

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5072197号

(P5072197)

(45) 発行日 平成24年11月14日(2012.11.14)

(24) 登録日 平成24年8月31日(2012.8.31)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/20 (2006.01)

H O 1 L 21/20

H O 1 L 21/265 (2006.01)

H O 1 L 21/265 6 O 2 C

H O 1 L 21/268 (2006.01)

H O 1 L 21/268 J

H O 1 L 21/336 (2006.01)

H O 1 L 21/268 T

H O 1 L 29/786 (2006.01)

H O 1 L 29/78 6 2 7 G

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2005-173715 (P2005-173715)

(22) 出願日 平成17年6月14日(2005.6.14)

(65) 公開番号 特開2006-32928 (P2006-32928A)

(43) 公開日 平成18年2月2日(2006.2.2)

審査請求日 平成20年5月22日(2008.5.22)

(31) 優先権主張番号 特願2004-180790 (P2004-180790)

(32) 優先日 平成16年6月18日(2004.6.18)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

前置審査

(73) 特許権者 000153878

株式会社半導体エネルギー研究所

神奈川県厚木市長谷398番地

(74) 代理人 100116159

弁理士 玉城 信一

(72) 発明者 田中 幸一郎

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社

半導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 山本 良明

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社

半導体エネルギー研究所内

審査官 壺 哲次

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ照射装置およびレーザ照射方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ発振器と、ビーム強度可変手段と、凸レンズまたは回折光学素子を有し、

レーザ光を非単結晶半導体膜の照射面に対して斜め方向に入射するように設定されたレーザ照射装置であり、

前記レーザ光は、矩形状、線状または楕円状であり、前記照射面に対し往路と前記往路に対し180度反対方向の復路で照射領域を移動して相対的に走査するとともに、

前記ビーム強度可変手段は、前記照射面が前記レーザ光の入射方向と反対方向に移動する前記往路または前記復路時の前記レーザ光のビーム強度を、前記照射面が前記レーザ光の入射方向と同方向に移動する前記復路または前記往路時の前記レーザ光のビーム強度より弱くして前記非単結晶半導体膜を結晶化し、前記往路と前記復路で前記ビーム強度を変えないものに比べて前記往路及び前記復路での結晶化の均一性を向上することを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項2】

請求項1において、前記凸レンズまたは前記回折光学素子を通過して前記照射面に照射される前記レーザ光のビーム形状は矩形状、線状、または楕円状であることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項3】

請求項1または請求項2において、前記ビーム強度可変手段は、偏光板またはNDフィルタであることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 4】

請求項 3 において、前記偏光板は、複数個であることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項において、前記レーザ発振器からのレーザは、連続発振またはパルス発振の固体レーザまたは気体レーザまたは金属レーザであることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 6】

請求項 5 において、前記レーザ発振器からのレーザは、単結晶の YAG、YVO₄、YLF、YAlO₃、GdVO₄、または多結晶の YAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄ に、ドーパントとして Nd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Ta のうち 1 種または複数種添加されているものを媒質とするレーザ、ガラスレーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti：サファイアレーザから選ばれた一種であることを特徴とするレーザ照射装置。

10

【請求項 7】

請求項 5 において、前記レーザ発振器からのレーザは、Ar レーザ、Kr レーザ、CO₂ レーザから選ばれた一種であることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 8】

請求項 5 において、前記レーザ発振器からのレーザは、10MHz 以上の周波数でパルス発振を行うレーザであることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 9】

20

請求項 8 において、前記レーザ発振器からのレーザは、単結晶の GdVO₄、YVO₄、YAG、または多結晶の YAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄ に、ドーパントとして Nd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Ta のうち 1 種または複数種添加されているものを媒質とするレーザであることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれか一項において、前記レーザ発振器からのレーザは、非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 11】

レーザ発振器より第 1 のレーザ光を発振し、

前記第 1 のレーザ光を、往路と復路でビーム強度を変えるビーム強度可変手段を通して第 2 のレーザ光とし、

30

前記第 2 のレーザ光を凸レンズまたは回折光学素子を通して矩形状、線状または楕円状の第 3 のレーザ光とし、

前記第 3 のレーザ光を非単結晶半導体膜の照射面に対して斜めから入射するとともに前記照射面に対して往路と前記往路に対し 180 度反対方向の復路で照射領域を移動して相対的に走査し、

前記ビーム強度可変手段は、前記照射面が前記レーザ光の入射方向と反対方向に移動する前記往路または前記復路時の前記ビーム強度を、前記照射面が前記レーザ光の入射方向と同方向に移動する前記復路または前記往路時の前記ビーム強度より弱くして前記非単結晶半導体膜を結晶化し、前記往路と前記復路で前記ビーム強度を変えないものに比べて前記往路及び前記復路での結晶化の均一性を向上することを特徴とするレーザ照射方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、例えば半導体材料に対して行われるようなアニールを均一にかつ効率的に行うためのレーザ照射装置（レーザと該レーザから出力されるレーザ光を被照射体まで導くための光学系を含む装置）およびレーザ照射方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、基板上に薄膜トランジスタ（以下 TFT と記す）を製造する技術が大幅に進歩し

50

、アクティブマトリクス型表示装置への応用開発が進められている。特に、多結晶半導体膜を用いたTFTは、従来の非晶質半導体膜を用いたTFTよりも電界効果移動度が高いので、高速動作が可能である。そのため、従来基板の外に設けられた駆動回路を、画素と同一の基板上に形成し、該駆動回路で画素の制御を行うことが試みられている。

【0003】

ところで半導体装置の需要の増大に伴い、その作製には低温化及び短時間化が強く求められるようになってきている。半導体装置に用いる基板もコスト面から石英基板よりも有利な、ガラス基板が採用されるようになってきている。ガラス基板は耐熱性に劣り、熱変形しやすいが、ガラス基板上に多結晶半導体膜を用いたTFTを形成する場合には、レーザアニールを用いることにより低温度で半導体膜の結晶化を容易に行うことができる。

10

【0004】

それとともにレーザアニールは、輻射加熱あるいは伝導加熱を利用するアニール法と比較して処理時間を大幅に短縮できることや、基板上に形成された半導体膜を選択的、局所的に加熱して、基板に殆ど熱的損傷を与えない利点を有している。

