明　細　書

発明の名称 ： 結晶質膜の製造方法および製造装置

技術分野

[0001] この発明は、非晶質膜にレーザ光を照射して微細結晶化させて結晶質膜を作製する結晶質膜の製造方法および製造装置に関するものである。

背景技術

[0002] 液晶表示装置などの薄型表示器フラットパネルディスプレイに用いられる薄膜トランジスタ（ＴＦＴ）の結晶化シリコンの製造には、基板上層に設けられたアモルファスシリコン膜にパルスレーザ光を照射して該アモルファスシリコン膜を溶融、再結晶化させる方法（レーザアニール法）やアモルファスシリコン膜を上層に有する前記基板を予備加熱炉で加熱して、前記シリコン膜を溶融せずに固体のまま結晶成長させる固相成長法（SPC:Solid Phase Crystallization）の２つの方法が一般的に用いられている。

[0003] また、本発明者らは、基板温度を加熱状態に保った状態で非晶質膜にパルスレーザ光を照射することにより固相成長により微細な多結晶膜が得られることを確かめ、これを提案している（特許文献１参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００８－１４７４８７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 近年では、大型のＴＶ用ＯＬＥＤ（Organic light-emitting diode）パネルやＬＣＤ（Liquid Crystal Display）パネルを製造するに当たり、均一で大面積の微細な多結晶シリコン膜を安価に製造する方法が求められている。

また、最近、液晶ディスプレイに変わって次世代ディスプレイとして有力視されている有機ＥＬディスプレイでは、有機ＥＬ自体が発光することによってスクリーンの輝度を上げている。有機ＥＬの発光材料はＬＣＤのように

電圧駆動ではなく電流駆動であるため、ＴＦＴへの要求が異なっている。アモルファスシリコンによるＴＦＴでは経年変化の抑制が難しく、しきい値電圧（Ｖｔｈ）の大幅なドリフトが発生しデバイスの寿命が制限される。一方、ポリシリコンは安定材料のため長寿命である。しかしながらポリシリコンによるＴＦＴでは、ＴＦＴの特性ばらつきは大きい。このＴＦＴ特性のばらつきは、結晶粒径のばらつきや、結晶質シリコンの結晶粒の界面（結晶粒界）がＴＦＴのチャネル形成領域に存在することによりより発生しやすくなる。ＴＦＴの特性ばらつきは、主にチャネル間に存在する結晶粒経と結晶粒界の数に左右されやすい。さらに、結晶粒径が大きいと一般に電子移動度が大きくなる。有機ＥＬディスプレイ用途のＴＦＴは電界電子移動度の高いものは却ってＴＦＴのチャネル長を長くしなければならず、ＲＧＢ（赤・緑・青）それぞれの１画素の大きさがＴＦＴのチャネル長に依存してしまい高解像度が得られない。このため、結晶粒径のバラツキが小さく微細な結晶膜への要求度合いは益々高くなっている。

[0006] しかし、従来の結晶化方法では、これらの問題を解決することは困難である。

なぜなら、その一つのレーザアニール法は、アモルファスシリコンを一旦溶融させ再結晶化させるプロセスであり、一般に形成される結晶粒径が大きい。このため、先に述べたように電界電子移動度が高く、複数のＴＦＴのチャネル領域内の結晶粒径の数にばらつきが生まれることや、ランダムな形状、隣り合う結晶の結晶配向性の違いが、結果ＴＦＴの特性ばらつきに大きく影響する。特にレーザ重ねあわせ部に結晶性の違いが現れやすく、この結晶性の違いがＴＦＴの特性ばらつきに大きく影響する。また、表面のコンタミネーション（不純物）により、結晶に欠陥が生じるといった問題もある。

[0007] また、固相成長法（ＳＰＣ法）により得られる結晶は、粒径が小さくＴＦＴばらつきは少なく、上記課題を解決する最も有効な結晶化方法である。しかしながら、結晶化時間が長く、量産用途としては採用されにくい。固相成長法（ＳＰＣ）を可能にする熱処理工程では、複数枚の基板を同時に処理す

