

明 細 書

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

技術分野

[0001] この発明は、非単結晶半導体にラインビーム形状のパルスレーザを走査しつつ複数回のオーバーラップ照射をして非晶質膜の結晶化や結晶膜の改質を行うレーザアニール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] 一般的にTVやPCディスプレイで用いられている薄膜トランジスタは、アモルファス（非結晶）シリコン（以降a-シリコンという）により構成されているが、何らかの手段でシリコンを結晶化（以降p-シリコンという）して利用することでTFTとしての性能を格段に向上させることができる。現在は、低温度でのSi結晶化プロセスとしてエキシマレーザアニール技術がすでに実用化されており、スマートフォン等の小型ディスプレイ向け用途で頻繁に利用されており、さらに大画面ディスプレイなどへの実用化がなされている。

[0003] このレーザアニール法では、高いパルスエネルギーを持つエキシマレーザを非単結晶半導体膜に照射することで、光エネルギーを吸収した半導体が熔融または半熔融状態になり、その後冷却され凝固する際に結晶化する仕組みである。この際には、広い領域を処理するために、ラインビーム形状に整形したパルスレーザを相対的に短軸方向に走査しながら照射する。通常は、非結晶半導体膜を設置した設置台を移動させることでパルスレーザの走査が行われる。

このレーザアニール処理では、光学系を通してレーザのビーム形状を所定形状に整形し、また、ビーム強度がビーム断面において一様（トップフラット：平坦部）になるようにしており、さらには必要に応じてビームを集光して被処理物に照射している。

[0004] ビーム形状の一種としてビーム断面視で短軸幅と長軸幅を有するラインビ

ーム形状が知られており、これを短軸方向に走査しつつ被処理物に照射することで、被処理物の広い面積を一括して効率よく処理することが可能になる。ただし、トップフラットにしたラインビーム形状でも、各種の光学部材などを経ることで、短軸方向および長軸方向の縁部にはエネルギー強度が外側に向かって減少する部分（スティープネス部ともいう）を有している。

[0005] 特許文献1では、集光されたレーザ光の周辺部にガウス分布に従った強度の弱くなる領域が発生するため、線の端部のきれが明確でなくなることを課題として、 $100\mu\text{m}$ にまで集光した後、被加工面より離れた位置にマスクを配設し、このマスクのパターン形状により、例えば $100\mu\text{m}\times 30\text{cm}$ の中に対し $20\mu\text{m}\times 30\text{cm}$ の極細の開溝パターンをその周辺部のエッジを明確にして作り得るとしている。

[0006] また、特許文献2では、ラインビームをスリットに通すことでライン幅が規定され、概ね鋭いエッジを有したフラットな性質を得るとしている（段落0011）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平5-206558号公報

特許文献2：特開平9-321310号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかし、マスクやスリット、または各種光学系を用いてもスティープネス部を全くゼロにすることは困難である。このスティープネス部の低減は光学部材の設計などにより行うことも可能であるが、光学部材の設計などによって過度にスティープネス部を低減しようとする、図8に示すように、パルスレーザ150のビーム強度プロファイルにおいて平坦部151の短軸方向端に強度が急激に増加する強度突部151aが局所的に形成されてしまう。また、マスクやスリットを用いた場合にも回折現象によって、透過したレー

ザビームのビーム強度プロファイルにおいて平坦部 151 の短軸方向端に強度が急激に増加する強度突部 151 a が同様に形成されてしまう。特許文献 1 は、透光性導電膜などの加工面に紫外線光により直線描画を行うものであり、上記した突部が格別な支障となるものではない。しかし、レーザアニールでは、平坦部端に形成される突部を有するパルスレーザを用いた場合、最適エネルギー密度範囲から外れるなどしてアニール処理に不具合が生じてしまう。

このため、従来のレーザアニールでは、マスクやスリットを使用することなく、ステープネス部の短軸方向幅をレーザ照射に際し比較的支障がないと考えられている 70 ~ 100 μm 程度にすることで、強度突部の出現を避け、かつ光学部材の設計を容易にしている。