【0005】

レーザアニールに用いられるレーザ発振器はその発振方法により、パルス発振と連続発振の2種類に大別される。エキシマレーザは出力が大きく、高周波数での繰り返し照射が可能であるという利点を有する。さらにエキシマレーザの発振器から発振されるレーザビームは半導体膜としてよく用いられる珪素膜に対しての吸収係数が高いという利点を有している。そして、レーザビームの照射には、照射面におけるレーザビームの形状が矩形状、線状、または楕円状となるように光学系にて整形し、ビームを照射面に対して矩形状、線状または楕円状にしたビームの短軸方向に相対的に移動させて照射する方法は、生産性が高く工業的に優れている。現在では、この手法を用いて結晶化した半導体膜を用いてTFTを形成し、液晶ディスプレイやEL（エレクトロルミネセンス）ディスプレイを作製することが多く行われている。

20

【0006】

一方、連続発振のレーザビーム（以下、CWレーザビームと呼ぶ）を矩形状、線状または楕円状に整形し、照射面に対し矩形状、線状、または楕円状にしたビームの線幅方向（短軸方向）に対して基板を相対的に移動させることで、移動方向に結晶粒が長く伸びた大粒径結晶ができる。大粒径結晶の結晶粒が伸びた方向に合わせてTFTを作製した場合、エキシマレーザで作製したTFTに比べ、移動度の高いTFTが作製できる。このCWレーザビームで作製したTFTを用いれば回路を高速で駆動させることができるため、ディスプレイ駆動用ドライバ回路やCPUなどを作製することが可能である。

30

【0007】

従来、図8に示すレーザ照射装置が知られている。このレーザ照射装置は、複数個のシリンドリカルレンズアレイ等を有し、レーザ発振器1から出射したレーザ光を、複数個のシリンドリカルレンズアレイ2～6により複数の光に分割乃至集光し、ミラー7で反射した後、2枚のシリンドリカルレンズアレイで構成されるダブレットシリンドリカルレンズ8により、再び1つの矩形状、線状または楕円状のレーザ光に集光し、照射面9に垂直に照射するものである。そして、形成された矩形状、線状または楕円状のビームを照射面に対し線状ビームの線幅方向に相対的に移動させながら照射することにより、非晶質半導体の全面に対し、レーザアニールを施して結晶化させたり、結晶性を向上させたり、不純物元素の活性化を行う。

40

【0008】

ところが、従来のレーザ照射装置は、上記したように複数個の高価なシリンドリカルレンズアレイを用い、それらを所望の矩形状、線状または楕円状のビームが形成されるように配置する必要がある等、装置が大型化し、且つコストが高いという問題があった。また、レーザアニールを行うにあたって、矩形状、線状または楕円状のビームを照射面、すなわち基板上に形成された半導体膜の表面に対し垂直に照射しているため、その半導体膜の上方から入射するビームが基板の中を通過してその基板の下面で反射し、上方から入射す

50

るビームと半導体膜で干渉する。そのため、均一な結晶性半導体膜が作製できない場合があった。

【 0 0 0 9 】

本出願人は、これら従来のレーザ照射装置が有する弊害を解消した小型で、且つ低コストのレーザ照射装置を既に提案している。そのレーザ照射装置を図 9 に示す。このレーザ照射装置は、凸レンズ 1 3 を用い、この凸レンズ 1 3 に斜めからビームを入射し、入射光を引き伸ばし矩形状、線状または楕円状のビーム 1 4 に形成するとともに、この引き伸ばされたビームを照射面 1 5 に対し斜めに照射するものである。

【 0 0 1 0 】

即ち、このレーザ照射装置は、レーザ発振器 1 1、ミラー 1 2 及び凸レンズ 1 3 等を有し、レーザ発振器 1 1 から出射されたレーザ光を、ミラー 1 2 で反射した後、凸レンズ 1 3 に斜めから入射し、この凸レンズ 1 3 により引き伸ばして矩形状、線状または楕円状のビーム 1 4 に形成し、そのビーム 1 4 を照射面 1 5 に照射するものである。このような構成にすることにより、装置を小型化でき、且つ基板の下面からの反射光による干渉の弊害を防止することができる（特許文献 1 参照）。

【 0 0 1 1 】

しかしながら、上記のレーザ照射装置においても次のような問題を有している。即ち、C Wレーザビームを用いてレーザアニールを行う場合、例えば、1 0 W の 5 3 2 n m の C Wレーザを長さ 3 0 0 μ m、幅 1 0 μ m 程度の楕円状に整形しても、一度のスキャンで形成される大粒径結晶の幅は 2 0 0 μ m 程度である。このため、基板全面を効率よくレーザアニールし結晶化するためには、ビームの一度の走査でできる大粒径結晶の幅ずつ位置をずらしてレーザ光を往復で走査しなければならない。このとき、レーザ光の幅方向の強度分布が、ビームの中央を通り、基板に垂直かつビームの長軸に平行な平面に対して対称でないと、レーザアニール後の結晶化の状態が往路と復路で異なることになる。

【 0 0 1 2 】

ところが、矩形状、線状または楕円状のビームを、照射面に対し斜めに入射し、基板をこのビームの短軸方向に移動すると、後記で説明するように、ビームの往路と復路の移動方向では非晶質半導体膜に照射されるレーザ光の状態が異なり、均一な結晶化を行うことが難しいことが分かった。

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 2 5 7 8 8 5

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 3 】

本願発明は上記の問題を解決することを課題とするものであり、詳細には、照射方向の往路と復路とで照射ビームのエネルギー密度を可変することにより、均一な結晶膜を作製することのできるレーザ照射装置およびレーザ照射方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

上記目的を達成するため、本願発明は以下の構成を採用する。なお、ここでいうレーザアニール法とは、半導体基板または半導体膜にイオン注入などにより形成された損傷領域やアモルファス領域を結晶化させる技術や、基板上に形成された非晶質半導体膜にレーザ照射を行って半導体膜を結晶化させる技術、単結晶ではない半導体膜（上記した単結晶ではない半導体膜をまとめて非単結晶半導体膜と呼ぶ）にニッケルなどの結晶化を促進する元素を導入した後にレーザ照射を行うことによって結晶化をさせる技術などを指している。また、半導体基板または半導体膜の平坦化や表面改質に適用される技術も含んでいる。

【 0 0 1 5 】

本明細書で開示する発明の一つは、レーザ発振器と、ビーム強度可変手段と、凸レンズまたは回折光学素子を有し、レーザ光を照射面に入射するように設定されたレーザ照射装置において、前記レーザ光を前記照射面に対し相対的に走査するとともに、このビーム強度可変手段は走査する方向ごとにビーム強度を可変であることを特徴とする。

【0016】

他の発明の構成は、レーザ発振器と、ビーム強度可変手段と、凸レンズまたは回折光学素子を有し、レーザ光を照射面に入射するように設定されたレーザ照射装置において、前記レーザ光を前記照射面に対し相対的に走査するとともに、このビーム強度可変手段は走査する方向ごとにビーム強度を可変であり、全ての走査方向において前記照射面でのレーザアニール後の結晶化の状態を均一化することを特徴とする。

