レーザー光が投影される投影位置に対する該ステージの移動距離を検出する測長器が設けられ、
前記測長器は、これにより検出された前記移動距離に応じて前記試料の選択された領域が前記投影位置を移動するレーザー照射期間毎に前記変調器を駆動させるトリガ信号を出力し、

30

40

前記変調器は、前記レーザー照射期間にて、前記トリガ信号を受けて前記連続発振レーザー光を前記試料に投影させ、該レーザー照射期間以外において該連続発振レーザー光の該試料への投影を止め、且つ

前記変調器における前記連続発振レーザー光の透過率は、前記レーザー照射期間の最初の第1期間において該連続発振レーザー光のエネルギーを一定に保ち、該第1期間に続く第2期間において該連続発振レーザー光のエネルギーを該一定の値から減少させるように設定されていることを特徴とするレーザーアニール装置。

50

【請求項 4】

前記変調器は、電気光学モジュレータであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載のレーザアニール装置。

【請求項 5】

前記エネルギー分布調整光学系は、ビームホモジナイザ、所望の透過率分布を有するフィルタ、及び矩形スリットを備えることを特徴とする請求項 1 又は請求項 3 に記載のレーザアニール装置。

【請求項 6】

前記可干渉性低減器は、高速回転する拡散板であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載のレーザアニール装置。

10

【請求項 7】

前記レーザ発振器は、 YVO_4 レーザの第二高調波を発射することを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載のレーザアニール装置。

【請求項 8】

前記投影光学系の焦点位置と前記試料表面との関係を制御する自動焦点機構を更に備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載のレーザアニール装置。

【請求項 9】

連続発振レーザ光を試料に投影させる光学系を用いて該試料の表面に形成された薄膜を該連続発振レーザ光でアニールするレーザアニール方法であって、

前記試料と前記光学系との相対的な位置を移動させて前記試料表面を前記連続発振レーザ光の投影位置で走査しながら、

20

前記連続発振レーザ光の出力を透過率可変フィルタで調整し、且つ

前記試料表面の選択された領域が前記投影位置で走査される期間において前記連続発振レーザ光が該試料表面に投影され、且つ該期間以外において該連続発振レーザ光の該試料表面への投影が止まるように該連続発振レーザ光のエネルギーを変調し、且つ

前記連続発振レーザ光の断面におけるエネルギー分布を調整し、且つ

前記連続発振レーザ光の変調を、前記試料表面の前記選択された領域が前記投影位置で走査される前記期間を第 1 期間とこれに続く第 2 期間とに分けたとき、該第 1 期間において前記連続発振レーザ光のエネルギーを一定に保ち、該第 2 期間において該連続発振レーザ光のエネルギーを該一定の値から減少させるように行う

30

ことを特徴とするレーザアニール方法。

【請求項 10】

前記連続発振レーザ光の断面形状を矩形又は線状に成形して前記試料表面に投影し、

前記試料と前記光学系との相対的な位置を、前記試料表面に投影される前記矩形又は線状に成形された連続発振レーザ光の断面の長手方向に交差する方向に移動させることを特徴とする請求項 9 に記載のレーザアニール方法。

【請求項 11】

前記連続発振レーザ光の断面のエネルギー分布調整は、前記矩形又は線状に成形された連続発振レーザ光の断面におけるエネルギーがその長手方向に一様となり且つ該長手方向に交差する方向に変化するように行われる

40

ことを特徴とする請求項 10 に記載のレーザアニール方法。

【請求項 12】

前記連続発振レーザ光のエネルギー変調は、電気光学モジュレータを用いて、これを透過する該連続発振レーザ光のエネルギーを時間的に変調して行われる

ことを特徴とする請求項 9 乃至 11 の何れかに記載のレーザアニール方法。

【請求項 13】

前記連続発振レーザ光の断面のエネルギー分布調整は、該連続発振レーザの断面を前記矩形又は線状に成形する前に、ビームホモジナイザを用いて該連続発振レーザの断面におけるエネルギー分布を一様にする工程も含むことを特徴とする請求項 11 に記載のレーザアニール方法。

50

【請求項 14】

前記試料はガラス基板であり、且つ前記薄膜は該ガラス基板上に絶縁膜を介して形成された非晶質あるいは多結晶シリコン膜であって、前記連続発振レーザ光は該非晶質あるいは多結晶のシリコン膜の前記選択された領域毎に1パルスずつ断続的に投影されることを特徴とする請求項9乃至13の何れかに記載のレーザアニール方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は絶縁基板上に形成された非晶質または多結晶半導体膜に、レーザ光を照射して膜質の改善あるいは結晶粒の拡大あるいは単結晶化を行うのに好適なレーザアニール方法およびレーザアニール装置、並びにレーザアニールを経て製造されたTFT基板及びこのTFT基板を備えた表示装置に関する。

10

【0002】**【従来技術】**

現在、液晶パネルはガラスや熔融石英などの基板上的非晶質または多結晶シリコン膜で形成された薄膜トランジスタのスイッチングにより画像を形成している。この基板の上に画素トランジスタを駆動するドライバ回路を同時に形成することが可能になれば、飛躍的な製造コスト低減および信頼性の向上が期待できる。しかし、トランジスタの能動層を形成するシリコン膜は結晶性が悪いため、移動度に代表される薄膜トランジスタの性能が低く、高速・高機能が要求される回路の製作は困難である。これら高速・高機能の回路を製作するためには、高移動度薄膜トランジスタを必要とし、これを実現するためにシリコン薄膜の結晶性を改善する必要がある。この結晶性改善の手法として、従来からエキシマレーザアニールが注目を浴びている。この方法はガラスなどの絶縁基板上に形成された非晶質シリコン膜にエキシマレーザを照射して、非晶質シリコン膜を多結晶シリコン膜に変化させることで、移動度を改善するものである。しかしながら、エキシマレーザの照射により得られた多結晶膜は、結晶粒径が数100nm程度であり、液晶パネルを駆動するドライバ回路などに適用するには性能不足である。

20

【0003】

この問題を解決する方法として、特開2001-44120号公報には、第一のパルスレーザである紫外域のパルスレーザ、例えばエキシマレーザを照射後、第二のパルスレーザとして可視域のパルスレーザを照射することで結晶粒径を増大する方法が開示されている。これは、第一のパルスレーザを照射後、200ns以内に第二のパルスレーザを照射して、再結晶化の時間を延長することで結晶粒径の増大を図るものである。

30

【0004】**【発明が解決しようとする課題】**

上記従来技術では、第二のパルスレーザとして、Nd:YAGレーザ、Nd:YLFレーザ、Yb:YAGレーザ、Nd:ガラスレーザ、Yb:ガラスレーザなどのNdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒体としたQスイッチ発振の固体レーザの高調波を使用している。しかしながら、これらレーザのパルス幅は数10から数100nsであり、再結晶化時間の延長には限界がある。即ち、得られる結晶粒径は1ミクロン程度であり、液晶パネルを駆動するドライバ回路などに適用するには、まだ性能不足である。また、上記従来技術では第二のパルスレーザを照射するための光学系として、アッテネータと線状ビーム形成光学系が示されているが、この構成だけでは以下の問題点が残る。

40

【0005】

第一の問題点は、Qスイッチ発振パルスの出力の時間変化は正弦波状であり、アニールを行うのに最適なパルス幅および出力の時間変化を得ることができないことである。

【0006】

第二の問題点は、上記レーザのエネルギー分布はガウス形の分布であり、そのままではレーザアニールで必要とされる均一な、あるいはアニールに好適なエネルギー分布が得られない

50

ことである。

【0007】

さらに第三の問題点は、Nd : YAGレーザなどの固体レーザ発振器から発振されたレーザ光は可干渉性（コヒレンシ）が高く、この干渉の影響により照射部でのエネルギー密度分布に不均一が発生することである。

【0008】

本発明の目的は、上記した従来技術の問題点を解決し、干渉による影響のない、照射部でレーザアニールに適したエネルギー分布を持ち、最適なパルス幅でかつ時間的にもレーザアニールに好適なエネルギー変化が得られ、非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜などのアニールを行うのに好適なレーザアニール方法およびレーザアニール装置、並びにレーザアニールを経て製造されたTFT基板を提供することにある。

10

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明のレーザアニール方法は上記目的を達成するために、次の手段により処理したレーザ光を照射する。第一に、所望のパルス幅と所望の時間的なエネルギー変化を実現するために、レーザ発振器として連続発振光が得られる発振器を用い、連続発振レーザ光を電気光学モジュレータあるいは音響光学モジュレータなどの時間変調手段により、パルス化するとともにパルスレーザ光のエネルギーを任意の時間変化が得られるようにする。

【0010】

第二に、可干渉性を有するレーザ光を、インコヒーレント化光学系により可干渉性を排除あるいは低減させ、レーザ照射部での干渉の影響を低減あるいは排除する。

20

【0011】

第三に、照射部全面にわたって均一なエネルギー分布を持たせるためにビームホモジナイザと矩形開口スリットを使用し、任意の分布を持たせるために所望の透過率分布を有するフィルタを備え、得られた均一あるいは所望のエネルギー分布を持ったレーザ光を、対物レンズにより矩形開口スリット像を投影する形で非晶質あるいは多結晶シリコン膜に照射する。

【0012】

また、本発明のレーザアニール装置は上記目的を達成するために、連続発振光を出力するレーザ発振器と、レーザを時間的に変調する手段と、ビームホモジナイザと、インコヒーレント化光学系と、所望の透過率分布を有するフィルタと、矩形開口スリットと、対物レンズから構成される。

30

【0013】

さらに、本発明のTFT基板は上記本発明のレーザアニール装置により、上記本発明のレーザアニール方法を実施することで得られる。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下に、図に従って本発明を詳細に説明する。図1は本発明の1実施例であるレーザアニール装置の構成を示す図である。防振機構（図示せず）を備えた定盤1上に、連続発振レーザ光2を発生するレーザ発振器3、レーザ光2のON/OFFを行うシャッタ4、レーザ発振器3から出力されたレーザ光2のビーム径を拡大するためのビームエキスパンダ5、レーザ光2のパルス化およびエネルギーの時間的な変調を実現するための電気光学モジュレータ（以後、EOモジュレータと称す）6、レーザ光2のエネルギーを調整するための透過率連続可変NDフィルタ7、レーザ光2を均一なエネルギー分布に成形するビームホモジナイザ8、レーザ光2を1方向に圧縮して線状のビームに形成するためのシリンドリカルレンズ9、レーザ光2の照射位置・照射形状を確認するための参照光源10、参照光源10からの波長を透過しレーザ光2を反射する特性を有するダイクロイックミラー11、高速回転駆動装置12を備えた拡散板13、照射面内のエネルギー密度分布を所望形状にするためのフィルタ14、レーザ光2の裾野部分を除去して任意の矩形形状に成形するための矩形開口スリット15、照明光とレーザ光2及び参照光を結合するためのミラー17、観