[0009] しかし、本発明者らの注意深い観察によれば、現状でもパルスレーザの照射によって結晶化された半導体には照射ムラが認められ、これが原因になってデバイスとした際に性能に影響が生じていることが分かっている。

本願発明者らの研究によれば、上記照射ムラは、ラインビームの走査方向端部のポリシリコン膜の盛り上がりショット毎で不均一に形成されることが原因と考えられる。この部分は、レーザ照射による半導体膜の溶融部と、半導体膜が溶融するのに十分な強度を有するレーザが照射されず固体のままである部分との境目に相当する。この盛り上がりは、照射エネルギーの強度に比例して大きくなると考えられる。すなわち、照射エネルギーが大きくなるに従い半導体膜の膜厚方向に溶融が進み、また膜全体が溶融した後も液体となった半導体膜層の温度が増大する。この液相部分が温度低下に伴い結晶化する際に、より先行して温度が低下し始める固液界面すなわちラインビーム短軸エッジ部に液体が吸い寄せられつつ固化するため、盛り上がりが生じると考えられる。この盛り上がりが所定の間隔で同等の高さで形成されている限りは照射ムラは大きく目立つものではない。

[0010] しかし、レーザの出力エネルギーの変動が生じると、図 9 に示すようにステープネス部の傾きも変動し、半導体膜のアニールに影響がある領域（例

えば溶融閾値以上の領域)の短軸幅が変化してしまう。図9に示すビーム強度プロファイルでは、ビーム強度が+10%変動した場合、100 μ mのステープネス部を有するビーム強度プロファイルでは、溶融閾値領域の短軸幅が両端でそれぞれ3%増大してしまう。これにより非単結晶半導体での溶融幅が変動するため前記盛り上がり部の高さや間隔の乱れが生じ照射ムラとなって現れる。

- [0011] 本発明は、上記事情を背景としてなされたものであり、レーザの出力エネルギーの変動による影響を軽減することができるレーザアニール方法およびレーザアニール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

- [0012] すなわち、本発明のレーザアニール方法のうち第1の本発明は、非単結晶半導体膜上に、ビーム断面形状をラインビームとしたパルスレーザを前記ラインビームの短軸方向に走査しつつ照射するレーザアニール方法において、

前記ラインビームが、ビーム強度プロファイルにおいて、短軸方向端部に位置するステープネス部を有し、前記ステープネス部が前記ビーム強度プロファイルにおける最大強度の10%以上90%以下の強度を有する領域であり、

前記ステープネス部のうち走査方向後方側に位置する前記ステープネス部の短軸方向幅が前記非単結晶半導体膜の照射面上で50 μ m以下になるようにして前記照射を行うことを特徴とする。

- [0013] 第2の本発明のレーザアニール方法は、前記第1の本発明において、前記パルスレーザの波長が400nm以下であることを特徴とする。

- [0014] 第3の本発明のレーザアニール方法は、前記第1または第2の本発明において、前記パルスレーザの照射面上におけるパルス半値幅が200ns以下であることを特徴とする。

- [0015] 第4の本発明のレーザアニール方法は、前記第1～第3の本発明のいずれかにおいて、前記パルスレーザは、照射面上において前記ビーム強度プロファイルにおける最大強度の値が250～500mJ/cm²であることを特徴

とする。

[0016] 第5の本発明のレーザアニール方法は、前記第1～第4の本発明のいずれかにおいて、前記非単結晶半導体がシリコンであることを特徴とする。

[0017] 第6の本発明のレーザアニール方法は、前記第1～第5の本発明のいずれかにおいて、前記パルスレーザは、ビーム強度プロファイルにおいて、短軸方向に平坦部を有し、前記最大強度は、前記平坦部における強度の平均値で与えられることを特徴とする。

[0018] 第7の本発明のレーザアニール方法は、前記第1～第6の本発明のいずれかにおいて、前記パルスレーザは、ビーム強度プロファイルにおいて、両端部のいずれか一方または両方に局所的に強度が上昇する強度突部を有する場合、前記強度突部を除いた範囲で前記最大強度が与えられることを特徴とする。