【0017】

なお、上記の構成において、レーザ光を照射面に対して斜めに入射してもよい。

【0018】

また他の発明の構成は、凸レンズまたは回折光学素子を通して、前記照射面に照射されるレーザ光のビーム形状は矩形状、線状または楕円状であることを特徴とする。

10

【0019】

また他の発明の構成は、前記ビーム強度可変手段は、偏光板であり、偏光板は、複数個からなることを特徴とする。

【0020】

また他の発明の構成は、前記レーザ発振器から出射されるレーザは、連続発振またはパルス発振の固体レーザまたは気体レーザまたは金属レーザであることを特徴とする。そして、固体レーザとしては、単結晶のYAG、YVO₄、YLF、YAlO₃、GdVO₄または多結晶（セラミック）のYAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄に、ドーパントとしてNd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Taのうち1種または複数種添加されているものを媒質とするレーザ、ガラスレーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライトレーザ、Ti：サファイアレーザ、気体レーザとしてはArレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ、金属レーザとして銅蒸気レーザ、金蒸気レーザが挙げられる。さらに、10MHz以上の周波数で発振するパルスレーザを用いてもよい。具体的には、単結晶のYAG、YVO₄、GdVO₄、または多結晶のYAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄にドーパントとしてNd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Taのうち1種または複数種添加されているものを媒質とするレーザを挙げることができる。

20

【0021】

また他の発明の構成は、前記レーザ発振器からのレーザビームは、非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とする。

30

【0022】

また、他の発明の構成は、レーザ発振器よりレーザ光を発振し、このレーザ光を、走査する方向によりビーム強度を変えることができるビーム強度可変手段を通し、凸レンズまたは回折光学素子を通した後に、照射面に入射させ、さらに、照射面に対して相対的に走査することによって、全ての走査方向において前記照射面を等しくアニールすることを特徴とするものである。なお、照射面に対して斜めにレーザ光が入射してもよい。

【発明の効果】

【0023】

本願発明によると、まずは、レーザ光を照射面に対して斜め方向に照射することにより、基板下面よりの反射光との干渉をなくし、エネルギー分布の均一なレーザビームを照射面に照射することができるため、基板上の非単結晶半導体膜を均一にアニールすることができる。

40

【0024】

次いで、走査方向に応じてビーム強度可変手段である偏光板等によりビーム強度を変えて照射する、即ち、往路と復路というように走査方向を変えながら一筆書きのように全照射面を走査することにより、基板上の全非単結晶半導体膜を均一に結晶化することができる。また、連続発振またはパルス発振の固体レーザまたは気体レーザまたは金属レーザ、または10MHz以上の周波数で発振するパルスレーザを用いることにより、大粒径の結晶を作製することができるため、移動度の高いTFETを作製することができる。

【0025】

50

そのため、電気特性のバラツキを低減することができ、信頼性を高めることができる。そして、本願発明をTFTの量産ラインに適用すれば、動作特性の高いTFTを効率よく生産することができる。その結果、アクティブマトリクス型の液晶表示装置やアクティブマトリクス型のEL表示装置に代表される半導体装置において、半導体装置の動作特性及び信頼性の向上を実現することができる。さらに、半導体装置の作製工程において、マージンを拡大することができ、歩留まりが向上するため、半導体装置の製造コストの低減を実現させることができる。

【実施例1】

【0026】

図1にレーザ照射装置の一例を示す。まず、非単結晶半導体膜106を成膜した基板107を用意する。基板107は、X軸ステージ108及びY軸ステージ109上に置かれ、該X軸ステージ108及びY軸ステージ109を図示しないモータによりそれぞれ矢印の方向に移動することにより、X軸及びY軸方向に自在に移動可能にされる。X軸ステージ108の往路及び復路の走査方向は、矢印で示す通りである。

【0027】

レーザ照射装置は、レーザ発振器101、2枚の偏光板102、103、ミラー104及び凸レンズ105から構成される。レーザ発振器101は、公知のレーザで、即ち、固体レーザとしては単結晶のYAG、YVO₄、YLF、YAlO₃、GdVO₄、または多結晶のYAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄に、ドーパントとしてNd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Taのうち1種または複数種添加されているものを媒質とするレーザ、ガラスレーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライトレーザ、Ti：サファイアレーザのいずれかであり、気体レーザとしてはArレーザ、Krレーザ、CO₂レーザのうちのいずれかであり、金属レーザとして銅蒸気レーザ、金蒸気レーザのいずれかが用いられる。なお、発振周波数が10MHz以上のパルス発振のレーザを用いることもできる。例えば、単結晶のYAG、YVO₄、GdVO₄、または多結晶のYAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄にドーパントとしてNd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Taのうち1種または複数種添加されているものを媒質とするレーザを用いることもできる。

【0028】

また、前記レーザ発振器101から出射されるレーザ光は、非線形光学素子により高調波に変換されていることが望ましい。例えば、YAGレーザは、基本波として、波長1065nmのレーザ光を発振することで知られている。このレーザ光の珪素膜に対する吸収係数は非常に低く、このままでは半導体膜の1つである非晶質珪素膜の結晶化を行うことは技術的に困難である。ところが、このレーザ光は非線形光学素子を用いることにより、より短波長に変換することができ、高調波として、第2高調波(532nm)、第3高調波(355nm)、第4高調波(266nm)、第5高調波(213nm)が挙げられる。これらの高調波は非晶質珪素膜に対し吸収係数が高いので、非晶質珪素膜の結晶化に用いることができる。

【0029】

前記偏光板102(103)は、本願発明のビーム強度可変手段に相当するもので、360度全ての方向に振動する光の中で、一定方向に振動する光のみを通し、それ以外の方向に振動する光を遮断する機能を有する部品である。具体的には、レーザ発振器101から出射したレーザ光を、2枚の偏光板102、103の各々の透過軸がなす角度を調節することで、透過するレーザ光の強度を無段階に変えることができる。このようなビーム強度可変手段を用いる場合は、偏光比が100:1以上のレーザ光を用いることが好ましい。これにより、偏光板で調整できるエネルギーの範囲を0%~99%程度とすることができる。

【0030】

即ち、例えば、偏光板102を固定し、偏光板103を回動自在にして該偏光板103を所定角度回動することにより、偏光板102、103を透過し、ミラー104に向かう

10

20

30

40

50

レーザ光の強度を可変することができる。そしてこの回動角度を無段階に可変することにより、レーザ光の強度を任意の強度に変えることができる。なお、偏光板は1枚でも2枚より多くても良い。