40

50

察時に使用する照明光源 18、CCDカメラ 19、CCDカメラ 19 にレーザ光が入射するのを防ぐためのレーザカットフィルタ 20、CCDカメラ 19 で撮像した試料面を表示するためのモニタ 22、焦点位置を検出し焦点位置からずれた場合に信号を出す自動焦点光学系 24、観察及びレーザ光 2 の集光に用いる対物レンズ 25、試料 26 を載置し X Y Z に移動するためのステージ 28、ステージ 28 に固定されレーザ光 2 の出力を測定するためのパワーモニタ 29 と、レーザ光の 2 次元的なエネルギー分布を測定するためのビームプロファイラ 30、およびステージ 28、レーザ発振器 3、シャッタ 4、EOモジュレータ 6、透過率可変フィルタ 7、電動矩形スリット 15、自動焦点光学系 24 からの信号による Z ステージ、図示していない画像処理装置等の制御を行う制御 PC (制御装置) 31 が配置された構成になっている。

10

【0015】

次に、各部の動作・機能について詳細に説明する。定盤 1 は床からの振動を遮蔽するために空気パネによる防振機構 (図示せず) を備えていることが望ましい。設置される環境によっては防振機構が不必要な場合もある。ステージ 28 や種々の光学系を載置するためのもので、十分な強度・剛性を有する。

【0016】

連続発振レーザ光 2 はアニール対象である非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜に対して吸収のある波長、即ち紫外波長から可視波長が望ましく、より具体的には Ar レーザあるいは Kr レーザとその第二高調波、Nd:YAG レーザ、Nd:YVO₄ レーザ、Nd:YLF レーザの第二高調波及び第三高調波などが適用可能であるが、出力の大きさ及び安定性を考慮すると、LD (レーザダイオード) 励起 Nd:YAG レーザの第二高調波 (波長 532 nm) あるいは Nd:YVO₄ レーザの第二高調波 (波長 532 nm) が望ましい。以後の説明では、大出力での安定性及び低雑音性に優れている LD 励起 Nd:YVO₄ レーザの第二高調波を使用した場合について説明する。

20

【0017】

レーザ発振器 3 から発振されたレーザ光 2 はシャッタ 3 により ON/OFF される。即ち、レーザ発振器 3 は常に一定出力でレーザ光 2 を発振した状態におかれ、シャッタ 4 は通常には OFF 状態として、レーザ光 2 はシャッタ 4 で遮られている。レーザ光 2 を照射する場合のみ、このシャッタ 3 を開き (ON 状態に) することで、レーザ光 2 を出力させる。励起用レーザダイオードを ON/OFF することで、レーザ光の ON/OFF を行うことは可能だが、レーザ出力の安定性を確保するためには望ましくない。このほか、安全上の観点からレーザ光 2 の照射を止めたい場合にも、シャッタ 4 を閉じればよい。

30

【0018】

シャッタ 4 を通過したレーザ光 2 はビームエキスパンダ 5 でビーム径を拡大され、EOモジュレータ 6 に入射される。これは、EOモジュレータ 6 の耐パワー性を考慮して、EOモジュレータ 6 の有効径に近い大きさまで、ビームエキスパンダ 5 でビーム径を拡大するものである。レーザ発振器 3 から発振されたレーザ光 2 のビーム径がおよそ 2 mm で、有効径 15 mm の EOモジュレータ 6 を使用する場合、ビームエキスパンダ 5 の拡大率は 6 倍程度とする。もちろん、レーザ発振器 3 からのレーザ光 2 を直接入射しても EOモジュレータ 6 の耐パワー性が十分の場合には、ビームエキスパンダ 5 を使用しなくても良い。

40

【0019】

EOモジュレータ 6 は、図 2 及び図 3 に示すようにポッケルス・セル 61 (以下、結晶と称する) と偏光ビームスプリッタ 62 を組み合わせて使用する。レーザ光 2 が直線偏光の場合、図 2 に示すようにドライバ (図示せず) を介して結晶 61 に電圧 V1 (通常は電圧 0 V) を印加したときに、結晶 61 を透過するレーザ光 2 の偏光方向は回転せずに偏光ビームスプリッタ 62 に S 偏光として入射して、90 度偏向されるように設定する。即ちこの状態では、レーザ光 2 は 90 度偏向して出力してしまうため、以降の光学系には入射せず、レーザ光 2 は OFF 状態となる。次いで、図 3 に示すように結晶 61 を透過するレーザ光 2 の偏光方向を 90 度回転させることのできる電圧 V2 を印加して、偏光ビームスプリッタ 62 に P 偏光として入射させると、レーザ光 2 は偏光ビームスプリッタ 62 を透過

50

・直進するように設定する。即ち、この状態ではレーザー光 2 は直進して以降の光学系に入射するので、レーザー光 2 は ON 状態となる。

【 0 0 2 0 】

さらに、図 4 に示すように、結晶 6 1 に印加する電圧を V_1 (通常は 0 V) と V_2 の間で変化させることにより、EO モジュレータ 6 を透過するレーザー光 2 の透過率を T_1 (通常は 0) と T_2 (ここでは最大透過率、即ち 1) の間で任意に設定することができる。即ち、EO モジュレータ 6 を透過するレーザー光 2 の透過率を 0 から 1 の間で任意に設定することができる。

【 0 0 2 1 】

ただし、ここでは結晶 6 1 や偏光ビームスプリッタ 6 2 表面での反射や吸収はないものとして考えている。これらのことから、図 5 に示すように、EO モジュレータ 6 に入射するレーザー光 2 の出力 (EO モジュレータ 6 への入力) を P_0 一定とし、結晶 6 1 への印加電圧を V_1 , V_2 , V_3 , V_1 と変化させることにより、EO モジュレータ 6 からのレーザー出力として、出力 P_2 , P_3 の階段状のパルス出力が得られる。ここで出力 P_2 は EO モジュレータ 6 への入力 P_0 と電圧 V_2 を印加したときの透過率 T_2 との積で求められ、 P_3 は P_0 と電圧 V_3 を印加したときの透過率 T_3 との積で求められる。当然、結晶 6 1 に印加する電圧を連続的に変化させることにより、透過するレーザー光 2 の出力を連続的に変化させることができ、結果的に任意の時間変化を有するパルスレーザー光 2 を得ることができることになる。

【 0 0 2 2 】

ここでは EO モジュレータ 6 として、ポッケルス・セル 6 1 と偏光ビームスプリッタ 6 2 を組み合わせることで説明したが、各種偏光素子を用いることができる。尚、以後の説明では結晶 6 1 と偏光ビームスプリッタ 6 2 (または各種偏光素子) を組み合わせたものを EO モジュレータ 6 と称する。

【 0 0 2 3 】

EO モジュレータの他に、AO (音響光学) モジュレータを使用することができる。ただし、一般的に AO モジュレータは EO モジュレータと比較して、駆動周波数が低いため、高速の立ち上がり・立ち下がりが必要な場合や、パルス幅の小さいパルス光を切り出す場合には適さない。このように EO モジュレータ 6 あるいは AO モジュレータなどの変調器を用いることにより、連続発振レーザー光から所望のパルス幅で所望の波形 (時間的なエネルギー変化) を有するパルスレーザー光を得ることができる。即ち、所望の時間変調を行うことができる。

【 0 0 2 4 】

透過率連続可変 ND フィルタ 7 は試料 2 6 に照射するレーザー光 2 の出力を調整するためのもので、連続的に透過率を変化できるものが望ましい。また図 1 では、EO モジュレータ 6 の後に設置してあるが、耐パワー性に問題がなく、透過率を変化させた場合に偏光方向が回転したり、直線偏光が崩れたりしなければ、EO モジュレータ 6 の前でも良い。ここでは、図 6 に示す構成の透過率連続可変 ND フィルタ 7 を用いる。これはレーザー光 2 の波長に対して透明な平板、例えば石英板 7 1、7 2 を光軸 7 3 に対して垂直な面 7 4 に面対称となるように配置し、面対称の関係を保ったまま入射角を変化させ、透過するレーザー光量を変化させるものである。直線偏光のレーザー光 2 に対して石英板 7 1、7 2 に P 偏光として入射するように調整すると、入射角と界面での反射率は図 7 に示すように変化する。透過率 T は界面での反射率を R とすると、 $T = 1 - R$ で表すことができる。入射角がブリュースタ角、即ち石英板 7 1、7 2 の屈折率を N として $\tan^{-1}(N)$ で得られる角度では反射率が 0、即ち透過率が 1 となる。入射角が大きくなるに従い反射率が大きく、即ち透過率が小さくなり、入射角 90 度では反射率が 1、即ち透過率が 0 となる。これにより、入射角をブリュースタ角と 90 度の間で変化させることにより、任意の透過率が得られる。図 6 に示した構成では、空気と石英の界面が 4 つあるため、全体の透過率 T は界面での透過率の 4 乗となり、 $T_4 = (1 - R)^4$ となる。

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

平板（石英板）が1枚のときには大きさに限界があるため、入射角を90度にするにはできないため、現実的には透過率数%が限界であるが、石英と空気の界面数で指数的に変化するため、容易に低い透過率を得ることができる。図8に示すように石英板71, 71', 71'', 72, 72', 72''を3枚ずつで構成すると界面が12となるため、透過率 T_{12} は $T_{12} = (1 - R)^{12}$ で表され、入射角を極端に大きくしなくても効果的に透過率を低くすることができる。実際には入射角を90度にするには不可能であるが、石英板の大きさを十分大きくすることで、透過率0.05（5%）程度は容易に得られ、透過率として5～100%の範囲で連続的に変化させることができる。

【0026】

尚、通常の石英板を使用した場合には裏面での反射が影響する可能性があるが、石英板の片面に反射防止コーティングを実施することで、対策できる。また、複数枚の石英板を使用した場合には隣接する石英板からの反射が影響する可能性があるが、石英板同士の間隔を十分に大きくすることで、対策できる。

【0027】

このほか、レーザー光2のビーム径が小さい場合には、透明基板上に面内で連続的に透過率が変化するように金属薄膜あるいは誘電体多層膜を形成したNDフィルタを使用することができる。また、透過率を連続的に変化させることはできないが、透過率が異なるNDフィルタを順次切り替えることにより、あるいは種々の透過率を有する多数のNDフィルタを組み合わせることで、実質的には本発明の目的を達成することができる。当然、レーザー励起用レーザーダイオードの励起電流を制御することでも、レーザー出力を調整することは可能であるが、出力を変更した場合に出力が安定するまでに一定時間を必要とするなどの問題があるため、望ましくない。

