明　細　書

発明の名称 ： 結晶質半導体の製造方法およびレーザアニール装置

技術分野

[0001] 本発明は、液晶ディスプレイや有機ＥＬディスプレイの画素スイッチや駆動回路に用いられる薄膜トランジスタの多結晶あるいは単結晶半導体膜の製造に好適に用いられる結晶質半導体の製造方法およびレーザアニール装置に関するものである。

背景技術

[0002] 液晶ディスプレイや有機ＥＬ（Electro-Luminescence）ディスプレイの画素スイッチや駆動回路に用いられる薄膜トランジスタでは、低温プロセスの製造方法の一環として、レーザを用いたレーザアニールが行われている。この方法は、基板上に成膜された非単結晶半導体膜にレーザを照射して局部的に加熱溶融した後、その冷却過程で半導体薄膜を多結晶あるいは単結晶に結晶化するものである。結晶化した半導体薄膜はキャリアの移動度が高くなるため薄膜トランジスタを高性能化できる。

上記レーザの照射においては、半導体薄膜で均質な処理が行われる必要があり、照射されるレーザが安定した照射エネルギーを有するように、一般にレーザ出力を一定にする制御がなされており、パルスレーザでは、パルスエネルギーを一定にする制御がなされている。

[0003] ところで、上記パルスレーザに多く利用されているエキシマガスレーザは放電方式によるレーザ光を発振させる。高出力のエキシマガスレーザでは１回目の高電圧による放電後、残留電圧により複数の放電が発生し、その結果により複数のピークを持つレーザ光が発生する。その際に、２番目以後のピークは１番目のピークとその特性が異なることがある。このため、パルスレーザのパルス波形における複数の極大値同士の比を求め、この比を所定範囲に収めて結晶化シリコンの特性を一定に保つパルスレーザ発振装置が提案されている（特許文献１参照）。

このパルスレーザ発振装置では、前記パルスレーザビームの時間変化波形が２以上のピーク群を含み、そのうちの２番目のピーク群のパルスレーザビームのピーク値が最初のピーク群のパルスレーザビーム群に対して、０．３７から０．４７の範囲内となるように設定している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００１－３３８８９２公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記のように前記特許文献１に示された装置では、ピーク比を安定した範囲にすることで、結晶化シリコンの特性を一定に保つものとしている。しかし、このような範囲のピーク比に安定させても、必ずしもシリコン薄膜の結晶化および活性化がシリコン薄膜の面内で均一にならない、という問題が発生している。

本発明者らは、さらに上記ピーク比について検証を進めた結果、ピーク比の安定化よりもピーク比の値そのものが結晶化特性の均一化に大きく寄与していることを見出し、本発明を完成するに至ったものである。

課題を解決するための手段

[0006] すなわち、本発明の結晶質半導体の製造方法は、非晶質半導体にパルスレーザを照射して前記非晶質半導体を結晶化させる際に、前記パルスレーザが時間的強度変化において１パルスに複数のピーク群を有し、前記非晶質半導体への照射時に、該ピーク群のうち、最大高さを有する第１のピーク群と、その後に現れる第２のピーク群とが、ピーク強度値で（第２のピーク群）／（第１のピーク群）≦０．３５の関係を満たすことを特徴とする。

[0007] また、本発明のレーザアニール装置は、パルスレーザを出力するレーザ発振器と、前記パルスレーザを非晶質半導体に導く光学系と、前記パルスレーザを前記非晶質半導体に対し走査して照射するべく前記非晶質半導体を相対

的に移動させる移動装置とを備え、前記レーザ発振器は、出力されるパルスレーザが時間的強度変化において１パルスに複数のピーク群を有し、該ピーク群のうち、最大高さを有する第１のピーク群と、その後に現れる第２のピーク群とが、ピーク強度値で（第２のピーク群）／（第１のピーク群）≦０．３５の関係を満たすものであることを特徴とする。

[0008] 本発明は、上記ピーク強度比が上記関係を満たすことで、該パルスレーザが照射された非晶質半導体が結晶化する際に、均一な結晶化特性が得られる。この比が０．３５を越えると、結晶化半導体の特性がばらつくようになる。