【0031】

前記凸レンズ105に対し斜め上方からレーザ光を入射させると、略円形状の入射光は、レンズの非点収差により、焦線を形成する位置において、X軸ステージ108の移動方向である矢印方向に直交する方向に引き伸ばされる。そして、ビーム120は照射面上において幅W及び長さHからなる矩形状、線状または楕円状のビームとなる。焦線は、2箇所形成されるため、どちらの焦線を選んでも構わない。但し、それら2つの焦線は互いに直交しているため、実施者が適宜選択する必要がある。なお、詳細については本出願人の上記特許文献1を参照。

10

【0032】

この場合、ビームの幅Wをより短くすることで、長さHを長くすることができる。このビームの幅方向にビーム120を走査することで、一度に走査できる領域を広くでき生産性が良く好ましい。

【0033】

前記レーザ照射装置の非単結晶半導体膜106をアニールする手順について説明する。まず、X軸ステージ108及びY軸ステージ109を駆動して、基板107をアニール開始位置に持って行く。次いで、レーザ発振器101からレーザビームを射出し、そのレーザ光を偏光板102、103により膜飛び（非単結晶半導体膜が剥がれたり蒸発したりすること）等がない程度のできるだけ大きなビーム強度に調整し、調整した略円形のビームをミラー104で反射させるとともに、凸レンズ105に対し斜めにかつ凸レンズ105の頂点に入射させる。そして、凸レンズ105でそのビームを細長くし、X軸ステージ108の矢印で示す移動方向に幅Wを有し、その移動方向に直交する方向に長さHを有する矩形状、線状または楕円状のビームを形成し、形成したビームを非単結晶半導体膜106に斜めから照射する。

20

【0034】

そして、X軸ステージ108を入射光方向と同方向である往路方向に移動し、非単結晶半導体膜106をアニールする。往路の最終端まで移動すると、X軸ステージ108の移動を停止し、Y軸ステージ109を略長さHに相当する長さだけY方向に移動させる。

30

【0035】

次いで、偏光板102、103の一方を所定角度回動し、ビーム強度を弱めるとともに、X軸ステージ108を入射光方向の反対方向である復路方向に移動し、非単結晶半導体膜106をアニールする。復路の最終端まで移動すると、X軸ステージ108の移動を停止し、Y軸ステージ109を略長さHに相当する長さだけY方向に移動させる。

【0036】

次いで、偏光板102、103の一方を所定角度回動し、ビーム強度を最初の強いビーム強度に戻し、X軸ステージ108を入射光方向と同方向である往路方向に移動する。その後は上記の動作を繰り返すことにより、非単結晶半導体膜106の全体を一筆書きのように連続してアニールし、これを結晶化させる。なお、ビーム強度を可変することなく往路或いは復路のみを用いて走査し、基板全面をアニールすることもできるが、このようなアニールは、上記の往復動作で処理した場合に比べ、スループットは半分となるため、生産性が悪くなる。

40

【0037】

このような手順で非単結晶半導体膜106の全体をアニールすることにより、非単結晶半導体膜106の全体を均一に結晶化させることができる。

【0038】

次に、上記偏光板102（103）によりビーム強度を可変しなければならない理由について説明する。これまでの本発明者らの実験により、レーザ光のエネルギー密度を高くしたほうが、電子移動度の高いTFTを作製できることが確かめられている。図3に、レ

50

ーザのエネルギー密度と、n - c h T F Tの電子移動度の平均値との実験結果を示す。横軸は半導体膜にレーザ光を照射したときに、半導体膜が蒸発するエネルギー密度の閾値を100%としたときのレーザ光のエネルギー密度の割合を示し、縦軸は作製したT F Tの電子移動度の平均値を示す。図3から、上記閾値以下の範囲でエネルギー密度が大きいレーザ光で半導体膜をアニールした方が電子移動度の高いT F Tを作製できることが分かる。

【0039】

ところが、図1のレーザ照射装置で往路と復路で同一のビーム強度でレーザを発振させてアニールすると、図4に示すような問題が生じた。即ち、図4は、図1のレーザ照射装置で往路と復路とで同一のビーム強度でレーザを発振させてアニールした場合の実験結果で、横軸は矩形形状ビームの長軸方向を示し、縦軸は作製したT F Tの電子移動度を示す。

10

【0040】

この結果から分かるように、レーザ照射装置により、照射面に対し斜めにビームを照射するものでは、往路方向に走査して作製されたT F Tの電子移動度は、復路方向に走査して作製されたT F Tの電子移動度に比べて全体的に30%程度低くなる。このようなばらつきのある半導体膜を用いてT F Tを作製することは好ましくない。

【0041】

図4のような結果が出る理由を図5～図7により説明する。図5は、基板の上方から見た平面図であり、図6は、図5の往路の走査方向を示すA - A'線断面図であり、図7は、図5の復路の走査方向を示すB - B'線断面図である。図5に示すように、凸レンズ105で形成され、非単結晶半導体膜106に照射される矩形形状、線状または楕円状のビームからなる入射光121は、(1)の位置より、短軸長W、長軸長Hの矩形形状、線状または楕円状のビーム120として非単結晶半導体膜106上の(2)の位置に照射される。なお、本実施例の場合では、ビーム120は矩形形状である。

20

【0042】

このビームは、図6及び図7に示すように非単結晶半導体膜106上に照射される。照射される時点でのレーザ光の強度分布は、光学系をどのように調整しても、実際には、ビームの中央を通り、基板に垂直であり、かつビームの長さ方向に平行な平面に対して対称ではない。つまり、レーザ光の幅方向の強度分布はこの平面に対して非対称になる。そのため、往路と復路では照射面が同じようにアニールされない。なお、ビームの幅は10μm程度と大変短いため、ビームの幅方向における強度分布が、この平面に対して対称になっているかを測定することは困難である。ましてこの平面に対して、レーザ光の幅方向の強度分布を対称になるように調節を行うことは非常に困難である。

30

【0043】

なお、電子回路の特性は、電子回路に含まれる複数のT F Tのうち、電子移動度が一番低いT F Tに従うことになるため、図6及び図7で示す方向を交互に走査してアニールした半導体膜を用いてT F Tを作製した場合には、電子移動度の小さい往路部分のT F Tの特性に全体が従うようになる。

【0044】

そのため、往路では、できるだけT F Tの電子移動度が大きくなるようにレーザ光のエネルギーを膜飛び等がない程度において上げるとともに、復路ではエネルギーが大きくなりすぎ、膜飛び等が生じないようにレーザ光のエネルギーを下げれば良いことになる。