[0019] 第8の本発明のレーザアニール方法は、前記第6または第7の本発明において、前記ラインビームは、前記非単結晶半導体膜の照射面上で、前記最大強度の96%以上の領域の短軸方向幅が100～500 μm であることを特徴とする。

[0020] 第9の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光源と、
前記パルスレーザの透過率を調整するアテニュエータと、
前記パルスレーザのビーム断面形状を整形するとともに整形されたパルスレーザを非単結晶半導体膜の照射面上に導く光学系と、を有し、

前記光学系は、前記パルスレーザのビーム断面形状をビーム強度プロファイルにおいて所定の強度以上の高強度領域を有するラインビームに整形する光学部材と、前記ラインビームの短軸方向端部に位置するスティープネス部のうち少なくとも走査方向後方側の短軸方向幅を前記非単結晶半導体膜の照射面上で50 μm 以下になるように急峻にする光学部材とを備えることを特徴とする。

[0021] 第10の本発明のレーザアニール装置は、前記第9の本発明において、前

記スティーブネス部を急峻にする光学部材が、前記パルスレーザの光路に配置され、前記パルスレーザのビーム断面の一部を遮蔽する遮蔽部であることを特徴とする。

[0022] 第11の本発明のレーザアニール装置は、前記第10の本発明において、前記遮蔽部が、前記高強度領域の短軸方向端よりも外側で前記パルスレーザのビーム断面の一部を遮蔽するものであることを特徴とする。

[0023] 第12の本発明のレーザアニール装置は、前記第9～第11の本発明のいずれかにおいて、前記レーザ光源は、波長が400nm以下の前記パルスレーザを出力するものであることを特徴とする。

[0024] 第13の本発明のレーザアニール装置は、前記第9～第12の本発明のいずれかにおいて、前記レーザ光源は、半値幅が200ns以下の前記パルスレーザを出力するものであることを特徴とする。

[0025] 第14の本発明のレーザアニール装置は、前記第9～第13の本発明のいずれかにおいて、前記光学系は、前記パルスレーザを、強度が最大強度の96%以上である前記高強度領域と端部に位置するスティーブネス部とを有するビーム強度プロファイルに強度調整する光学部材を備えることを特徴とする。

[0026] 第15の本発明のレーザアニール装置は、前記第9～第14の本発明のいずれかにおいて、前記アテニュエータは、非単結晶半導体膜の照射面上における前記パルスレーザのビーム強度プロファイルにおける最大強度を250～500mJ/cm²に調整することを特徴とする。

[0027] すなわち、本発明によれば、スティーブネス部を急峻にすることで、パルスレーザの出力変動による照射ムラが軽減される。例えば、所定回数のオーバーラップ照射では、適正とされる照射エネルギー密度があるが、そのエネルギー密度にはある程度の許容範囲がある。しかし、スティーブネス部の幅が従来のように大きい（例えば70μm以上）と、適正な照射エネルギー密度幅内の変動であっても、照射ムラとして現れる。

なお、スティーブネス部は、エネルギー強度が外側に向かって減少してい

く部分であって、短軸方向のビーム強度プロファイルにおける最大強度の10%以上90%以下の強度を有する領域をいう。

スティープネス部の幅を小さく（50 μm 以下）した本願発明では、エネルギー変動による影響が大幅に小さくなり、その結果、照射ムラを小さくすることができる。

なお、スティープネス部の幅は、同様の理由でさらに45 μm 以下とするのが望ましい。

[0028] 本発明のアニール処理は、非単結晶半導体を対象として、非晶質のものを結晶化したり、結晶質のものを改質したりする。改質には、多結晶のものを単結晶化したり、結晶性の改善を図るものが含まれる。非単結晶半導体としては、代表的にはシリコンが挙げられるが、本発明としてはこれに限定されるものではない。

[0029] パルスレーザは、本発明としては特定のものに限定されないが、例えば、波長400 nm以下、半値幅200 ns以下のものが例示される。またパルスレーザの種類も特に限定されないが、例えばエキシマレーザが挙げられる。