るバッチタイプの熱処理装置が使用される。大量の基板を同時に加熱することから、昇温および降温に長時間を要するとともに基板内の温度が不均一になりやすい。また、固相成長法はガラス基板の歪点温度よりも高い温度で長時間加熱すると、ガラス基板自体の収縮、膨張を引き起こしガラスにダメージを与える。ＳＰＣの結晶化温度は、ガラス転移点より高いので、少しの温度分布でガラス基板のたわみや収縮分布が発生する。その結果結晶化が可能であっても露光工程などのプロセスに支障が生じてデバイスの作製が困難になる。処理温度が高いほど温度均一性が要求される。一般に結晶化速度は加熱温度に依存し、６００℃で１０～１５時間、６５０℃で２～３時間、７００℃で数１０分の処理時間が必要となる。ガラス基板にダメージを与えることなく処理するためには長時間の処理時間が必要となりこの方法は量産用途として採用し難い。

[0008] 本発明は、上記事情を背景としてなされたものであり、結晶粒径のバラツキが少ない微細な結晶質膜を基板にダメージを与えることなく非晶質膜から効率よく作製することができる結晶質膜の製造方法および製造装置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

[0009] すなわち、本発明の結晶質膜の製造方法は、基板の上層にある非晶質膜に、５１０～５４０ｎｍの可視波長域の連続発振レーザ光を照射して、前記非晶質膜を融点を超えない温度に加熱し該非晶質膜を結晶化させることを特徴とする。

[0010] 本発明の結晶質膜の製造装置は、５１０～５４０ｎｍの可視波長域の連続発振レーザ光を出力するレーザ発振器と、該レーザ発振器から出力されるレーザ光を整形して非晶質膜に導入する光学系と、前記非晶質膜を該非晶質膜の面方向に沿って前記レーザ光に対し相対的に移動させる走査装置と、前記レーザ光が前記走査装置によって走査されつつ前記非晶質膜に照射される際に該非晶質膜が融点を超えない温度に加熱されて結晶化されるように前記レーザ光のパワー密度を調整するアテニュエータと、を備えることを特徴とす

る。

[0011] 本発明によれば、可視光域の連続発振レーザ光を非晶質膜に照射することで、該レーザ光が非晶質膜に効果的に吸収されて非晶質膜が急速かつ融点を超えない温度に加熱され、従来の溶融・再結晶化法と異なる手法で粒径のバラツキの小さな均一な微細結晶、例えば、大きさが５０ｎｍ以下の微細結晶を得ることできる。従来方式の溶融結晶化法や予備加熱炉によるＳＰＣ（固相成長法）では結晶粒のばらつきは大きくなる。本発明では、前記非晶質膜を連続発振レーザ光以外に予備加熱する必要はなく、非晶質膜が形成された基板の昇温を抑えて非晶質膜を効率よく処理することができる。

また、本発明によれば、レーザ光の重ね合わせ箇所も同様の結晶性が得られ、均一性が向上する。従来方式のレーザアニール法では、非晶質膜でのレーザ光の重ね合わせ箇所が別の形態の結晶となり、結晶の均一性を損なう。

また、非晶質膜、特にアモルファスシリコンでの連続発振レーザ光を短軸幅を１００μｍ以下にして、短軸幅方向に沿って走査し短時間に加熱させることで、下地の基板はダメージを受けるような温度になりにくい。特にレーザ光を高速で相対的に走査して照射時間を短くすることで、基板へのダメージ回避は確実なものとなる。なお、本発明においては基板の予備加熱は不要であるが、本発明として基板の加熱を行うものを排除するものではない。