40

【0045】

即ち、往路方向への走査時には、ビーム強度を強めるように偏光板102(103)を回動させ、入射光121のビーム強度を強めて照射し、復路方向への走査時には、ビーム強度を弱めるように偏光板102(103)を回動させ、入射光121のビーム強度を弱めて照射する。その結果、非単結晶半導体膜106を大きなエネルギーで、且つ均一に結晶化することができる。

【0046】

このように、非単結晶半導体膜106上でビームを往復動させてアニールする場合、移

50

動度が低い結果になる方向に走査するときには、レーザ光のエネルギーを上げ、移動度が高い結果となる方向に走査するときにはレーザ光のエネルギーを下げることで結晶化のばらつきを抑えることができる。

【0047】

なお、基板107に入射される矩形のビーム120は、長さが約150～400 μm 、幅が約1～30 μm のものが用いられる。ビーム120の大きさのうち、長さは、エネルギー密度が足りるように幅方向の長さに伴って決めればよいが、幅は、下限が約1 μm であり、上限が約30 μm になり、その範囲外では特性の高い大粒径の結晶を作製することが難しくなる。実際には、10WのCWレーザで幅が約10 μm の場合、長さは約400 μm になり、3WのCWレーザで幅が約8 μm の場合、長さは約150 μm になる。

10

【0048】

図2に他のレーザ照射装置の一例を示す。このレーザ照射装置は、ビームを矩形、線状または楕円状にするために図1の凸レンズ105に変えて回折光学素子110を用いるものである。

【0049】

即ち、レーザ照射装置は、レーザ発振器101、2枚の偏光板102、103、ミラー104及び回折光学素子110から構成される。レーザ発振器101は、図1のものと同様のレーザで、固体レーザとしては単結晶のYAG、YVO₄、YLF、YAlO₃、GdVO₄、または多結晶のYAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄に、ドーパントとしてNd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Taのうち1種または複数種添加されているものを媒質とするレーザ、ガラスレーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライトレーザ、Ti：サファイアレーザのいずれかであり、気体レーザとしてはArレーザ、Krレーザ、CO₂レーザのうちのいずれかであり、金属レーザとして銅蒸気レーザ、金蒸気レーザのいずれかが用いられる。なお、発振周波数が10MHz以上のパルス発振のレーザを用いることもできる。例えば、単結晶のYAG、YVO₄、GdVO₄、または多結晶のYAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄にドーパントとしてNd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Taのうち1種または複数種添加されているものを媒質とするレーザを用いることもできる。

20

【0050】

回折光学素子110は、ディフラクティブオプティカルエレメント(DOE、またはディフラクティブオプティクス)とも呼ばれている。この素子は、光の回折を利用して所望のエネルギー分布を得る素子で、その表面に多数の溝を形成することにより集光レンズ機能を奏するものが用いられる。そして、この回折光学素子110を用いることにより、連続発振のレーザ発振器101から射出されたレーザビームのガウス分布からなるエネルギー分布を、矩形の分布で、且つエネルギー分布が均一な矩形、線状または楕円状のビームに形成することができる。なお、回折光学素子110以外は図1と同様であるので詳細は省略する。

30

【0051】

そして、このようなレーザ照射装置によっても図1のものと同様にビーム強度を可変して往復動させ、非単結晶半導体膜106をアニールすることにより、非単結晶半導体膜106を均一に結晶化することができる。

40

【0052】

本願発明は、上記実施例の構成に限定されるものではなく、発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜設計変更可能である。例えば、本願発明のビーム強度可変手段として上記偏光板等の代わりに、ビームスプリッターやNDフィルター(neutral density filter、光量調整フィルター)を用いてレーザ光の強度を調整することもできる。このとき、ビームスプリッターやNDフィルターのレーザに対する耐性が弱い場合には、ビームエキパンダーを用いて、レーザ光のビーム径を広げ、エネルギー密度を下げて用いればよい。また、レーザの励起光源の強度を変えることで、レーザ光の出力を調整できるレーザ発振器を用いた場合には、励起光源の強度を変えればよい。

50

【実施例 2】

【0053】

本実施例では、本発明によるレーザアニール装置を用いて、薄膜トランジスタ (TFT) を作成する工程を示す。

【0054】

図 10 (A) に示すように、絶縁表面を有する基板 1000 上に下地膜 1001 を形成する。本実施例では、基板 1000 としてガラス基板を用いる。なお、ここで用いる基板には、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラスなどのガラス基板、石英基板、セラミックス基板、ステンレス基板などを用いることができる。また、プラスチック、アクリルなどに代表される可撓性を有する材料からなる基板は、一般的に他の基板と比較して耐熱温度が低い傾向にあるが、本工程の処理に耐え得るのであれば用いることができる。

10

【0055】

下地膜 1001 は、基板 1000 に含まれるナトリウムなどのアルカリ金属やアルカリ土類金属が半導体中に拡散し、半導体素子の特性に悪影響を及ぼすのを防ぐために設ける。このため、アルカリ金属やアルカリ土類金属の半導体中への拡散を抑えることのできる酸化珪素や窒化珪素、窒化酸化珪素などの絶縁膜を用いて形成する。また、下地膜 1001 は単層または積層構造のいずれでもよい。本実施例では、プラズマ CVD 法 (Chemical Vapor Deposition: 化学気相成長法) を用いて窒化酸化珪素膜を 10 ~ 400 nm の膜厚になるように成膜した。

20

【0056】

なお、基板 1000 として、ガラス基板またはプラスチック基板のようにアルカリ金属やアルカリ土類金属が多少なりとも含まれている基板を用いている場合には、不純物の拡散を防ぐために下地膜を設けることは有効であるが、石英基板など不純物の拡散がさほど問題にならない基板を用いる場合には必ずしも下地膜 1001 を設ける必要はない。

【0057】

次いで、下地膜 1001 上に非晶質半導体膜 1002 を形成する。非晶質半導体層 1002 は、公知の方法 (スパッタリング法、LPCVD 法、プラズマ CVD 法など) により、25 ~ 100 nm (好ましくは 30 ~ 60 nm) の厚さで形成する。ここで用いる非晶質半導体膜は、珪素やシリコンゲルマニウムなどを用いることができるが、ここでは珪素を用いる。シリコンゲルマニウムを用いる場合、ゲルマニウムの濃度は 0.01 ~ 4.5 atomic % 程度であることが好ましい。