１つのピーク群では、複数のピークを有するものであってもよく、ピーク群の中の最大高さで当該ピーク群でのピーク強度を示すことができる。通常のエキシマレーザでは、最初に相対的に高さの大きな第１のピーク群が現れ、その後に、強度が大きく低下する極小値（最大高さの数分の１程度）を経た後、相対的に高さの小さい第２のピーク群が現れ、大きくは２つのピーク群を有している。なお、本発明としては、１パルスにピーク群が３以上現れるものであってもよい。

また、１パルスは、１つのレーザ発振器で出力されたものであってもよく、二つ以上のレーザ発振器で出力されたパルスが重ね合わされて１パルスとなるものであってもよい。

[0009] 該パルスレーザは、レーザ発振器から出力される際に上記ピーク強度比を満たしていることが必要である。１つのパルスに時間的な強度変化で複数のピーク群を有する場合、通常は各ピーク群の高さを別々に調整することはできない。このため、レーザ発振器から出力される際に、少なくとも上記ピーク強度比を満たしているようにする。また、パルスレーザは光学系などを介することでレーザ波形が変化し、パルスレーザの最大高さが低くなることがある。この場合、第１のピーク群の強度が低くなるため、上記ピーク強度比は大きくなる傾向がある。したがって、上記ピーク強度比が光路で変化するような場合には、非晶質半導体に照射される際のパルスレーザのピーク強度

比が上記条件を満たすように、レーザ発振器から出力されるパルスレーザの前記比を０．３５以下であって、前記変化を見越した値（より小さい値）にする。

[0010] パルスレーザの出力は、パルスエネルギーで７００ｍＪ以上とするのが望ましく、さらに８５０ｍＪとするのが一層望ましい。パルスエネルギーの出力が小さいと、前記ピーク強度比は小さくなる傾向にあるが、低いパルスエネルギーでは、光路に配置してレーザの透過率を調整する減衰器の調整範囲が小さくなる。

[0011] 本発明では、非晶質半導体として、基板に形成されたアモルファスシリコン薄膜が好適な対象となる。基板には通常はガラス基板が用いられるが、本発明としては基板の材質が特に限定されるものではなく、その他の材質であってもよい。アモルファスシリコン薄膜は、通常は、４０～１００ｎｍの厚さに形成されているが、本発明としてはその厚さが特に限定されるものではない。

[0012] また、パルスレーザとしては、好適には、波長３０８ｎｍのエキシマレーザが挙げられる。ただし、本発明としてはパルスレーザの種別がこれに限定されるものではない。

発明の効果

[0013] 以上のように、この発明によれば、非晶質半導体にパルスレーザを照射して前記非晶質半導体を結晶化させる際に、前記パルスレーザが時間的強度変化において１パルスに複数のピーク群を有し、前記非晶質半導体への照射時に、該ピーク群のうち、最大高さを有する第１のピーク群と、その後に現れる第２のピーク群とが、ピーク強度値で（第２のピーク群）／（第１のピーク群）≦０．３５の関係を満たすものとするので、均一な結晶質半導体を得られる効果がある。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の一実施形態のレーザアニール装置を示す概略図である。

[図2]同じく、実施例におけるパルスレーザのパルス波形を示す図である。

[図3]同じく、実施例における各エネルギー密度でのＳＥＭ写真を示す図である。

[図4]同じく、実施例における照射ムラを示す多結晶シリコン薄膜を示す概念図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下に、この発明の一実施形態を図１に基づいて説明する。

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８を対象にし、該基板８上には非晶質膜としてアモルファスシリコン薄膜８ａが形成されているものとする。アモルファスシリコン薄膜８ａは、常法により基板８の上層に形成され、脱水素処理がなされている。

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。

[0016] 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エキシマレーザアニール処理装置１を示すものであり、該エキシマレーザアニール処理装置１は、本発明のレーザアニール装置に相当する。

エキシマレーザアニール処理装置１では、３０８ｎｍの波長を有しパルス周波数１～６００Ｈｚ、パルス幅（FWHM：full width at half maximum）２０～５０ｎｓのパルスレーザを出力するエキシマレーザ発振器２が除振台６に設置されており、該エキシマレーザ発振器２には、パルス信号を生成する制御回路２ａが備えられている。