また、非晶質膜、特にアモルファスシリコンが吸収のよいレーザ光で直接加熱されるため、非晶質膜の上層に間接的にレーザ吸収層を設ける必要性がない。

[0012] 非晶質膜としては、５０～２００ｎｍの厚さを有するアモルファスシリコン膜が好適である。上記波長域は、アモルファスシリコン膜での吸収率が特によく、微細結晶化を良好に行うことができる。アモルファスシリコン膜の厚さは５０ｎｍ未満であると、基板に加熱の影響が及びやすくなり、２００ｎｍを越えると、膜全体の結晶化が十分になされ難くなるため、上記厚さが好ましい。

しかし、可視光のアモルファスシリコンに対する吸収率はアモルファスシ

リコンの膜厚により変化するため、吸収のよい膜厚を選定するのがよい。

[0013] また、上記波長域の連続発振レーザ光を非晶質膜に照射する際に、該レーザ光のパワー密度は、照射面で５５～２９０ｋＷ／ｃｍ^{2}の範囲内とするのが望ましい。パワー密度が低いと、非晶質膜を十分に加熱することができず、結晶化が困難になる。一方、パワー密度が高すぎると、非晶質膜が融点を超える温度にまで加熱されるなどして、微細な結晶粒を得にくくなる。このため、レーザ光のパワー密度は上記範囲が望ましい。

[0014] また、レーザ光の照射においては、レーザ光の短軸幅を１００μｍ以下とするのが望ましい。非晶質膜の一部の領域に照射することで、基板に熱影響を与えることなく非晶質膜を部分的に急速に加熱することができる。該短軸幅方向にレーザ光を相対的に移動させることで、非晶質膜の広い領域で結晶化処理を行うことができる。但し、短軸幅が大きすぎると効率よく結晶化するために走査速度を大きくしなければならず、装置コストが増大してしまう。

[0015] 前記レーザ光を非晶質膜に対し相対的に走査することで、前記非晶質膜を面方向に沿って結晶化させることが可能になる。該走査は、レーザ光側を移動させてもよく、非晶質膜側を移動させてもよく、両方を移動させるようにしてもよい。この走査速度は５０～１０００ｍｍ／秒とするのが望ましい。

走査速度が小さいと、照射時間が増大し、融点を超える温度まで加熱され、溶融またはアブレーションする場合がある。また、走査速度が大きいと、照射時間が減少し、固相結晶化させる温度まで加熱できない場合がある。

発明の効果

[0016] 以上説明したように、本発明の結晶質膜の製造方法によれば、基板の上層にある非晶質膜に、５１０～５４０ｎｍの可視波長域の連続発振レーザ光を照射して、前記非晶質膜を融点を超えない温度に加熱し該非晶質膜を結晶化させるので、基板の転移点を越えないまたは転移点を越えたとしても低温にて処理でき、非晶質膜のみをレーザで高温に加熱させ結晶化させることができる。同時に短時間で５０ｎｍ以下の微結晶が生成できるという効果がある

。同時に重ねあわせ部も同様の５０ｎｍ以下の微結晶が生成できるという効果がある（大面積の結晶化に有効）。同時に照射時間を短くすることで、基板の変位（たわみ・変形・内部応力）を最小限に抑える効果がある。同時にガラス基板を多少は加熱するのでアモルファスシリコン膜内に内在する不純物や表面に付着しているコンタミネーションを除去する効果がある。また、本発明によれば、装置の低コスト化およびメンテナンス費用の低減化が可能で、稼働率の高い処理が可能であり、よって生産性を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の一実施形態および一実施形態の製造方法に用いる連続発振固体レーザアニール処理装置を示す縦断面図である。

[図2]同じく、実施例におけるレーザ照射後の薄膜を示すＳＥＭ写真である。

[図3]同じく、実施例におけるレーザ照射後の薄膜を示すＳＥＭ写真である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下に、本発明の一実施形態を図１に基づき説明する。