【0028】

通常、ガスレーザーや固体レーザーは、図9に示すようにガウス形のエネルギー分布を持っているため、そのままでは本発明のレーザーアニールに使用することはできない。発振器出力が十分に大きければ、ビーム径を十分に広げ、中心部分の比較的均一な部分のみを切り出すことで、ほぼ均一なエネルギー分布を得ることができるが、ビームの周辺部分を捨てることになり、エネルギーの大部分が無駄になる。この欠点を解決して、ガウス形の分布を均一な分布に変換するために、ビームホモジナイザ8を用いる。これは、図9に1例を示すように、ロッドレンズを2次元に配列させて構成したフライアイレンズ（蠅の目レンズ）81と凸レンズ82とを組み合わせており、出力ビームはほぼ均一な分布を持つビームに変換される。フライアイレンズ81以外にも、シリンドリカルレンズアレイをシリンドリカルレンズ軸が直交する様に組み合わせたもの2組と凸レンズの組み合わせなどでも同様の効果が得られる。ビームホモジナイザ8からの出力ビームを、シリンドリカルレンズ9により1方向のみ集光することで、最終的に矩形開口スリット面でほぼ均一なエネルギー分布の線状ビーム（ただし、幅方向にはガウス分布をしている）を得ることができる。フライアイレンズ81（あるいはシリンドリカルレンズアレイの組み合わせ）と凸レンズ82とシリンドリカルレンズ9を組み合わせ、エネルギー分布の均一な線状ビームを形成できるように構成したものをビームホモジナイザとしても良い。あるいは、複数のフライアイレンズの配置あるいはシリンドリカルレンズアレイの配置により、矩形形状あるいは線状に集光する構成にしても良い。要はガウス形の分布をしているレーザー光をほぼ均一なエネルギー密度分布を持つ矩形形状あるいは線状のビームに変換できればよい。

【0029】

このほか、図10に示すように、レーザー光2をレンズ84で集光して中空の筒85内に入射させ、筒85内で多重反射させることで出力分布を均一化させるカライドスコープを使用することができる。この場合、レーザー光2の入射側を円形とし、出射側が矩形形状あるいは線状となるように、内部で連続的に変化させることで、ほぼ均一なエネルギー密度分布を有する矩形形状あるいは線状のレーザー光2が得られる。あるいはレーザー光2を複数に分割してそれぞれを重ね合わせるプリズムを使用しても良い。

【0030】

10

20

30

40

50

得られた矩形形状あるいは線状ビームから、図 1 1 に示すように、必要に応じて裾野部分を電動矩形開口スリット 1 5 により除去し、必要な寸法の矩形形状（線状）に成形する。裾野部分が照射されても問題がなければ、電動矩形スリット 1 5 を解放状態にしてレーザー光 2 全てを通過させても良い。このレーザー光 2 を対物レンズ 2 5 で試料 2 6 面上に投影するように照射する。ここでは、対物レンズ 2 5 の倍率を M とすると、電動矩形開口スリット 1 5 の像、あるいは電動矩形スリット 1 5 面でのレーザー光 2 の大きさは倍率の逆数、即ち $1/M$ の大きさで投影される。しかしながら、電動矩形開口スリット 1 5 を通過するレーザーが均一なエネルギー分布を有しても、通常の YVO_4 レーザ光のように可干渉性を有するレーザー光 2 を矩形開口スリット 1 5 で矩形に成形して試料面 2 6 上に照射しても、矩形開口スリット 1 5 のエッジにおける回折の影響で、レーザー光 2 の波長と対物レンズ 2 5 の NA で決まる干渉パターンが発生し、図 1 2 に示すように不均一な分布となる。更にはエネルギー密度が均一な部分でも干渉の影響でスペックルパターンが発生する。

10

【0031】

これらの不均一を除去するために拡散板 1 3 を光路中に挿入する。この拡散板 1 3 は石英基板表面に $1000 \sim 2000$ メッシュの不規則（規則的でも良い）な凹凸が形成されている。単に拡散板 1 3 を挿入しただけでは効果はないが、拡散板 1 3 を高速回転駆動装置 1 2 で駆動して高速回転させると、レーザー光 2 が時間的にランダムな方向に拡散され、試料面 2 6 に届くまでの光路長及び進行方向がランダムに変化する。レーザー光 2 の 1 パルス分の照射が終了するまでの間に種々の方向に拡散され、従って試料面に到達するまでの光路長が変化するため、結果的に干渉の影響で発生したエネルギー密度の不均一がキャンセル

20

【0032】

照射するレーザー光 2 のパルス幅を 10 マイクロ秒、拡散板 1 3 の中心から 50 ミリメートル離れた部分をレーザー光が透過すると仮定すると、拡散板 1 3 を 6000 回転/分の速度で回転させることにより、1 パルス照射する間に拡散板 1 3 は約 300 ミクロン移動する。拡散板 1 3 として $1000 \sim 2000$ メッシュのものを使用すると、 $8 \sim 16$ ミクロン周期のランダムな凹凸が形成されており、透過するレーザー光の各部分が平均的に 20 個程度以上の凹凸を通過することになるため、干渉の影響を十分キャンセルすることができてレーザー光の可干渉性が低減される。

30

【0033】

尚、目的によっては均一なエネルギー密度分布より特定のエネルギー密度分布、例えば線状に成形したビームの幅方向に傾きを持つ分布、あるいは線状に成形したビームの長手方向に中心部のエネルギー密度が小さく、周辺部で大きくなる凹形の分布を持つ方が望ましい場合があり、その場合には特定の透過率分布を有するフィルタ 1 4 を電動矩形スリット 1 5 手前の光路中に挿入することで、目的を達することができる。

【0034】

同様に、拡散板の代わりに位相版（例えばガラス基板上に位相が 0 、 $\pi/2$ ラジアン、 π ラジアン、 $3\pi/2$ ラジアンだけ変化する膜厚の SiO_2 膜を島状にランダムに形成したもの）を使用して、拡散板と同様に高速回転させても良い。あるいは図 1 に示した構成図の中でレーザー光を 90 度折り曲げているミラー 1 5 0 または 1 5 1 に振動子を取り付け、高周波数で振動させることにより、望ましくはレーザー光が照射されている時間（パルス幅に相当）に同期した周波数で振動させることにより、レーザー光 2 の光路長が変化し、干渉の影響をキャンセルすることができる。

40

【0035】

試料 2 6 にレーザー光 2 を照射するに当たって、ステージ 2 8 を XY 平面内で駆動しながら所望の位置にレーザー光 2 をパルスの照射するが、試料 2 6 表面の凹凸、うねりなどによる焦点はずれが起きると、エネルギー密度の変化、照射形状の劣化が起き、目的を達成することができない。このため、常に焦点位置で照射できるように、自動焦点光学系 2 4 により焦点位置を検出し、焦点位置から外れた場合にはステージ 2 8 を Z 方向（高さ方向）に

50

駆動して、常に焦点位置になるように制御する。

【0036】

レーザ光2を照射する試料26表面は、照明光源18からの落射照明により、CCDカメラ19で撮像し、モニタ22により観察することができる。レーザ照射中に観察する場合には、CCDカメラ19の手前にレーザカットフィルタ20を挿入して、試料26表面で反射したレーザ光でCCDカメラ19がハレーションを起こしたり、ダメージを受けるのを防止する。

【0037】

ステージ28には、試料26に照射されるレーザ光2の出力(エネルギー)を測定するためのパワーメータ29、及びエネルギー密度分布を測定するためのビームプロファイラ30が設置されている。必要に応じて、ステージ28を移動して上記パワーメータ29あるいはビームプロファイラ30の受光部を対物レンズ25の直下、あるいは対物レンズ25を外した状態で光軸に位置決めすることにより、レーザ出力およびエネルギー分布(プロファイル)を測定することができる。尚、ビームプロファイルの測定においては、受光部のダメージ閾値が小さいため、エネルギー密度分布が変化しないように減衰させる必要がある。そのためには、光路中に減衰フィルタ(図示せず)を挿入すればよい。複数枚の減衰フィルタを挿入する場合には、フィルタ間で反射光が再反射して透過光と重なり、プロファイルを乱す場合があるので、光軸に垂直に挿入するのではなく、光軸に垂直な面に対して角度を持たせ、フィルタの間隔を大きくすればよい。

【0038】

試料26のアライメントは、対物レンズ25、CCDカメラ19で試料26上に形成してあるアライメントマークあるいは特定のパターンを複数箇所撮像し、それぞれ画像処理装置(図示せず)によって処理を行って、アライメントマークの重心位置などを検出し、ステージ28を駆動することで、XY 3軸方向に対して行うことができる。図1において、対物レンズ25は1個で表現してあるが、電動レボルバに複数の対物レンズを装着させておき、制御装置31からの信号により切り替え、処理に応じて最適な対物レンズを使い分けることができる。即ち、試料26をロードした時の粗アライメント、必要に応じた精アライメント、レーザアニール処理、処理後の観察、更には後で述べるアライメントマーク形成等にそれぞれ適した対物レンズを使用することができる。当然、アライメントには別な光学系(レンズ、撮像装置および照明装置)を設けて行うことは可能であるが、レーザアニールを行う光学系をアライメント光学系と兼用することで、同一光軸での検出になり、アライメント精度が向上する。

【0039】

次に、前述した本発明のレーザアニール装置を用いて実施する、本発明の1実施例であるレーザアニール方法について、図13を用いて説明する。ここで、試料26として、図13(a)に示すように、ガラス基板101の1主面に絶縁体薄膜102を介して非晶質シリコン薄膜を形成し、エキシマレーザ光を全面走査することで多結晶シリコン薄膜103に結晶化させた多結晶シリコン薄膜基板100を用いる。ここで、絶縁体薄膜102はSiO₂あるいはSiNあるいはそれらの複合膜である。多結晶シリコン薄膜基板100をステージ28上に載置する。この多結晶シリコン薄膜基板100には、図13(a)に示すように、2箇所にアライメントマーク104、104'が2箇所に形成されている。これらアライメントマーク104、104'は通常、フォトエッチング技術で形成するが、この目的だけでフォトレジスト工程を実施するのは無駄が多い。このためレーザアニールに使用するレーザ光2を電動矩形スリット15で、例えば縦長と横長の矩形に、順次成形して多結晶シリコン薄膜を除去加工することで十字マークを形成し、アライメントマーク104、104'とすることができる。この場合、当然アニールを実施する場合よりエネルギー密度は大きく設定する。

【0040】

アライメントマーク104、104'を基準に設計上の座標に従って、図13(b)に示すようにステージ28あるいは光学系を移動させながら、EOモジュレータ6により任意

10

20

30

40

50

のパルス波形を有し、ホモジナイザ 8 とフィルタ 14 により所望のエネルギー分布を有し、高速回転する拡散板 13 を透過させることにより可干渉性を失ったアニール用のレーザー光 105 を対物レンズ 25 で集光照射する。照射する領域は、例えば各画素を駆動するためのドライバ回路を形成する部分で、必要に応じて多結晶シリコン薄膜基板 100 を相対的に移動させながら複数回往復させながら必要な部分のみに順次照射する。装置の構成によっては、光学系を移動することで、相対的に走査しても良い。