30

【0058】

続いて図 10 (B) に示すように、本発明のレーザアニール装置を用いて非晶質半導体膜 1002 にレーザ光を照射して結晶化を行う。本実施例では、レーザ光として 10 W、第 2 高調波、TEM₀₀ モード (シングル横モード) 発振の Nd:YVO₄ レーザを用い、凸レンズ 1005 を通して照射を行う。このレーザ光の照射により、走査方向に向かって連続的に成長した結晶粒が形成される。なお、ここで挙げたレーザに限らず、固体レーザとしては単結晶の YAG、YVO₄、YLF、YAlO₃、GdVO₄、または多結晶の YAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄ に、ドーパントとして Nd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Ta のうち 1 種または複数種添加されているものを媒質とするレーザ、ガラスレーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライトレーザ、Ti:サファイアレーザのいずれかを用いることができる。気体レーザとしては Ar レーザ、Kr レーザ、CO₂ レーザのうちのいずれかを用いることができる。金属レーザとして銅蒸気レーザ、金蒸気レーザのいずれかを用いることができる。なお、10 MHz 以上の周波数でパルス発振をするレーザを用いることもできる。例えば、単結晶の YAG、YVO₄、GdVO₄、または多結晶の YAG、Y₂O₃、YVO₄、YAlO₃、GdVO₄ にドーパントとして Nd、Yb、Cr、Ti、Ho、Er、Tm、Ta のうち 1 種または複数種添加されているものを媒質とするレーザを挙げることができる。

40

【0059】

50

全ての走査方向において半導体膜を均一にアニールすることにより、電子機器の特性を良好な状態で安定させることができる。しかしながら、図6及び図7に示す方向を交互に走査してアニールした半導体膜を用いてTFTを形成すると、TFTが有する半導体膜の結晶化状態が往路と復路でばらつくため、電子機器の特性に大きな影響を及ぼす。

【0060】

本実施例では、ビーム強度可変手段として偏光板を用いることにより、全ての走査方向において半導体膜を均一にアニールする。ここで、偏光板を動かすモータを制御するコンピュータなどの制御装置に予めレイアウトを入力し、制御装置はこの入力したレイアウトに従ってモータを制御する信号を送り、この信号を受信したモータが偏光板を動かすことによってビーム強度の調整を行う機構にしてもよい。

10

【0061】

さらに、スリットを用いると、レーザ光の強度が弱い部分を遮断することができるため、一定以上の強度を持つ線状、楕円状、あるいは矩形状のレーザ光を照射することができる。

【0062】

その後、図10(C)に示すように、レーザ光の照射によって形成された結晶性半導体膜1003をパターニングし、島状の半導体膜1006を形成する。さらに、この島状の半導体膜1006を覆うようにゲート絶縁膜1007を形成する。ゲート絶縁膜1007には、酸化珪素、窒化珪素または窒化酸化珪素などを用いることができる。その際の成膜方法はプラズマCVD法、スパッタ法を用いることができる。ここではプラズマCVD法で窒化酸化珪素膜を115nmの厚さに成膜した。

20

【0063】

次に、ゲート絶縁膜1007上に導電膜を形成し、パターニングすることでゲート電極1008を形成する。その後、ゲート電極1008、またはレジストを形成してパターニングしたものをマスクとして用い、島状の半導体膜1006にn型またはp型の導電性を付与する不純物を選択的に添加し、ソース領域1009、ドレイン領域1010、LDD領域1011などを形成する。上記の工程によって、Nチャネル型TFT1012および1014と、Pチャネル型TFT1013を同一基板上に形成することができる。

【0064】

続いて、図10(D)に示すように、それらのTFTの保護膜として、絶縁膜1015を形成する。この絶縁膜1015は、プラズマCVD法またはスパッタ法を用い、窒化珪素膜または窒化酸化珪素膜を単層または積層構造で100~200nmの厚さに形成する。本実施例では、プラズマCVD法により膜厚100nmの酸化窒化珪素膜を形成した。絶縁膜1015を設けることにより、酸素や空気中の水分をはじめ、各種イオン性の不純物の侵入を阻止するブロッキング作用を得ることができる。

30

【0065】

次いで、さらに絶縁膜1016を形成する。ここでは、SOG(Spin On Glass)法またはスピコート法によって塗布されたポリイミド、ポリアミド、BCB(ベンゾシクロブテン)、アクリル、シロキサン(-Si-O-Si-で表される珪素と酸素との結合(シロキサン結合)を構成の基本単位とし、珪素にフッ素、脂肪族炭化水素、または芳香族炭化水素などが結合した構造を持つ物質)などの有機樹脂膜、TOF膜、無機層間絶縁膜(窒化珪素、酸化珪素などの珪素を含む絶縁膜)、low-k(低誘電率)材料などを用いることができる。絶縁膜1016は、ガラス基板上に形成されたTFTによる凹凸を緩和し、平坦化する意味合いが強いため、平坦性に優れた膜が好ましい。

40

【0066】

さらに、フォトリソグラフィ法を用いて絶縁膜および有機絶縁膜をパターン加工して、不純物領域に達するコンタクトホールを形成する。

【0067】

次に、導電性材料を用いて導電膜を形成し、この導電膜をパターン加工することによって配線1017を形成する。その後、保護膜として絶縁膜1018を形成すると、図10

50

(D)に示すような半導体装置が完成する。なお、本発明のレーザアニール方法を用いた半導体装置の作製方法は、上述したTFTの作製工程に限定されない。

【0068】

また、レーザ光による結晶化の前に、触媒元素を用いた結晶化工程を設けてもよい。その触媒元素としては、ニッケル(Ni)、ゲルマニウム(Ge)、鉄(Fe)、パラジウム(Pd)、スズ(Sn)、鉛(Pb)、コバルト(Co)、白金(Pt)、銅(Cu)、金(Au)といった元素を用いることができる。

【0069】

触媒元素を用いた結晶化工程の後にレーザ光による結晶化工程を行うと、レーザ光による結晶化工程のみに比べて、より半導体膜の結晶性を高めることができ、レーザ光による結晶化後の半導体膜表面の荒れが抑えられることができる。よって、後に形成される半導体素子、代表的にはTFTの特性のばらつきがより抑えられ、オフ電流を抑えることができる。

10

【0070】

なお、触媒元素を添加し、加熱処理を行って結晶化を促進した後にレーザ光の照射を行ってもよいし、加熱処理の工程を省略してもよい。また、加熱処理を行った後、その温度を保ちつつレーザ処理を行ってもよい。

【0071】

本実施例では、半導体膜の結晶化に本発明のレーザ照射方法を用いた例を示したが、半導体膜にドーピングした不純物元素の活性化を行うために用いてもよい。また、本発明を用いた半導体装置の作製方法は、集積回路や半導体表示装置の作製方法にも用いることができる。

20

【0072】

ドライバやCPU(中央演算処理装置)などの機能回路を用途としたトランジスタは、LDD構造またはLDDがゲート電極とオーバーラップする構造が好適であり、高速化のためにはトランジスタの微細化を図ることが望ましい。本実施例により完成されるトランジスタは、LDD構造を有するため、高速動作が必要な駆動回路に用いると好適である。