この実施形態の結晶質膜の製造方法では、フラットパネルディスプレイＴＦＴデバイスに用いられる基板６を対象にし、該基板６上には非晶質膜としてアモルファスシリコン薄膜６ａが形成されているものとする。ただし、本発明としては、対象となる基板およびこれに形成された非晶質膜の種別がこれに限定されるものではない。アモルファスシリコン薄膜６ａは、常法により基板６の上層に形成されている。

[0019] 図１は、本発明の一実施形態の結晶質膜の製造方法に用いられる連続発振固体レーザアニール処理装置１０を示すものであり、該連続発振固体レーザアニール処理装置１０は、本発明の結晶質膜製造装置に相当する。

連続発振固体レーザアニール処理装置１０では、５１０～５４０ｎｍの波長の連続発振レーザ光を出力する連続発振固体レーザである可視光ＣＷレーザ発振器１が除振台８に設置されている。

[0020] 可視光ＣＷレーザ発振器１の出力側には、レーザ光１ａの通過と遮断を切り替えるレーザシャッター２が配置されており、該レーザシャッター２の通

過先にアテニュエータ（減衰器）３が配置されている。なお、アテニュエータ３は、レーザ光を所定の減衰率で減衰するものであればよく、本発明としては特定のものに限定されない。

アテニュエータ３の出力側には、全反射ミラー４０ａ、４０ｂ、４０ｃが配置され、全反射ミラー４０ｃの偏向先には集光レンズ４１ａ、４１ｂが配置されている、これら全反射ミラー４０ａ～４０ｃ、集光レンズ４１ａ、４１ｂは、光学系４を構成しており、該光学系４には、その他に、図示しないビームホモジナイザ等を備え、レーザ光１ａを長方形またはラインビーム状などの所定の形状で、短軸幅が５～１００μｍｍとなるようにビーム整形可能になっている。

光学系４の出射方向には、基板６を載置する基板載置台７が設置されている。基板載置台７は、該載置台の面方向（ＸＹ方向）に沿って移動可能になっており、該基板載置台７を前記面方向に沿って高速移動させる走査装置（図示しない）が備えられている。

[0021] 次に、上記連続発振固体レーザアニール処理装置１０を用いたアモルファスシリコン薄膜の結晶化方法について説明する。

先ず、基板載置台７上に、アモルファスシリコン薄膜６ａが上層に形成された基板６を載置する。この実施形態では該基板６はヒータなどによる加熱は行われない。

可視光ＣＷレーザ発振器１より５１０～５４０ｎｍの波長の連続発振レーザ光が出力されるとともに、レーザシャッター２が開かれてレーザ光１ａの通過が可能になる。

[0022] 可視光ＣＷレーザ発振器１から出力された連続発振レーザ光１ａは、レーザシャッター２を通過した後アテニュエータ３に至り、これを通過することで所定の減衰率で減衰される。該減衰率は、加工面でレーザ光が本発明規定のパワー密度になるように設定される。アテニュエータ３は、減衰率を可変にして、パワー密度を変更可能にしてもよい。なお、本発明としては、アテニュエータを使用することなく、レーザ光源において、出力調整が行われて

、パワー密度を調整するものであってもよい。

パワー密度が調整された連続発振レーザ光１ａは、光学系４において、全反射ミラー４０ａ、４０ｂ、４０ｃで反射されつつ偏向され、集光レンズ４１ａ、４１ｂで集光される。この際には、図示しないビームホモジナイザ等を通過する。該光学系４において、発振レーザ光１ａは、短軸幅が１００μｍ以下の長方形またはラインビーム状に整形され、基板６に向けて照射面において５５～２９０ｋＷ／ｃｍ^{2}のパワー密度で照射される。

[0023] 上記基板載置台７は、走査装置によってアモルファスシリコン薄膜６ａ面に沿ってレーザ光ビームの短軸幅方向に走査され、この結果、該アモルファスシリコン薄膜６ａ面の広い領域で上記連続発振レーザ光が相対的に走査されつつ照射される。なお、この際に連続発振レーザ光の走査速度を５０～１０００ｍｍ／秒にして、アモルファスシリコン薄膜６ａ上で連続発振レーザ光が高速で移動しつつ照射されるようにする。