【0041】

より具体的には、図 21 (a) に示すようなエネルギー密度分布を有するレーザー光 105 を照射する。幅方向のエネルギー密度分布は図 21 (b) に示すように傾きを有しており、走査する方向にエネルギー密度が大きくなっている。また、長手方向のエネルギー密度分布は図 21 (c) に示すように一定のエネルギー密度分布になっている。また、パルス波形は図 21 (d) に示すように、始めの一定時間は一定のエネルギーで、その後直線的に減少する波形になっている。

10

【0042】

照射領域の大きさは、例えば $500\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ の矩形に設定する。この大きさはレーザー発振器 3 の出力で決まり、十分に大きな出力での発振が可能であれば、より大きな領域に照射することができる。図 21 (b) に示した幅方向のエネルギー密度は、走査する方向に向かって前方側のエネルギー密度を対辺側に比べて 20% 大きく直線的に変化するよう設定する。また、図 21 (d) に示したように、レーザー光 105 の照射時間 (パルス幅) は最初の $10\ \mu\text{s}$ をエネルギー一定に、続く $5\ \mu\text{s}$ で直線的に減少するように設定する。多結晶シリコン薄膜基板 100 を $100\ \text{mm/s}$ の速度で相対的に移動させながら、 $25\ \mu\text{m}$ ピッチで照射する。これにより、概ね $500\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ のレーザー照射領域 (上記した $15\ \mu\text{s}$ のレーザー照射時間中の移動距離を考慮すると、より厳密にはおよそ $500\ \mu\text{m} \times 21.5\ \mu\text{m}$ のレーザー照射領域) が $25\ \mu\text{m}$ ピッチで形成されることになる。

20

【0043】

ここで、正確に $25\ \mu\text{m}$ ピッチでレーザー光 105 を照射するには、ステージ 28 あるいは多結晶シリコン薄膜基板 100 の移動距離を検出して、 $25\ \mu\text{m}$ 移動する度に EOM モジュレータを駆動させればよい。より具体的には、多結晶シリコン薄膜基板 100 を載置したステージ 28 に、リニアエンコーダあるいはリニアスケールなどの測長器を設置し (図示せず)、あるいはステージ 28 の駆動軸にロータリエンコーダを設置し、 $25\ \mu\text{m}$ の移動に相当するエンコーダ出力パルスをカウントして、EOM モジュレータを駆動するトリガ信号を発生させればよい。この方式では、ステージ 28 の速度が多少変動しても、正確に $25\ \mu\text{m}$ ピッチで照射することができる。当然、レーザー光 105 を照射している間は、ステージ 28 が定速移動することが望ましく、定速移動している場合には一定の時間間隔 (上記の場合、 $250\ \mu\text{s}$ 間隔) で EOM モジュレータを駆動しても良いが、ステージ 28 の速度変動・速度むらを考慮すると、移動距離を検出する方式がより望ましいことは明らかである。

30

【0044】

図 15 に示すように、本実施例では、多結晶シリコン薄膜 103 をエキシマレーザーでアニールした基板を用いる。エキシマレーザーによるアニールで得られた多結晶シリコン薄膜 103 は、結晶粒径が $1\ \mu\text{m}$ 以下 (数 $100\ \text{nm}$) の微細な結晶粒 120、121 の集合体である。図中に示した領域にレーザー光を照射すると、レーザー照射領域外の微細結晶粒 120 はそのまま残るが、レーザー照射領域内の微細結晶粒 (例えば結晶粒 121) は溶融する。その後、レーザーエネルギーが低減あるいは照射が停止されることにより、溶融したシリコンは溶融部周辺に残留している結晶粒を種結晶として、種結晶の結晶方位にならった結晶が温度勾配に従って低温側から高温側へ成長して行く。この時の結晶粒の成長速度は結晶方位によって異なるため、最終的には最も成長速度の早い結晶方位を持つ結晶粒だけが残る。即ち、図 16 に示すように、成長速度の遅い結晶方位をもつ結晶粒 122 は、周囲の成長速度の早い結晶方位をもつ結晶粒の成長に抑えられ、結晶成長が止まる。また、成長速度が中程度の結晶方位を持つ結晶粒 123、124 は成長を続けるが、さらに成長

40

50

速度の大きい結晶粒の成長に抑えられ、やがて成長が停止する。最終的には成長速度の最も大きな結晶方位を持つ結晶粒125、126、127のみが成長を続ける。これら、最後まで結晶成長が続いた結晶粒125、126、127は、厳密な意味では独立した結晶粒であるが、ほとんど同じ結晶方位を有しており、熔融再結晶した部分は実効的にほぼ単結晶と見なすことができる。レーザー光を上記したように多結晶シリコン薄膜103に照射することにより、図13(c)に示すように、多結晶シリコン薄膜103中にレーザー光105を照射した部分のみが島状にアニールされて特定の結晶方位を有する結晶粒のみが成長し、厳密な意味では多結晶状態であるが、ほぼ単結晶に近い性質を有する領域106が形成されたことになる。特に、結晶粒界を横切らない方向においては、実質的に単結晶と考えても良い。

10

【0045】

多結晶シリコン薄膜基板100を相対的に走査しながらこの手順を繰り返し、順次アニールの必要な部分にレーザー105を照射することにより、ドライバ回路のトランジスタを形成する領域をすべて、ほぼ単結晶に近い性質を有する領域106に変換することができる。更に、単結晶に近い性質を有する領域106は図16に示したように、結晶粒が一定方向に成長しているため、トランジスタを形成した際に、電流が流れる方向と結晶粒の成長方向を一致させることにより、結晶粒界を横切るように電流が流れるのを避けることができる。結晶粒の成長方向は照射するレーザー光105のエネルギー密度分布およびレーザー光の走査方向(実際にはステージの走査方向)で制御することができる。即ち、図21(b)に示すように、エネルギー密度分布に傾きを持たせると、結晶粒はエネルギー密度の低い方(低温側)から結晶化が始まり、エネルギー密度の高い方(高温側)に成長する。また、レーザー光105を走査することで、照射領域から外れた部分から温度が低下して結晶化が始まり、レーザー光の走査する方向に結晶が成長して、本実施例によれば、幅方向にはエキシマレーザーでアニールして得られた結晶粒径1 μ mよりも大きく成長し、長さ方向には10 μ m以上に成長した大きな結晶粒を得ることができる。

20

【0046】

そこで、図19に示すようにレーザー照射領域301のうち、成長速度の速い結晶粒のみで構成された部分が駆動用トランジスタの能動層(活性領域)302、303となるように、位置合わせすればよい。不純物拡散工程およびフォトエッチング工程を経て、活性領域302、303以外を除去し、図20に示すようにフォトレジスト工程により、ゲート絶縁膜を介したゲート電極305、オーミックな接続を有するソース電極306およびドレイン電極306を形成してトランジスタが完成する。ここで、活性領域303には結晶粒界304、304'が存在する。しかし、電流はソース電極306とドレイン電極307の間を流れるため、電流が結晶粒界304、304'を横切ることがなく、実質的に単結晶で構成された場合と等価な移動度が得られる。

30

【0047】

上記のように本発明のレーザーアニールにより熔融再結晶した部分は、電流の流れる方向を、結晶粒界を横切らない方向に一致させることで、その移動度はエキシマレーザーによるアニールを行っただけの多結晶シリコン薄膜103と比較して、2倍以上に改善することができる。この移動度は、高速に駆動できる液晶のドライバ回路を形成するに十分な値である。

40

【0048】

一方、画素部のスイッチング用トランジスタは、エキシマレーザーによるアニールを実施しただけの多結晶シリコン薄膜103の領域で形成する。エキシマレーザーによるアニールで得られた多結晶膜は結晶粒が微細で結晶方向もランダムなため、本発明のレーザーアニールで得られた結晶粒に比べて移動度は小さいが、画素部のスイッチング用トランジスタに使用するには十分である。場合によっては、画素部のスイッチング用トランジスタとして非晶質シリコン膜でも十分に使える。この場合、エキシマレーザーによるアニールを、駆動回路を形成する部分のみに限定して行い、その後、本発明のレーザーアニール方法を実施すればよい。

50

【 0 0 4 9 】

上に述べた手順は図 2 4 及び図 2 5 に示すフローチャートにまとめることができる。

【 0 0 5 0 】

即ち、基板上に絶縁膜形成、a - S i 膜形成を行い、エキシマレーザアニールを行った後に本発明のレーザアニールを、駆動回路を形成する部分のみに行う。本発明のレーザアニールを更に詳細に述べると、図 2 5 に示すような手順でエキシマレーザアニールを実施した基板を本発明のレーザアニール装置に搭載し、基板端面あるいは角部でプリアライメントを行い、レーザ加工によりアライメントマークを形成する。このアライメントマークを検出してアライメント（精アライメント）を行った後、設計データに従って駆動回路を形成する部分のみにレーザアニールを実施する。レーザアニール装置に搭載された時点で、
10
フォトレジストプロセスによりアライメントマークが形成されている場合には、プリアライメント、アライメントマーク形成の工程は不要である。所望の領域が全てアニールされるまで繰り返した後、基板を搬出する。この後、図 2 4 のフローチャートに示すように、アライメントマーク 1 0 4、1 0 4 ' を基準に、あるいはアライメントマーク 1 0 4、1 0 4 ' から算出される原点座標を基準に、フォトエッチング工程により、多結晶シリコン膜の必要な部分のみに島状に残す。その後、フォトレジスト工程により、ゲート絶縁膜形成、ゲート電極形成を経て、不純物拡散、および拡散領域活性化を行う。その後、層間絶縁膜形成、ソース・ドレイン電極形成、保護膜（パッシベーション膜）形成などのフォトレジスト工程を経て、図 1 4 (a) に示すように、多結晶シリコン薄膜基板 1 0 0 に駆動回路 1 0 7、1 0 7 ' と画素部 1 0 9 が形成され、T F T 基板が完成する。尚、アライメント
20
マーク 1 0 4、1 0 4 ' は本発明のレーザアニールを行った後、少なくとも 1 回のフォトレジスト工程で位置合わせに用いられる。その後は上記フォトレジスト工程で新たに形成したアライメントマークを使用しても良い。

【 0 0 5 1 】

その後、配向膜形成、ラビングなどの工程を経た T F T 基板に、図 1 4 (b) に示すようにカラーフィルタ 1 0 9 を重ねて液晶材料を封入する L C D 工程（パネル工程）、および図 1 4 (c) に示すようにバックライト（図示せず）などと一緒シャーシ 1 1 0 内に組み込むモジュール工程を経て、高速ドライバ回路を有する液晶表示装置が完成する。