[0017] また、エキシマレーザ発振器２から出力されるパルスレーザは、図２に示すように１パルスに、時間的変化において２つのピーク群Ａ、Ｂを有しており、最大高さを有する第１のピーク群Ａのピーク強度ａに対し、第２のピーク群Ｂのピーク強度ｂとは、ｂ／ａが０．３５以下の条件を満たしている。２番目以後のピークのみを１番目のピークと別に成形することが出来ないことと、２番目以後のピークの制御は出来ないために２番目以後のピークの強度を下げたパルスレーザを出力することが必要である。該パルスレーザ波形

の設定は、レーザの発振回路の設計やレーザ発振器のエネルギーの設定またはエキシマガスレーザのガス混合比などによって行うことができる。

上記エキシマレーザ発振器２は、本発明のレーザ発振器に相当する。

[0018] エキシマレーザ発振器２の出力側には、減衰器３が配置されており、減衰器３の出力側には、結合器４を介して光ファイバ５が接続されている。光ファイバ５の伝送先には、集光レンズ７０ａ、７０ｂと該集光レンズ７０ａ、７０ｂ間に配置したビームホモジナイザ７１ａ、７１ｂ等を備える光学系７が接続されている。光学系７には、その他に、ミラーなどの適宜の光学部材を備えるものであってもよい。本発明としては光学系の内容が特に限定されるものではなく、適宜の光学部材によって構成することができる。光学系７では、パルスレーザを導く他に、適宜のビーム形状に整形することができる。

[0019] 光学系７の出射方向には、基板８を載置する基板載置台９が設置されている。光学系７は、パルスレーザを照射面形状で長方形またはラインビーム状に整形するように設定されている。上記基板載置台９は、該基板載置台９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９を前記面方向に沿って高速移動させる移動装置１０が備えられている。

[0020] 次に、上記エキシマレーザアニール処理装置１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９上に、アモルファスシリコン薄膜８ａが上層に形成された基板８を載置する。

制御回路２ａでは、予め設定されたパルス周波数（１～６００Ｈｚ）、パルス幅（FWHM）２０～５０ｎｓ、前記パルスエネルギーのパルスレーザが出力されるようにパルス信号が生成され、該パルス信号によってエキシマレーザ発振器２より３０８ｎｍの波長のパルスレーザが出力される。

[0021] エキシマレーザ発振器２から出力されたパルスレーザは、減衰器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、加工面でパルスレーザが所定のエネルギー密度になるように設定される。減衰器３は

、減衰率を可変にしてもよい。

エネルギー密度が調整されたパルスレーザは、光ファイバ５によって伝送されて光学系７に導入される。光学系７では、上記のように集光レンズ７０ａ、７０ｂ、ビームホモジナイザ７１ａ、７１ｂなどによって短軸幅が１．０ｍｍ以下の長方形またはラインビーム状に整形され、基板８に向けて加工面において所定のエネルギー密度で照射される。また、パルスレーザは、出力時と同様に時間的変化において２つのピーク群を有しており、加工面において（第２のピーク群のピーク強度）／（第１のピーク群のピーク強度）で算出されるピーク強度比が０．３５以下になっている。

[0022] 上記基板載置台９は、アモルファスシリコン薄膜８ａ面に沿って移動装置１０によって、前記ラインビームの短軸幅方向に移動され、この結果、該アモルファスシリコン薄膜８ａ面の広い領域で上記パルスレーザが相対的に走査されつつ照射される。

[0023] 上記パルスレーザ光の照射により基板８上のアモルファスシリコン薄膜８ａのみが加熱されて短時間で多結晶化される。

上記照射により得られた結晶質薄膜は、平均結晶粒径が３５０nm程度で均一で良質な結晶性を有している。上記結晶質薄膜は、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

[0024] 以下に、本発明の実施例を説明する。

同一のレーザ発振器を用いて出力を変えて（１０５０ｍＪ、９５０ｍＪ、８５０ｍＪ）、パルスレーザを出力した際のパルス波形を図２に示す。該波形は、基板８上のアモルファスシリコン薄膜８ａに相当する位置で計測した

波形であり、その強度を相対値で示している。

パルス波形は、第１のピーク群Ａと、その後に現れる第２のピーク群Ｂとを有している。パルスレーザの出力を大きくした場合（１０５０ｍＪ）、これに伴って第１のピーク群の最大高さが大きくなるとともに、第２のピーク群の高さも大きくなっており、第１のピーク群のピーク強度をａ、第２のピーク強度をｂとして、ｂ／ａは０．４１８となっている。また、これよりもパルスレーザの出力を小さくした場合（９５０ｍＪ）、上記比は小さくなるものの、０．３７４を有している。