[0024] 上記連続発振レーザ光１ａの照射により基板６上のアモルファスシリコン薄膜６ａのみが加熱されて短時間で多結晶化される。この際に、アモルファスシリコン薄膜６ａの加熱温度は、その融点を超えない温度となる（例えば１０００～１２００℃程度）。該照射により得られた結晶質薄膜は、結晶粒径が５０ｎｍ以下で、従来の固相結晶成長法に見られるような突起もなく、均一かつ微細な良質な結晶性を有している。

この結晶質薄膜は、有機ＥＬディスプレイに好適に使用することができる。ただし、本発明としては、使用用途がこれに限定されるものではなく、その他の液晶ディスプレイや電子材料として利用することが可能である。

なお、上記実施形態では、基板載置台を移動させることでパルスレーザ光を相対的に走査するものとしたが、パルスレーザ光が導かれる光学系を高速に移動させることでパルスレーザ光を相対的に走査するものとしてもよい。

実施例 1

[0025] 次に、本発明の実施例を説明する。

上記実施形態の連続発振固体レーザアニール処理装置１０を用いて、ガラ

ス製の基板の表面に常法によって形成された５０ｎｍ厚のアモルファスシリコン薄膜に連続発振レーザ光を照射する実験を行った。

該実験では、連続発振レーザ光の波長を５３２ｎｍの可視光とし、光学系によって断面長方形状で加工面で７μｍ×２ｍｍまたは６５μｍ×２ｍｍとなるようにビーム整形した。なお、レーザ光は、加工面でのパワー密度が表１に示す値になるようにアテニュエータ３によって調整した。

レーザ光は、基板載置台を表１に示す走査速度（ステージスピード）で移動させることで、連続発振レーザ光を前記アモルファスシリコン膜に対し相対的に走査しつつ、該アモルファスシリコン膜に照射した。

[0026] 各条件でレーザ光照射がされた薄膜（Ｎｏ．ａ～ｊ）のＳＥＭ写真を図２、３に示す。

薄膜のうち、供試材Ｎｏ．ｂ、ｃ、ｄ、ｆ、ｇ、ｈ、ｉは、結晶粒径のバラツキが少なく、面全体で均質に多結晶化されており、かつ良質の多結晶シリコン薄膜を得ることができた。結晶粒は５０ｎｍ以下と小さく突起も生じていない。また、重ねあわせ部も均一な微結晶が生成されている。また、前もってアモルファスシリコンが完全に溶解する条件となるＳｅｃｃｏ溶液によるエッチング（２１秒間）において変化がなかったことからも、得られた各シリコン膜は結晶性を有していることが確認できている。

一方、供試材Ｎｏ．ａはパワー密度が増大したため、融点を超える温度まで加熱され溶融した。試供材Ｎｏ．ｅ、ｊはパワー密度が減少し、照射エリア全域に固相結晶化が得られない状況が点在した。

すなわち、本発明法によれば、結晶質シリコン膜が均一に得られており、ＴＦＴ特性のばらつきの少ないシリコン膜を提供できることが判明した。

[0027]

[表1]

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
パワー密度 (kW/cm^2)	273	257	242	210	195	80	78	76	73	71
ビームサイズ	2mm×7μm	2mm×7μm	2mm×7μm	2mm×7μm	2mm×7μm	2mm×65μm	2mm×65μm	2mm×65μm	2mm×65μm	2mm×65μm
ステージスピード	900mm/s	900mm/s	900mm/s	900mm/s	900mm/s	750mm/s	750mm/s	750mm/s	750mm/s	750mm/s
照射時間	7.8μsec	7.8μsec	7.8μsec	7.8μsec	7.8μsec	86μsec	86μsec	86μsec	86μsec	86μsec
状態	溶融	SPC	SPC	SPC	a-Si/SPC 混合	SPC	SPC	SPC	SPC	a-Si/SPC 混合