【実施例3】

【0073】

本発明を用いることにより、薄膜トランジスタを用いて様々な電子機器を完成させることができる。その具体例を、図11を用いて説明する。

30

【0074】

図11(A)は表示装置であり、筐体1101、支持台1102、表示部1103、スピーカー部1104、ビデオ入力端子1105などを含む。この表示装置は、図10に示した作製方法により形成した薄膜トランジスタをその表示部1103に用いることにより作成される。なお、表示装置には液晶表示装置、発光装置などがあり、具体的にはコンピュータ用、テレビ方法受信用、広告表示用などの全ての情報表示用表示装置が含まれる。

【0075】

図11(B)はコンピュータであり、筐体1111、表示部1112、キーボード1113、外部接続ポート1114、ポインティングマウス1115などを含む。図10に示した作製方法を用いることにより、表示部1112やその他の回路への適用が可能である。さらに、本発明は本体内部のCPU、メモリなどの半導体装置にも適用が可能である。

40

【0076】

また、図11(C)は携帯電話であり、携帯端末の1つの代表例である。この携帯電話は筐体1121、表示部1122、操作キー1123などを含む。上記の携帯電話を初めとして、PDA(Personal Digital Assistants、情報携帯端末)、デジタルカメラ、小型ゲーム機などの電子機器は携帯端末であるため、表示画面が小さい。従って、図10で示したような微細なトランジスタを用いてCPU、メモリなどの機能回路を形成することによって、小型・軽量化を図ることができる。

【0077】

50

また、本実施例で作成したトランジスタをＩＤチップとして用いることもできる。例えば、図１０で示した作製方法を用いることにより、ＩＤチップ内の集積回路やメモリとしての利用、ＩＤタグとしての利用が可能である。メモリとして用いた場合には、生産地、生産者、製造年月日、加工方法などの生産段階のプロセスや、商品の流通プロセスを記録することが可能になる。卸売業者、小売業者、消費者がこれらの情報を把握することが容易になる。

【００７８】

さらに、無線機能を搭載したＩＤタグとして用いた場合は、従来のバーコードの代わりに用いることにより、商品の会計や棚卸し業務の簡素化につながる。さらに、会計の際にＩＤタグに会計を済ませたことを入力し、出口にチェック手段を設け、会計済みであることをＩＤタグに書き込まれているかをチェックすることにより、会計のし忘れや万引きを予防することができる。

10

【００７９】

以上のように、本発明により作成された半導体装置の適用範囲は極めて広く、本発明により作成された半導体装置をあらゆる分野の電子機器に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【００８０】

【図１】本願発明のレーザ照射装置の概要を示す図

【図２】本願発明の他のレーザ照射装置の概要を示す図

【図３】エネルギー密度とＴＦＴの電子移動度の関係を示す図

20

【図４】ＴＦＴの電子移動度分布を示す図

【図５】基板上の平面の状態を示す図

【図６】図５のＡ－Ａ'線断面図

【図７】図５のＢ－Ｂ'線断面図

【図８】従来のレーザ照射装置の概要を示す図

【図９】従来の他のレーザ照射装置の概要を示す図

【図１０】本発明を用いたＴＦＴ作製の概要を示す図

【図１１】本発明を用いた電子機器の概要を示す図

【符号の説明】

【００８１】

30

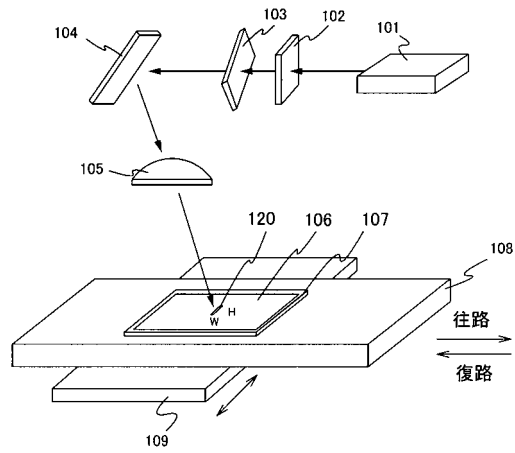
- １ レーザ発振器
- ２ シリンドリカルレンズアレイ
- ３ シリンドリカルレンズアレイ
- ４ シリンドリカルレンズアレイ
- ５ シリンドリカルレンズアレイ
- ６ シリンドリカルレンズアレイ
- ７ ミラー
- ８ ダブルレットシリンドリカルレンズ
- ９ 照射面
- １１ レーザ発振器
- １２ ミラー
- １３ 凸レンズ
- １４ ビーム
- １５ 照射面
- １０１ レーザ発振器
- １０２ 偏光板
- １０３ 偏光板
- １０４ ミラー
- １０５ 凸レンズ
- １０６ 非単結晶半導体膜

40

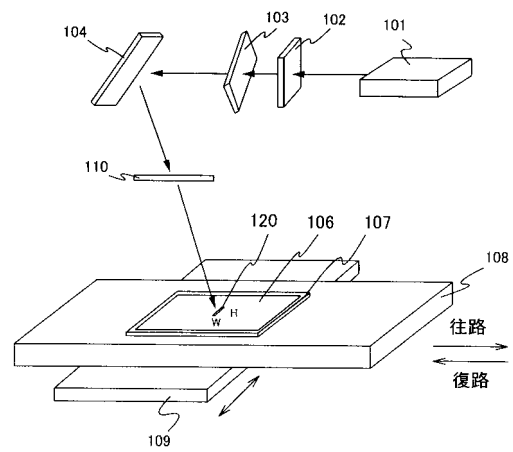
50

1 0 7	基板	
1 0 8	X 軸ステージ	
1 0 9	Y 軸ステージ	
1 1 0	回折光学素子	
1 2 0	ビーム	
1 2 1	入射光	
1 0 0 0	基板	
1 0 0 1	下地膜	
1 0 0 2	非晶質半導体膜	
1 0 0 3	結晶性半導体膜	10
1 0 0 5	凸レンズ	
1 0 0 6	半導体膜	
1 0 0 7	ゲート絶縁膜	
1 0 0 8	ゲート電極	
1 0 0 9	ソース領域	
1 0 1 0	ドレイン領域	
1 0 1 1	L D D 領域	
1 0 1 2	N チャネル型 T F T	
1 0 1 3	P チャネル型 T F T	
1 0 1 4	N チャネル型 T F T	20
1 0 1 5	絶縁膜	
1 0 1 6	絶縁膜	
1 0 1 7	配線	
1 0 1 8	絶縁膜	
1 1 0 1	筐体	
1 1 0 2	支持台	
1 1 0 3	表示部	
1 1 0 4	スピーカー部	
1 1 0 5	ビデオ入力端子	
1 1 1 1	筐体	30
1 1 1 2	表示部	
1 1 1 3	キーボード	
1 1 1 4	外部接続ポート	
1 1 1 5	ポインティングマウス	
1 1 2 1	筐体	
1 1 2 2	表示部	
1 1 2 3	操作キー	