[0030] パルスレーザは、シリンドリカルレンズなどの各種光学部材を用いてラインビームに整形される。ラインビームの形状は特定のものに限定されるものではなく、短軸に対し、長軸が大きい比率を有するものであればよい。例えば、その比が10以上のものが挙げられる。長軸側の長さ、短軸側の長さは本発明としては特定のものに限定されないが、例えば、長軸側の長さが370～1300 mm、短軸側の長さが100 μm ～500 μm のものが挙げられる。また、パルスレーザは、ホモジナイザ、シリンドリカルレンズなどの光学部材によって、ビーム強度プロファイルにおいて、例えば最大強度の96%以上の強度を有する高強度領域（好適には平坦部を主とする）を主とし、端部に位置する最大強度の10～90%のスティープネス部を有するプロファイルとすることができる。高強度領域とスティープネス部間は、強度が変化する遷移部分となっており、その幅は僅かである。

なお、高強度領域は、前記した平坦部の他、短軸方向で強度が傾斜傾向を有するものや強度が曲線状分布となるものなどが挙げられ、その間に最大強度を有している。

[0031] スティープネス部の急峻化（走査方向後方側において幅 $50\ \mu\text{m}$ 以下）は、例えばビームの端部を遮蔽可能な遮蔽部を用いて行うことができる。遮蔽はビーム透過を遮断するものや透過率を小さくすることによって行うことができる。遮蔽部は、非単結晶半導体膜に近い位置に配置することでスティープネス部の幅を小さくすることができ、この場合、より耐熱性の高い材料を使用することができる。また、遮蔽部を光路に沿って多段に配置することで、遮蔽部へのダメージを小さくした上でスティープネス部の短軸方向幅を小さくすることができる。

この遮蔽部は、前記高強度領域の短軸方向端よりも外側で前記パルスレーザのビーム断面の一部を遮蔽するのが望ましい。パルスレーザビームの一部を遮蔽した場合、回折現象により透過部分の端部で強度が高まり、強度突部が形成されるのは前記したとおりである。この現象を利用して高強度領域の外側で強度が低下し始めている部分で遮蔽を行うと、強度突部が生じないか、ごく小さいものにすることができる。ただ、あまりに外側で遮蔽すると、高強度領域の外側で強度が一旦低下し、その外側で強度が上昇する強度プロファイルになるので、適宜強度の位置で遮蔽を行うのが望ましい。例えば、最大強度に対し $70\sim90\%$ となる強度範囲の位置で遮蔽を行うのが望ましい。

[0032] また、スティープネス部の急峻化（幅 $50\ \mu\text{m}$ 以下）は、例えば光学部材の調整などによって行うことができる。例えば、シリンドリカルレンズによる結像位置に対するシリコン膜位置の調整や、シリンドリカルレンズとして、より結像性能の良い組レンズを使用することなどにより実現できる。

[0033] パルスレーザは、オーバーラップ回数によっても異なるが、例えば $250\sim500\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ のエネルギー密度で非単結晶半導体に照射するものが挙げられる。オーバーラップ回数としては、 $8\sim50$ 回を例示することができる。

、この際に走査速度としては1～100mm/秒を挙げることができる。

発明の効果

[0034] すなわち、本発明によれば、スティープネス部が急峻化され、エネルギー出力が変動した際の影響を軽減して照射ムラを小さくすることができ、結果として高品質の半導体デバイスを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]本発明の一実施形態におけるレーザアニール装置を示す概略図である。

[図2]同じく、遮蔽部の形状を示す図である。

[図3]同じく、遮蔽部を経る際のビーム強度プロファイルの変化を示す図である。

[図4]同じく、照射面上におけるビーム強度プロファイルを示す図である。

[図5]同じく、レーザ出力変動時の照射面上におけるビーム強度プロファイルの変化を示す図である。

[図6]本発明の他の実施形態におけるレーザアニール装置を示す概略図である。

[図7]本発明の実施例における照射ムラ評価結果を示す図面代用写真である。

[図8]従来の平坦部端に突部が形成されたビーム強度プロファイルを示す図である。

[図9]従来の照射面上におけるビーム強度プロファイルを示す図である。

発明を実施するための形態

[0036] 以下に、本発明のレーザアニール装置1を添付図面に基づいて説明する。

レーザアニール装置1は、処理室2を備えており、処理室2内にX-Y方向に移動可能な走査装置3を備え、その上部に基台4を備えている。基台4上には、ステージとして基板配置台5が設けられている。走査装置3は、図示しないモータなどによって駆動される。