【 0 0 5 2 】

本発明のレーザアニールを適用して製造された液晶表示装置を搭載した製品の一例として、
30
図 2 6 (a) に示すような液晶テレビ 4 0 1 のディスプレイ部、図 2 6 (b) に示すような携帯電話 4 0 2 のディスプレイ部、あるいは図 2 6 (c) に示すようなノート形パソコン 4 0 3 のディスプレイ部のほか、自動車のダッシュボードに格納される各種計器のディスプレイ部、携帯型ゲーム機のディスプレイ部などが上げられる。

【 0 0 5 3 】

次に、本発明のレーザアニール装置の別な実施例について、図 1 7 を用いて説明する。

【 0 0 5 4 】

本実施例では、複数のパネル 2 0 0、2 0 0 '、2 0 0 " が取得できる大形の基板 2 0 1 を載置するステージ 2 0 2 と、レーザ照射光学系を備えた複数の光学鏡筒 2 0 3、2 0 3 '、2 0 3 " と、上記光学鏡筒の各々を独立に位置調整するための調整ステージ 2 0 4 (
40
光学鏡筒 2 0 3 '、2 0 3 " 用の調整ステージは図示せず) と、上記調整ステージ 2 0 4 を保持するための架台 2 0 5 (図中では一部分を表示) から構成されている。

【 0 0 5 5 】

光学鏡筒 2 0 3 内部には図 1 8 に示すように、レーザ発振器 2 1 0、シャッタ 2 1 1、ビームエキスパンダ 2 1 2、E O モジューレータ 2 1 3、ビームホモジナイザ 2 1 4、高速回転拡散板 2 1 5、矩形スリット 2 1 6、対物レンズ 2 1 7、C C D カメラ 2 1 8、および所望のエネルギー密度分布を得るためのフィルタ 2 1 9 等から構成されたレーザ照射光学系が納められている。尚、図 1 8 においては、観察用照明装置、参照光用光源装置、観察用モニタ、拡散板高速回転機構、自動焦点光学系、画像処理装置、制御装置等は省略してあるが、基本的には図 1 に示した構成を有する。また、各部分の機能については図 1 に示し
50

たレーザアニール装置と同様であり、ここでは詳細には触れない。異なる点は、複数組（図17においては3組）のレーザ照射光学系がそれぞれ独立の光学鏡筒203、203'、203"に納められ、それぞれが独立にXYZに移動可能な調整ステージ204上に固定されていて、各光学鏡筒203、203'、203"が各パネルの同一箇所にレーザ光を照射できるように位置の調整が可能であり、同時に複数箇所をレーザアニールできる点にある。

【0056】

次に上記したレーザアニール装置によるレーザアニール方法を説明する。基板201として、図13(a)に示したように、ガラス基板101の1主面に絶縁体薄膜102を介して非晶質シリコン薄膜を形成し、エキシマレーザ光を全面走査することで多結晶シリコン薄膜103に結晶化させた多結晶シリコン薄膜基板100と同様の構成を有する基板を用いる。ここで、絶縁体薄膜102はSiO₂あるいはSiNあるいはそれらの複合膜である。多結晶シリコン薄膜基板201には複数のパネルが形成されるようになっている（図17においては3パネルが、1基板上に形成される）。

【0057】

基板201をステージ202上に載置する。この多結晶シリコン薄膜基板201には、各パネル200、200'、200"が形成される領域の複数箇所にアライメントマーク（図示せず）が形成されている。これらアライメントマークは通常、フォトリソ技術で形成するが、この目的だけでフォトリソ工程を実施するのは無駄が多い。このため、多結晶シリコン薄膜基板201の角部を検出して概略のアライメントを行った後、1つの光学鏡筒（例えば203）でレーザアニールに使用するレーザ光を矩形スリット216で、例えば縦長と横長の矩形に成形して多結晶シリコン薄膜を除去加工することで順次各パネル200、200'、200"の複数箇所に十字マークを形成し、アライメントマークとすることができる。あるいは各光学鏡筒203、203'、203"を予め設定した基準位置に位置決めした後、同時に各パネル203、203'、203"の複数箇所に十字マークを形成し、アライメントマークとすることができる。

【0058】

次に、一つの光学鏡筒（例えば203）のCCDカメラ218で2箇所のアライメントマークを順次撮象し、その重心位置を検出して、アライメントマークを基準に設計上の座標に従って、ステージ202をXY 3軸で移動させて基板201の精アライメントを行う。尚、アライメントマークの検出にアニールを実施するための光学鏡筒のCCDカメラを使用したか、アライメント用光学系を別途設けても良い。この場合、1箇所の光学系で順次複数のアライメントマークを検出しても良いし、複数の光学系で同時に複数のアライメントマークを検出しても良い。

【0059】

しかる後、設計上の座標に従い、各パネル200、200'、200"のアライメントマークのうち、各1箇所が各光学鏡筒の視野内に入るようにステージ202を移動させ、各光学鏡筒203、203'、203"のCCDカメラ218でアライメントマークを撮象し、その重心が視野中央に一致するよう、各光学鏡筒203、203'、203"の調整ステージ204で調整する。これにより、各光学鏡筒203、203'、203"は基板201上に形成されたパネル200、200'、200"の同一箇所を照射するように位置調整されたことになる。その後、前述したように設計データに従い、各パネル200、200'、200"の駆動回路の能動層（活性領域）が形成される部分のみにレーザ光を照射して、アニールを行う。照射されるレーザ光は前述したように、EOモジュレータ213により任意のパルス波形を有し、ホモジナイザ214と必要に応じて透過率フィルタにより所望のエネルギー密度分布を有し、高速回転する拡散板215を透過させることにより拡散されて可干渉性を失い、矩形スリット216で矩形に成形されて、対物レンズ217により集光照射される。必要に応じ、ホモジナイザ214からの出力は矩形形状あるいは線状に形成されるように構成される。

【0060】

10

20

30

40

50

レーザ光が照射される領域は、例えば各画素を駆動するためのドライバ回路を形成する部分で、ステージ202を駆動させて多結晶シリコン薄膜基板201を走査しながら必要な部分のみに順次照射する。この時、各光学鏡筒203、203'、203"は自動焦点機構(図示せず)により、各光学鏡筒203、203'、203"を搭載している調整用ステージ204をそれぞれ独立にZ方向に駆動して、全ての対物レンズが基板201表面と一定の位置関係になるように制御される。

【0061】

1枚の基板に小型のパネルが多数並んでいる場合には、数パネルおきにアニールを実施し、1パネル分だけ移動した後、再度アニールを実施する手順を繰り返すことで、全パネルのアニールを行うことができる。即ち、図22(a)に示したように、基板251に9列のパネルが形成されていて、3個の光学鏡筒でアニールする場合を例に説明する。

【0062】

まず、3個の光学鏡筒250、250'、250"で基板251の右側から3列毎にアニールを実施する。1列目、4列目、7列目のパネルにアニールが終了して溶融再結晶領域252、252'、252"が形成されると、図22(b)に示すように、基板251を1パネル分だけ右に移動させるか、あるいは光学鏡筒250、250'、250"を1パネル分だけ左に移動させて、2列目、5列目、8列目のパネルにアニールを実施する。同様にさらに1パネル分だけ移動させた後、3列目、6列目、9列目のパネルのアニールを実施して基板251のアニールが終了する。必要に応じて、図示した走査方向に直角な方向に走査する場合は、基板251を90度回転しても良いし、レーザ光の幅方向と長手方向を切り換え、走査方向を変えても良い。走査方向を変える場合はまず、図23(a)に示すように、1行目のパネルを各光学鏡筒で250、250'、250"で基板251の右から3パネルずつ、アニールを実施して溶融再結晶領域254、254'、254"を形成する。次いで図23(b)に示すように、走査方向と直交する方向に1パネル分だけステージあるいは光学鏡筒を移動させ、2行目のパネルを3パネルずつアニールする。この手順を必要な回数だけ繰り返して全パネルのアニールを行い終了する。

【0063】

基板201に形成されている多結晶シリコン膜は図15で説明したように、1ミクロン以下(数100nm)の微細結晶粒集合体である。この微細結晶粒集合体にレーザ光を照射すると、レーザ照射領域外の微細結晶粒はそのまま残るが、レーザ照射領域内の微細結晶粒は溶融する。その後、溶融したシリコン膜は溶融部周辺に残留している結晶粒を種結晶として、種結晶の結晶方位にならった結晶が成長して行く。この時の結晶粒の成長速度は結晶方位によって異なるため、最終的には最も成長速度の早い結晶方位を持つ結晶粒だけが残る。即ち、図16に示すように、成長速度の遅い結晶方位をもつ結晶粒122は、成長速度の早い結晶方位をもつ結晶粒の成長に抑えられ、結晶成長が止まる。また、成長速度が中程度の結晶方位を持つ結晶粒123、124は更に成長を続けるが、成長速度の大きい結晶粒125、126、127の成長に抑えられ、やがて成長が停止する。最終的には成長速度の大きな結晶方位を持つ結晶粒125、126、127のみが成長を続ける。これら、最終的に形成された結晶粒125、126、127は、厳密な意味では独立した結晶粒であるが、ほとんど同じ結晶方位を有しており、溶融再結晶した部分は実効的に単結晶と見なすことができる。即ち、図13(c)に示すように、多結晶シリコン薄膜103中にレーザ光105を照射した部分のみが島状にアニールされて特定の結晶方位を有する結晶粒のみが成長し、厳密な意味では多結晶状態であるが、ほぼ単結晶に近い性質を有する領域106が形成されたことになる。

【0064】

基板201を走査しながらこの手順を繰り返し、順次アニールの必要な部分にレーザ光を照射することにより、ドライバ回路のトランジスタを形成する領域をすべて、ほぼ単結晶に近い性質を有する領域に変換することができる。更に、単結晶に近い性質を有する領域は図16に示したように、結晶粒が一定方向に成長するため、トランジスタを形成した際に、電流が流れる方向と結晶粒の成長方向を一致させることにより、電流が結晶粒界を横

10

20

30

40

50

切るのを避けることができる。結晶粒の成長方向は照射するレーザー光のエネルギー分布およびレーザー光の走査方向（実際にはステージの走査方向）で制御することができる。即ち、エネルギー密度分布に傾きを持たせると、エネルギー密度の低い方（低温側）から結晶化が始まりエネルギー密度の高い方（高温側）に成長する。