[0025] このように、ピーク強度比が０．３５を越えるパルスレーザをシリコン薄膜に照射する場合、第２のピーク群の強度が相対的に高く、シリコン薄膜が２度溶融される。すなわち、１番目のピークによりシリコン薄膜が溶融して液体から固体になる際にシリコンが結晶化するが、２番目のピークの強度が高いと凝固したシリコン薄膜は再度溶融され、再結晶化が起きる。この現象がシリコン薄膜ではバラツキを有して生じ、結晶化の均一性が損なわれる。

図２で、さらにパルスレーザの出力を下げると（８５０ｍＪ）、上記比は小さくなって０．３５以下になることが示されている。シリコン薄膜は均一に結晶化される。

[0026] 次に、上記ピーク強度比が０．３７４（比較例）と０．３４１（発明例）であるパルスレーザを、図３に示すエネルギー密度（Ｅ／Ｄ）でシリコン薄膜に照射して結晶化させた。得られた多結晶シリコン薄膜のＳＥＭ写真（倍率５０００倍；図面代用写真）を図３に示した。

基板に照射したエネルギー密度の大きさにより結晶性が変わるが、２番目のピークの強度が小さいレーザパルスで照射した多結晶シリコン薄膜（発明例）の方が、２番目のピークの強度が大きいレーザパルスで照射した多結晶シリコン薄膜（比較例）よりも均一な結晶が得られていることが分かる。

[0027] また、上記試験材に対し、白色光を斜め方向から角度を変えつつ照射することによって照射ムラの発生を目視によって観察した。エネルギー密度を３３７ｍＪ／ｃｍ^{2}とした発明例と、エネルギー密度を３３３ｍＪ／ｃｍ^{2}とし

た比較例について観察結果を図４に示した。図４から明らかなように、結晶化が均一になされた発明例では、照射角度の如何に拘わらず照射ムラは観察されなかったが、比較例では照射ムラが観察された。これにより比較例では結晶化が不均一になされていることが分かる。なお、図示した以外の発明材でも照射ムラは観察されず、図示以外の比較例では上記と同様に照射ムラが観察された。

[0028] 以上、本発明について上記実施形態に基づいて説明を行ったが、本発明は上記実施形態の内容に限定されるものではなく、本発明の範囲を逸脱しない限りは適宜の変更が可能である。

符号の説明

[0029]

１	エキシマレーザアニール処理装置
２	エキシマレーザ発振器
３	減衰器
７	光学系
７０ａ	集光レンズ
７０ｂ	集光レンズ
７１ａ	ビームホモジナイザ
７１ｂ	ビームホモジナイザ
８	基板
８ａ	アモルファスシリコン薄膜
９	基板載置台
１０	移動装置

請求の範囲

[請求項1] 非晶質半導体にパルスレーザを照射して前記非晶質半導体を結晶化させる際に、前記パルスレーザが時間的強度変化において１パルスに複数のピーク群を有し、前記非晶質半導体への照射時に、該ピーク群のうち、最大高さを有する第１のピーク群と、その後に現れる第２のピーク群とが、ピーク強度値で（第２のピーク群）／（第１のピーク群）≦０．３５の関係を満たすことを特徴とする結晶質半導体の製造方法。

[請求項2] 前記非晶質半導体が、基板上に形成されたアモルファスシリコン薄膜であることを特徴とする請求項１に記載の結晶質半導体の製造方法。

[請求項3] パルスレーザを出力するレーザ発振器と、前記パルスレーザを非晶質半導体に導く光学系と、前記パルスレーザを前記非晶質半導体に対し走査して照射するべく前記非晶質半導体を相対的に移動させる移動装置とを備え、

前記レーザ発振器は、出力されるパルスレーザが時間的強度変化において１パルスに複数のピーク群を有し、該ピーク群のうち、最大高さを有する第１のピーク群と、その後に現れる第２のピーク群とが、ピーク強度値で（第２のピーク群）／（第１のピーク群）≦０．３５の関係を満たすものであることを特徴とするレーザアニール装置。

[請求項4] 前記非晶質半導体への照射時に、前記パルスレーザが前記関係｛（第２のピーク群）／（第１のピーク群）≦０．３５｝を満たすことを特徴とする請求項３に記載のレーザアニール装置。