また、処理室2には、外部からパルスレーザを導入する導入窓6が設けられている。

[0037] アニール処理時には、該基板配置台5上に非単結晶半導体の半導体膜とし

て非晶質のシリコン膜100などが設置される。シリコン膜100は、図示しない基板上に、例えば40～100nm厚（具体的には例えば50nm厚）で形成されている。該形成は常法により行うことができ、本発明としては半導体膜の形成方法が特に限定されるものではない。

なお、本実施形態では、非晶質膜をレーザ処理により結晶化するレーザ処理に関するものとして説明するが、本発明としてはレーザ処理の内容がこれに限定されるものではなく、例えば、非単結晶の半導体膜を単結晶化したり、結晶半導体膜の改質を行うものであってよい。

[0038] 処理室2の外部には、パルス発振レーザ光源10が設置されている。該パルス発振レーザ光源10は、エキシマレーザ発振器で構成されており、波長400nm以下、繰り返し発振周波数1～1200Hzのパルスレーザを出力可能になっており、該パルス発振レーザ光源10では、フィードバック制御によってパルスレーザの出力を所定範囲内に維持するように制御することができる。

[0039] 該パルス発振レーザ光源10でパルス発振されて出力されるパルスレーザ15は、アテニュエータ11でエネルギー密度が調整され、ホモジナイザー12a、反射ミラー12b、シリンドリカルレンズ12cなどの光学部材によって構成される光学系12でラインビーム形状への整形や偏向、平坦部とスティープネス部とを有するビーム強度プロファイル形状への強度分布調整などがなされ、パルスレーザ150として、処理室2に設けた導入窓6を通して処理室2内の非晶質シリコン膜100に照射される。なお、光学系12を構成する光学部材は上記に限定されるものではなく、各種レンズ（ホモジナイザー、シリンドリカルレンズなど）、ミラー、導波部などを備えることができる。

[0040] また、処理室2内には遮蔽部20が配置されている。遮蔽部20は、パルスレーザ150の相対的なビーム走査方向に対する短軸方向後端部を遮蔽可能な位置に配置される。なお、遮蔽部では、対となる2つの遮蔽板を互いの間隙量を設けて配置し、パルスレーザの走査方向両端部を遮蔽するように配

置してもよい。

[0041] 次に、上記レーザアニール装置 1 の動作について説明する。

パルス発振レーザ光源 10 においてパルス発振されて出力されるパルスレーザ 15 は、例えば、波長 400 nm 以下、パルス半値幅が 200 ns 以下のものとされる。ただし、本発明としてはこれらに限定されるものではない。

パルスレーザ 15 は、アテニュエータ 11 でパルスエネルギー密度が調整される。アテニュエータ 11 は所定の減衰率に設定されており、シリコン膜 100 への照射面上で所定の照射パルスエネルギー密度が得られるように、減衰率が調整される。例えば非晶質のシリコン膜 100 を結晶化するなどの場合、その照射面上において、エネルギー密度が 150 ~ 500 mJ / cm²、望ましくは、250 ~ 500 mJ / cm² となるように調整することができる。

[0042] アテニュエータ 11 を透過したパルスレーザ 15 は、光学系 12 でラインビーム形状に整形され、さらに光学系 12 のシリンドリカルレンズ 12c を経て短軸幅を集光して、処理室 2 に設けた導入窓 6 に導入される。