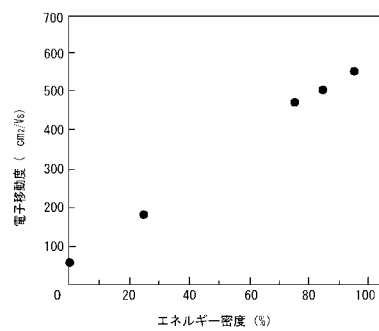
【図 1】



【図 2】

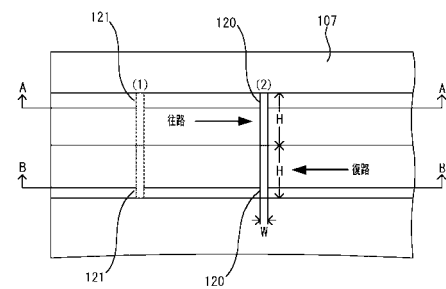


【図 3】

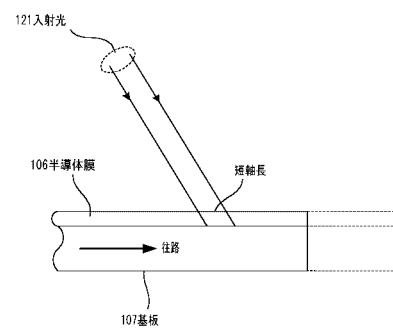


n-chTFTの電子移動度とエネルギー密度

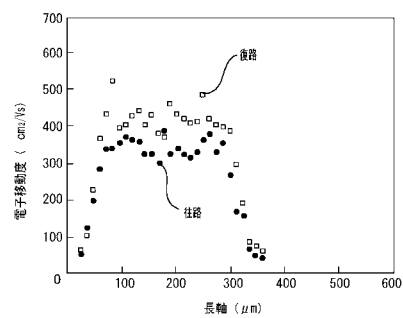
【図 5】



【図 6】

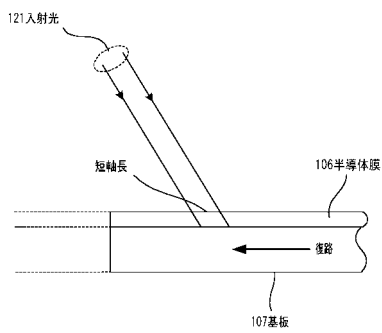


【図 4】

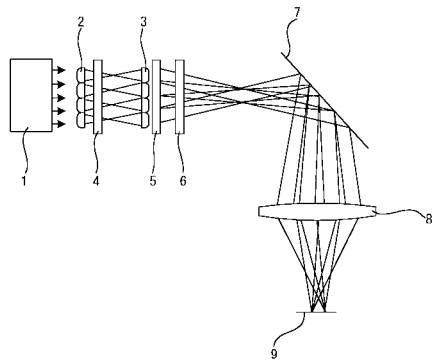


n-chTFTの電子移動度分布

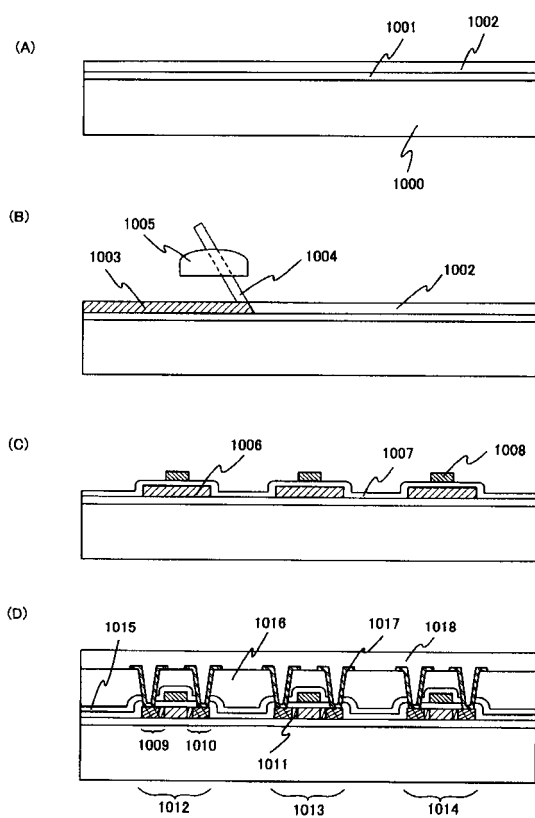
【図 7】



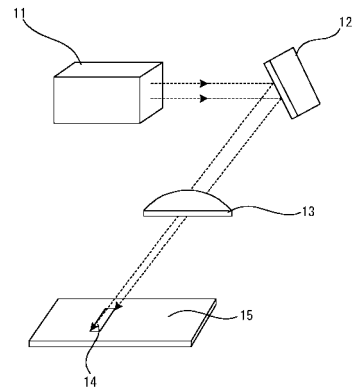
【図 8】



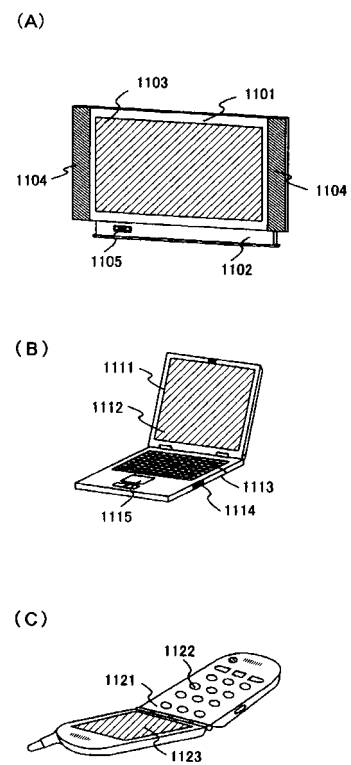
【図 10】



【図 9】



【図 11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平08-088196(JP,A)
特開2003-218058(JP,A)
特開2003-197523(JP,A)
特開2003-347236(JP,A)
特開2004-056058(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L	21/20
H01L	21/265
H01L	21/268
H01L	21/336
H01L	29/786