【0065】

また、レーザー光を走査することで、照射領域が移動して照射領域から外れた部分から温度低下が始まるために結晶化が始まり、レーザー光の走査する方向に結晶が成長して、本実施例によれば、幅方向にはエキシマレーザーでアニールして得られた結晶粒径 $1\ \mu\text{m}$ よりも大きく成長し、長さ方向には $10\ \mu\text{m}$ 以上に成長した大きな結晶粒を得ることができる。本実施例によれば、 $10\ \mu\text{m}$ 以上の大きな結晶粒を得ることができる。そこで、図19に示すようにレーザー照射領域301のうち、成長速度の速い結晶粒のみで構成された部分が駆動用トランジスタの能動層（活性領域）302、303となるように、位置合わせすればよい。不純物拡散工程およびフォトエッチング工程を経て、活性領域302、303以外を除去し、図20に示すようにフォトリソ工程により、ゲート絶縁膜を介したゲート電極305、オーミックな接続を有するソース電極306およびドレイン電極307を形成してトランジスタが完成する。ここで、活性領域303には結晶粒界304、304'が存在する。しかし、電流はソース電極306とドレイン電極307の間を流れるため、電流が結晶粒界304、304'を横切ることがなく、実質的に単結晶で構成された場合と等価な移動度が得られる。即ち、熔融再結晶した部分の移動度はエキシマアニールを行っただけの多結晶シリコン薄膜と比較して2倍以上に改善することができ、これにより高速に駆動できる液晶のドライバ回路を、TFT基板上に形成することができる。

10

20

【0066】

なお、図20に示したトランジスタは1例を示したに過ぎず、これに限定させるものではない。トランジスタとして種々の構造が可能であるが、本発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の構造のトランジスタを形成可能であることは明らかである。

【0067】

一方、画素部のスイッチング用トランジスタはエキシマレーザーによるアニールを実施しただけの多結晶シリコン薄膜103の領域で形成する。即ち、アライメントマークを基準に、あるいはアライメントマークから算出される原点座標を基準に、ゲート絶縁膜形成、ゲート電極形成、不純物拡散、拡散領域の活性化、ソース・ドレイン電極形成、パッシベーション膜形成等のためのフォトリソプロセスを経て、TFT基板が完成する。尚、フォトリソ工程におけるアライメントマークとして、レーザー加工により形成したアライメントマークを少なくとも1回のフォトリソプロセスで位置合わせに用い、その後は上記フォトリソプロセスで新たに形成したアライメントマークを使用しても良い。

30

【0068】

この後、完成したTFT基板に配向膜を形成し、ラビング工程を経たTFT基板に、カラーフィルタを重ねて液晶を封入するLCD（パネル）工程、バックライトなどと一緒にシャーシに組み込むモジュール工程を経て、高速ドライバ回路をガラス基板上に形成した液晶表示装置（いわゆるシステム・オン・パネル）が完成する。

【0069】

【発明の効果】

上記したように、本発明のレーザーアニール装置およびレーザーアニール方法によれば、干渉による影響のない、照射部でアニールに好適なエネルギー密度分布を持ち、最適なパルス幅でかつ時間的にもアニールに好適なエネルギー変化を有するレーザー光を照射することで、非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜などの結晶粒を所望の方向に成長させ、 $10\ \mu\text{m}$ を越える大きさの結晶粒からなる多結晶シリコン薄膜に変換でき、多結晶シリコン薄膜の移動度を大幅に改善できる効果を有する。

【0070】

また、本発明のTFT基板によれば、基板上に高速の駆動回路を作製することができ、いわゆるシステム・オン・パネルが実現できる効果を有する。

40

50

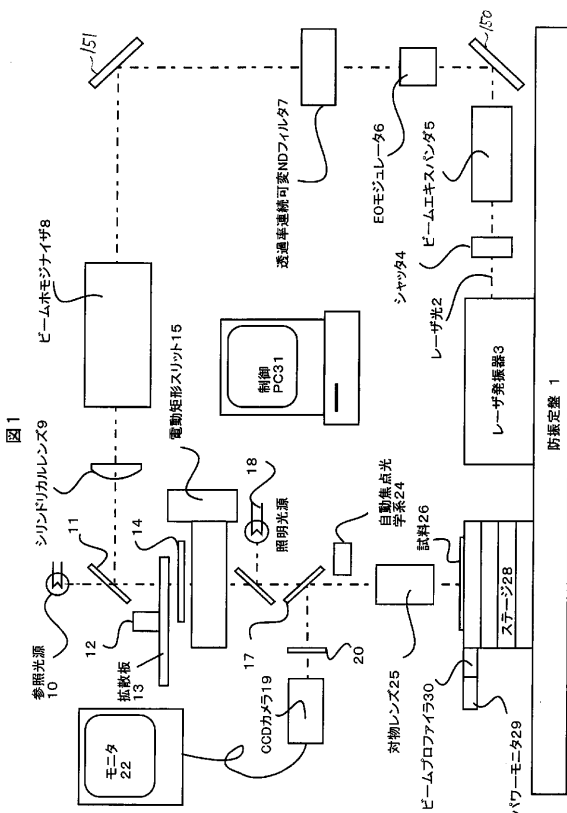
【図面の簡単な説明】

- 【図 1】本発明の 1 実施例のレーザアニール装置の概略構成を示す正面図である。
- 【図 2】本発明の 1 実施例に用いた E O モジュータの斜視図である。
- 【図 3】本発明の 1 実施例に用いた E O モジュータの斜視図である。
- 【図 4】E O モジュータにおける印加電圧と透過率の関係を示すグラフである。
- 【図 5】E O モジュータにおける、レーザ入力と印加電圧とレーザ出力の関係を示すグラフである。
- 【図 6】本発明の 1 実施例に用いた透過率連続可変フィルタの平面図である。
- 【図 7】P 偏光の入射角と反射率の関係を示すグラフである。
- 【図 8】本発明の 1 実施例に用いた複数枚の透明基板を使用した透過率連続可変フィルタの平面図である。 10
- 【図 9】本発明の 1 実施例におけるビームホモジナイザの正面の断面図と光の入射側と出射側とのエネルギー分布を示すグラフである。
- 【図 10】本発明の 1 実施例におけるカライドスコープの正面の断面図と光の入射側と出射側におけるエネルギー分布を示すグラフである。
- 【図 11】本発明の 1 実施例における、矩形スリットと対物レンズと試料の位置関係を示す正面図である。
- 【図 12】本発明の 1 実施例であるレーザアニール装置において、可干渉性レーザ光を投影した場合のエネルギー分布を示すグラフである。
- 【図 13】(a) ~ (c) は、何れも本発明の 1 実施例におけるレーザアニール方法の手順を説明する基板の斜視図である。 20
- 【図 14】本発明の 1 実施例におけるアニール方法を実施する前の結晶状態を示す平面図である。
- 【図 15】本発明の 1 実施例においてアニール方法を実施した後の結晶状態を示す平面図である。
- 【図 16】本発明の別な実施例におけるレーザアニール装置の概略構成を示す斜視図である。
- 【図 17】本発明の別な実施例におけるレーザアニール装置のレーザ照射光学系の概略構成を示す斜視図である。
- 【図 18】本発明によるレーザアニール方法を実施した領域と駆動回路活性領域の位置関係を示す基板の平面図である。 30
- 【図 19】本発明によるレーザアニール方法を実施して形成された駆動回路用トランジスタの構成を示す基板の平面図である。
- 【図 20】(a) 本発明によるレーザアニール方法における照射レーザ光のエネルギー分布を 3 次元的に示す図、(b) 照射レーザ光の幅方向のエネルギー密度を示す図、(c) 照射レーザ光の長手方向のエネルギー密度を示す図、(d) レーザ光のエネルギーの時間変化を示す説明する図である。
- 【図 21】(a) 及び (b) 本発明の他の実施例におけるレーザアニール方法の走査方法を説明する基板の平面図である。
- 【図 22】(a) 及び (b) 本発明の他の実施例におけるレーザアニール方法の走査方法を説明する基板の平面図である。 40
- 【図 23】本発明のレーザアニール方法を適用した液晶表示装置製造工程を示すフローチャートである。
- 【図 24】本発明のレーザアニール工程を示すフローチャートである。
- 【図 25】(a) ~ (c) は、何れも本発明によるレーザアニールを適用した T F T 基板で構成された液晶表示装置の適用製品例を示す斜視図である。
- 【図 26】(a) 液晶テレビの斜視図、(b) 携帯電話の斜視図、(c) ノート形パソコンの斜視図である。
- 【符号の説明】
- 1 …… 防振定盤 2 …… レーザ光 3 …… レーザ発振器 4 …… シャッタ 5 …… ビ 50

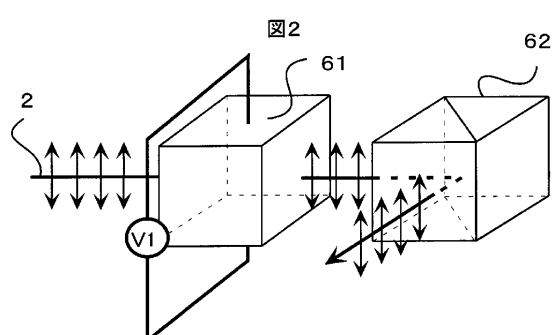
ームエキスパンダ 6 EOモジュレータ 7 透過率連続可変フィルタ 8 ...
 ...ビームホジナイザ 13 拡散板 15 電動矩形スリット 25 対
 物レンズ 28 ステージ 61 ポッケルス・セル 62 偏光ビームス
 プリッタ 71、72 石英版 81 ロッドレンズ 85 カライドスコ
 ープ 101 ガラス基板 102 絶縁物薄膜 103 多結晶シリコン
 薄膜 104、104' アライメントマーク 106 溶融再結晶領域 1
 07、107' 駆動回路 108 画素部 109 カラーフィルタ
 110 シャーシ 120、121 微細結晶粒 125、126、127
 レーザニールにより成長した結晶粒 203、203'、203'' 光学鏡筒
 204 光学鏡筒調整用ステージ 301 レーザ照射領域 302、303 ...
 ...活性領域 304、304' 結晶粒界 305 ゲート電極 306
 ソース電極 307 ドレイン電極 401 液晶テレビ 402 携帯電
 話 403 ノート形パソコン