[0028] 以上、本発明について上記実施形態および実施例に基づいて説明を行ったが、本発明は上記説明の範囲に限定をされるものではなく、本発明の範囲を逸脱しない限りは当然に適宜の変更が可能である。

符号の説明

[0029] １　レーザ発振器

２　レーザシャッター

３　アテニュエータ

４　光学系

４０ａ全反射ミラー

４０ｂ全反射ミラー

４０ｃ全反射ミラー

４１ａ集光レンズ

４１ｂ集光レンズ

６　基板

６ａ　アモルファスシリコン薄膜

７　基板載置台

８　除振台

１０　連続発振固体レーザアニール処理装置

請求の範囲

[請求項1] 基板の上層にある非晶質膜に、５１０～５４０ｎｍの可視波長域の連続発振レーザ光を照射して、前記非晶質膜を融点を超えない温度に加熱し該非晶質膜を結晶化させることを特徴とする結晶質膜の製造方法。

[請求項2] 前記非晶質膜が、５０～２００ｎｍの厚さを有するアモルファスシリコン膜であることを特徴とする請求項１記載の結晶質膜の製造方法。

[請求項3] 前記レーザ光のパワー密度が前記非晶質膜照射面において５５～２９０ｋＷ／ｃｍ^{2}であることを特徴とする請求項１または２に記載の結晶質膜の製造方法。

[請求項4] 前記非晶質膜に照射されるレーザ光の短軸幅が１００μｍ以下であることを特徴とする請求項１～３のいずれかに記載の結晶質膜の製造方法。

[請求項5] 前記レーザ光を前記非晶質膜に対し相対的に走査しつつ前記照射を行い、該走査速度を５０～１０００ｍｍ／秒とすることを特徴とする請求項１～４のいずれかに記載の結晶質膜の製造方法。

[請求項6] 前記レーザ光を光学系にて長方形またはラインビーム状にビーム整形し、前記基板側を高速に動かすことにより前記走査を行うことを特徴とする請求項５記載の結晶質膜の製造方法。

[請求項7] 前記結晶化によって大きさが５０ｎｍ以下の微結晶を得ることを特徴とする請求項１～６のいずれかに記載の結晶質膜の製造方法。

[請求項8] ５１０～５４０ｎｍの可視波長域の連続発振レーザ光を出力するレーザ発振器と、該レーザ発振器から出力されるレーザ光を整形して非晶質膜に導入する光学系と、前記非晶質膜を該非晶質膜の面方向に沿って前記レーザ光に対し相対的に移動させる走査装置と、前記レーザ光が前記走査装置によって走査されつつ前記非晶質膜に照射される際に該非晶質膜が融点を超えない温度に加熱されて結晶化されるように

前記レーザ光のパワー密度を調整するアテニュエータと、を備えることを特徴とする結晶質膜の製造装置。

[請求項9] 前記光学系は、整形後の前記レーザ光が走査方向に短軸幅を有し、該短軸幅が５～１００μｍになるようにレーザ光の整形を行うものであることを特徴とする請求項８記載の結晶質膜の製造装置。

[請求項10] 前記走査装置は、５０～１０００ｍｍ／秒の速度で前記非晶質膜を前記レーザ光に対し相対的に移動させるものであることを特徴とする請求項８または９に記載の結晶質膜の製造装置。

[請求項11] 前記アテニュエータは、前記レーザ光のパワー密度を前記非晶質膜への照射面において５５～２９０ｋＷ／ｃｍ^{2}に調整するものであることを特徴とする請求項８～１０のいずれかに記載の結晶質膜の製造装置。

[請求項12] 前記レーザ光は、前記非晶質膜への照射によって該非晶質膜を１０００～１２００℃に加熱するものであることを特徴とする請求項８～１１のいずれかに記載の結晶質膜の製造装置。