10

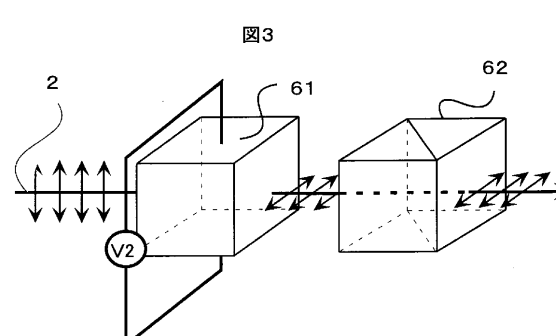
【 図 1 】



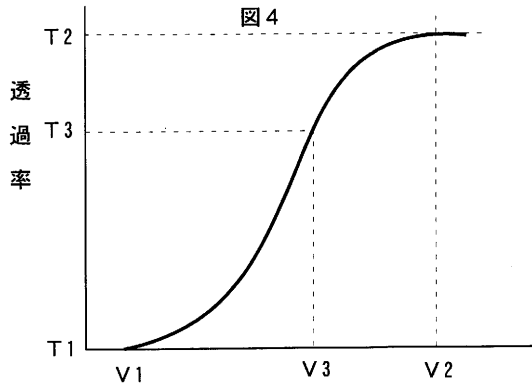
【 図 2 】



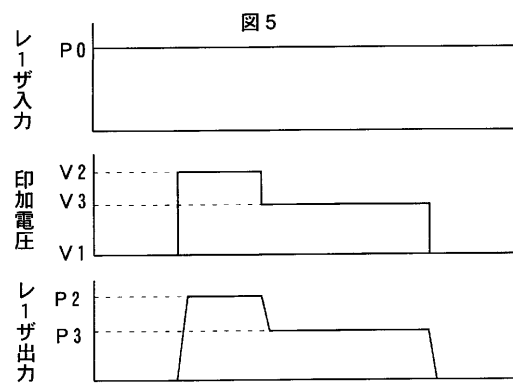
【 図 3 】



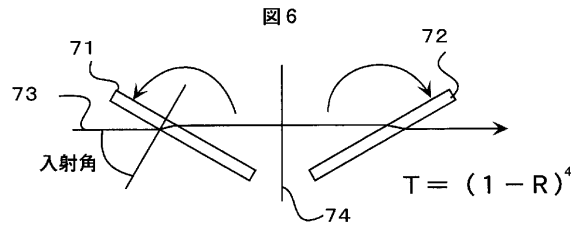
【 図 4 】



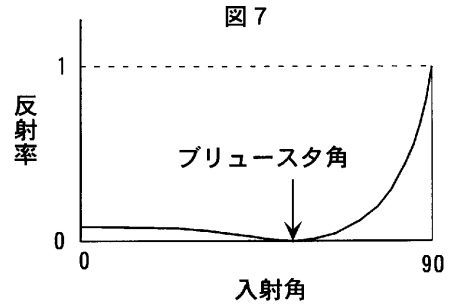
【 図 5 】



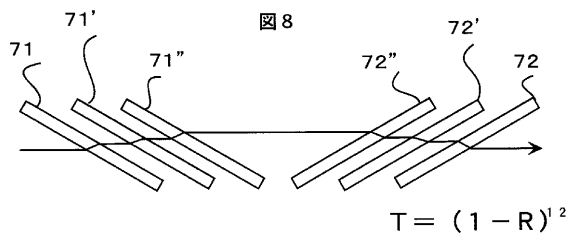
【 図 6 】



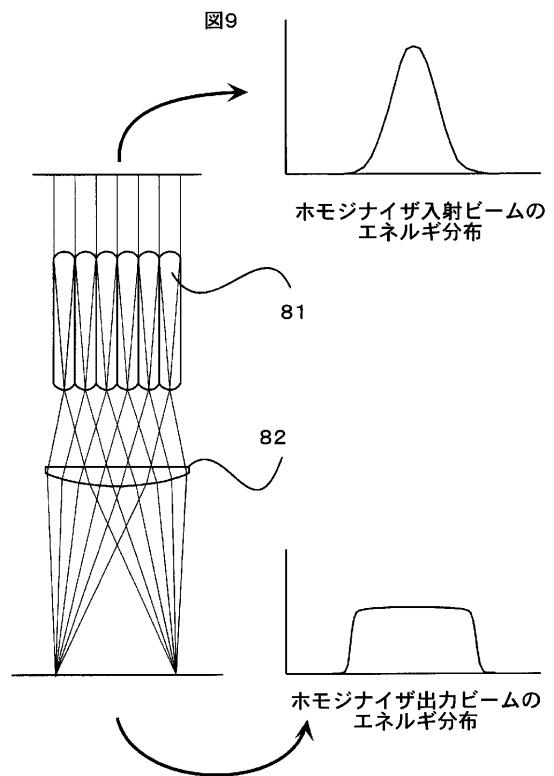
【 図 7 】



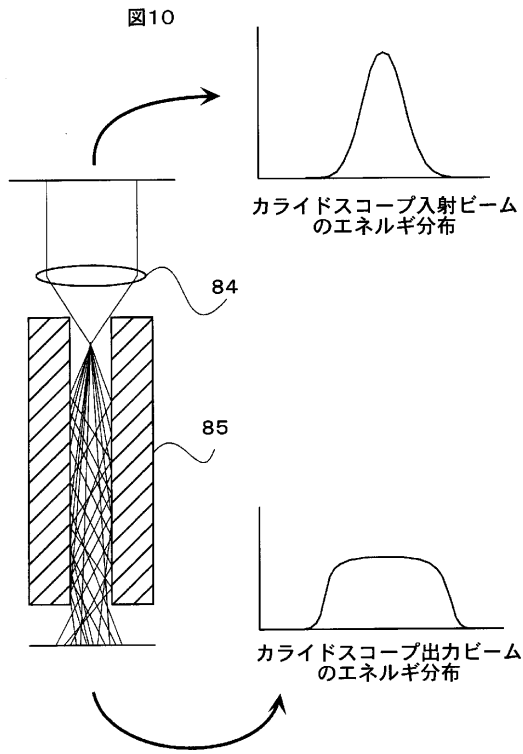
【 図 8 】



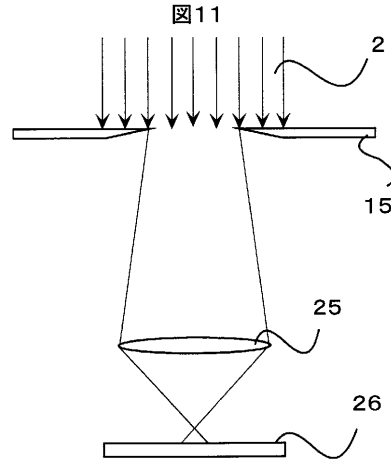
【 図 9 】



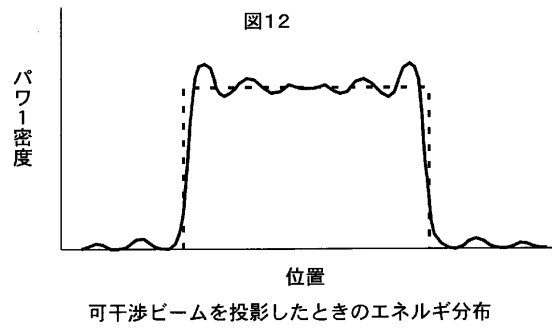
【 図 1 0 】



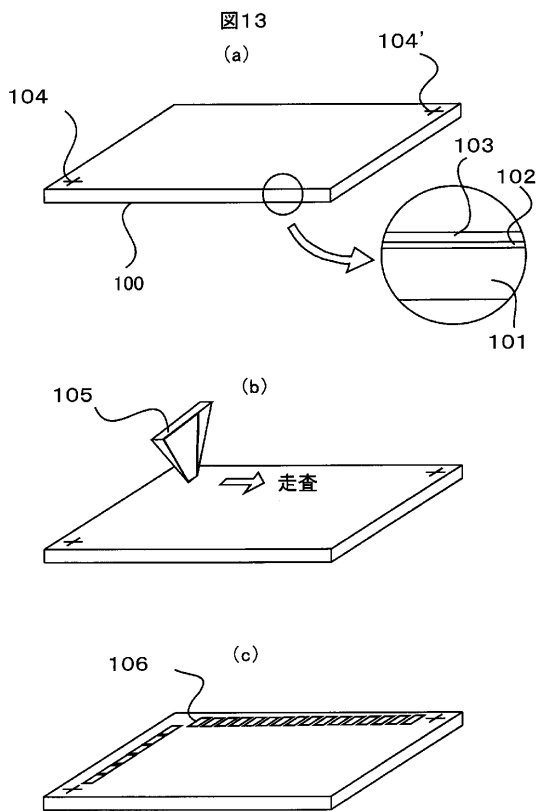
【 図 1 1 】



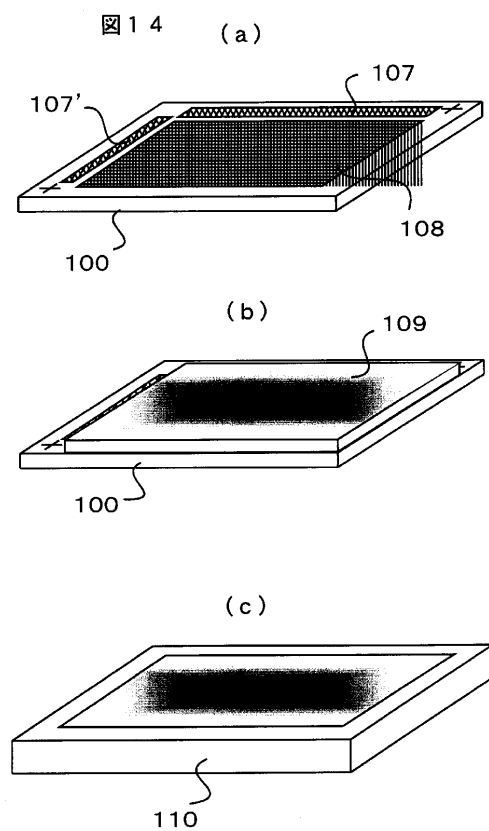
【 図 1 2 】



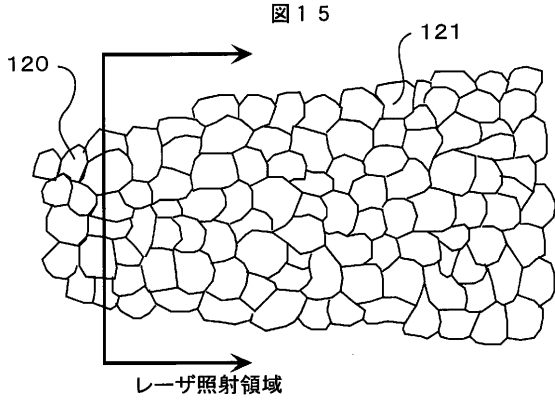
【 図 1 3 】



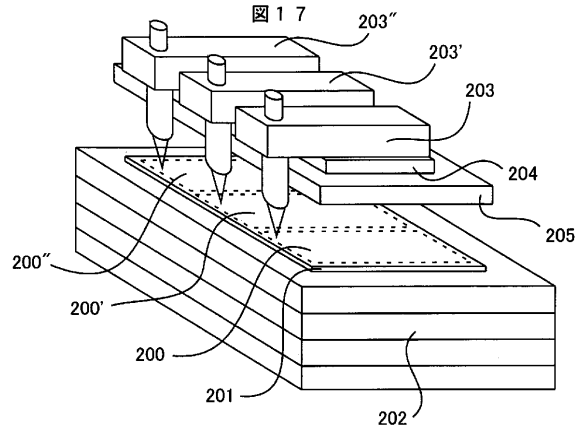
【 図 1 4 】



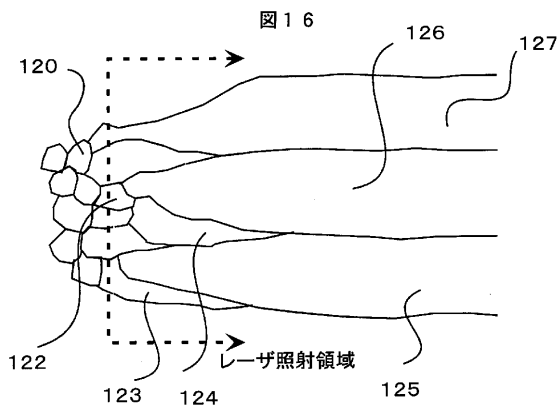
【図15】



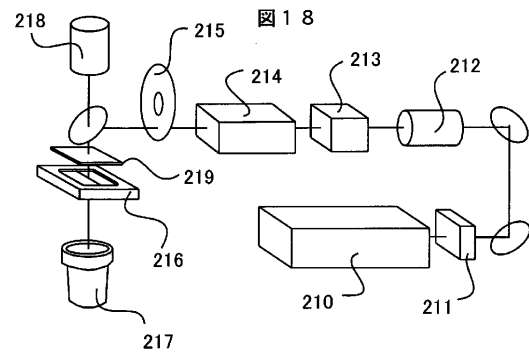
【図17】



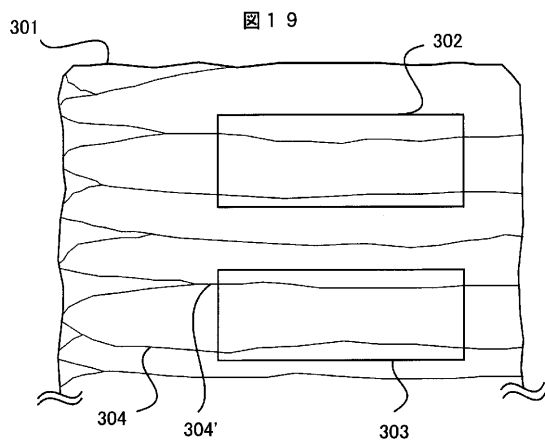
【図16】



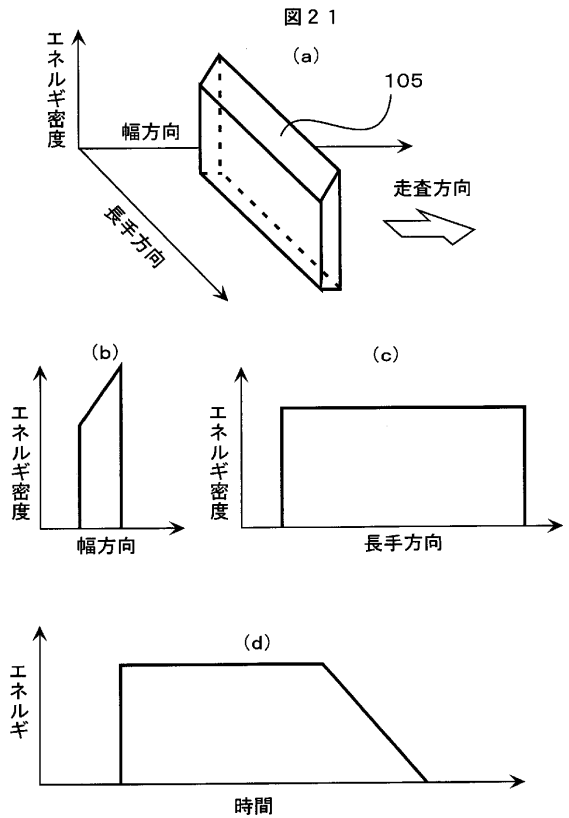
【図18】



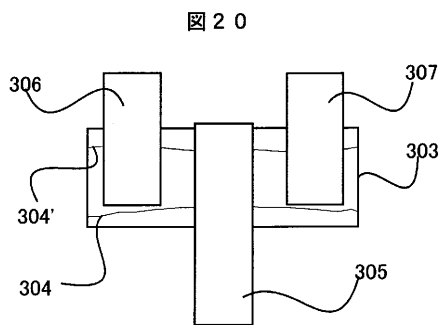
【図19】



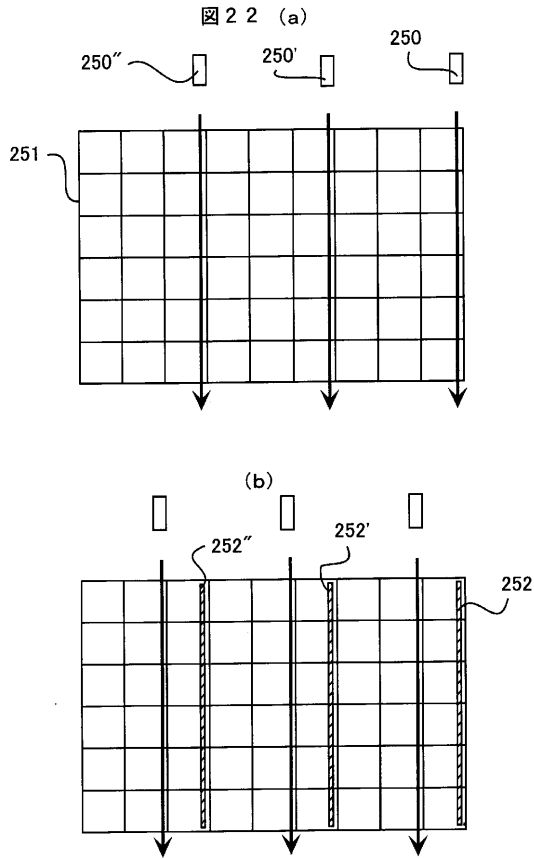
【図21】



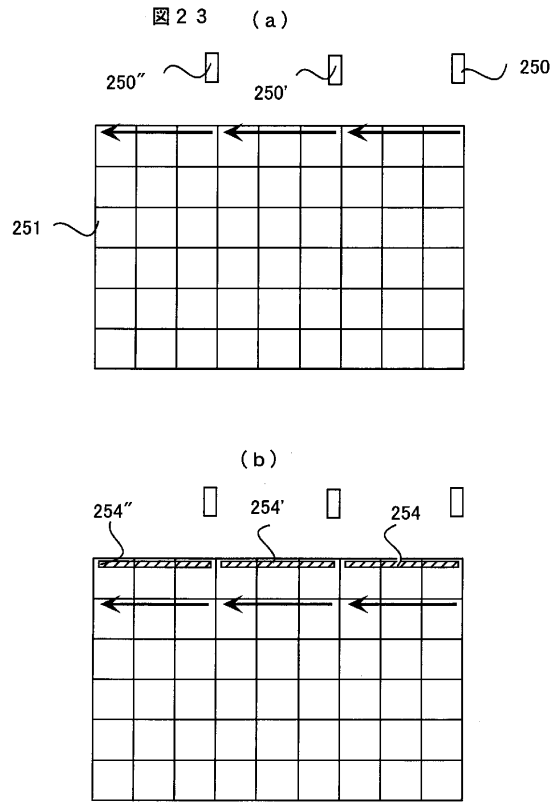
【図20】



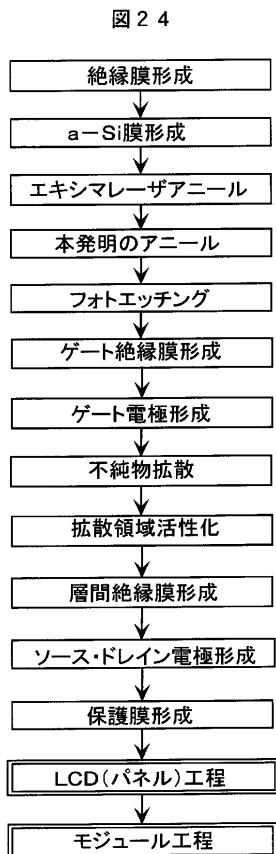
【 図 2 2 】



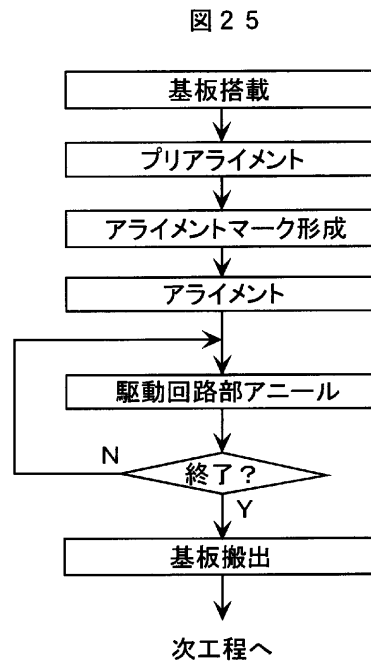
【 図 2 3 】



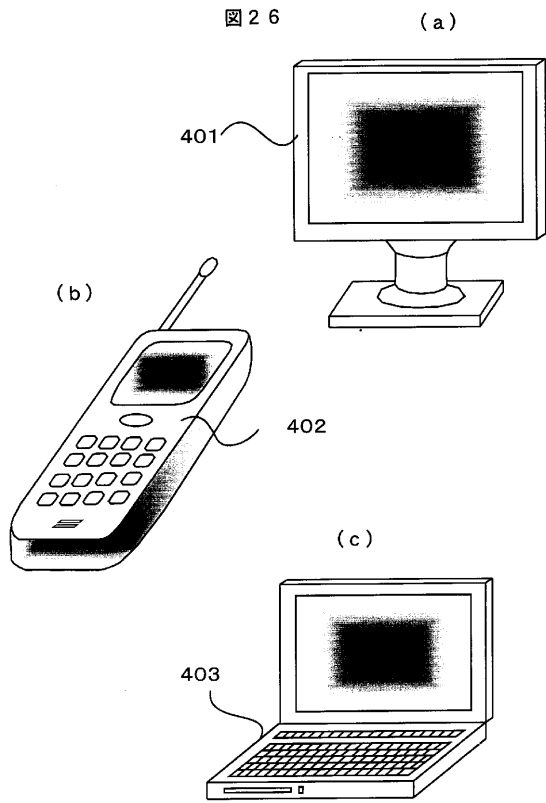
【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 中田 俊彦
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内
- (72)発明者 波多野 睦子
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 山口 伸也
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 大倉 理
千葉県茂原市早野3300番地 株式会社日立製作所ディスプレイグループ内

審査官 綿引 隆

- (56)参考文献 特開平06-045272(JP,A)
特開2001-210851(JP,A)
特開平02-119128(JP,A)
特開平08-195357(JP,A)
特開2001-127003(JP,A)
特開2001-156017(JP,A)
特開2001-142094(JP,A)
特開平07-240415(JP,A)
特開2003-068644(JP,A)
特開2002-110544(JP,A)
特開平10-308548(JP,A)
特開2003-086505(JP,A)
特開2002-222959(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/20
H01L 21/268
H01L 21/336
H01L 29/786