パルスレーザ 150 は、図 3 に示すように、最大エネルギー強度に対し平坦部 151 を含む 96 % 以上となる高強度領域と、長軸方向の両端部に位置し、前記平坦部 151 よりも小さいエネルギー強度を有し、外側に向けて次第にエネルギー強度が低下するスティープネス部 152 とを有している。スティープネス部は、最大強度の 10 % ~ 90 % の範囲の領域である。

[0043] パルスレーザ 150 は導入窓 6 を透過して処理室 2 内に導入され、さらに進行して遮蔽部 20 に至る。遮蔽部 20 は、パルスレーザ 150 に対し、短軸方向両端のスティープネス部 152 を遮蔽するように、ビーム強度プロファイルにおける最大強度の 70 ~ 90 % の位置に配置されている。これにより、遮蔽部 20 を透過した際に高強度領域の端に形成される強度突部の大きさが小さくなる、または消滅するようにコントロールすることができる。

[0044] スティープネス部 152 を低減したパルスレーザ 150 は、図 3、4 に示

すように、遮蔽部20を通過することで、回折などによってビーム走査方向における短軸方向後端部にスティープネス部153が形成される。但し、遮蔽部20を経たスティープネス部153は、遮蔽部20通過前のスティープネス部152を遮蔽して形成されるものであるため、遮蔽部20を透過する前のスティープネス部152に比べて拡がり幅は相当に小さくなっている。なお、ビーム走査方向における短軸方向前端部のスティープネス部152は、そのままでも支障はない。なお、図3、4では、ビームの相対的な走査方向を示している（以降の図5も図示）。

また、遮蔽部20は、平坦部の強度よりも低い強度位置でパルスレーザ150を遮蔽するため、平坦部を遮蔽する場合よりもシリコン膜100に近い位置に設置しても遮蔽部に対するダメージが少ない。シリコン膜100に近い位置に設置することでスティープネス部153の拡がりをより少なくすることができ、その短軸幅を照射面上で50 μ m以下にすることができる。この点で、平坦部において遮蔽を行う従来のマスクやスリットに対し、特異性を有している。

[0045] 遮蔽部20を通過したパルスレーザ150では、図3、4に示すように、拡がり小さくなったスティープネス部153が得られ、該スティープネス部の幅が照射面上で50 μ m以下、さらに望ましくは45 μ m以下に低減される。

[0046] 走査装置3でシリコン膜100を移動させることでパルスレーザ150をシリコン膜100に対し相対的に走査しつつシリコン膜100に照射する。なお、本発明としては前記走査の速度が特定のものに限定されるものではない。照射ピッチは5～65 μ mとすることができる。

パルスレーザ150は、上記のようにスティープネス部153の幅が50 μ m以下に小さくなっており、仮に、パルスレーザ150の出力が変動した場合でも、溶融閾値以上の領域の幅の大きさの変動率を小さく抑えることができる。例えば、図5に示すように、出力エネルギーが10%増加した場合でもスティープネス部153の幅が50 μ m以下の場合、溶融閾値以上の領域

の幅の変動を0.95%以下に抑えることができる。

[0047] 図6は、他の実施形態のレーザアニール装置1aを示すものであり、遮蔽部を多段（この例では2段）に設置したものである。なお、前記実施形態と同様の構成については同一の符号を付してその説明を省略または簡略化している。

[0048] 集光レンズであるシリンドリカルレンズ12cと導入窓6との間には、第1の遮蔽部に相当する第1遮蔽部21が配置されており、処理室2内には第2の遮蔽部に相当する第2遮蔽部22が配置されている。図6に示すように、第1遮蔽部21は、パルスレーザ150のビーム走査方向における短軸方向後端部を遮蔽可能な位置に配置される。また、第2遮蔽部22も同様に、パルスレーザ150のビーム走査方向における短軸方向後端部を遮蔽可能な位置に配置される。

なお、第1遮蔽部21、第2遮蔽部22では、対となる2つの遮蔽板を互いの間隙量を設けて配置し、パルスレーザの走査方向両端部を遮蔽するように配置してもよい。

[0049] 第1遮蔽部21でスティーブネス部152を低減したパルスレーザ150は、第1遮蔽部21を通過することで、回折などによって走査方向における短軸方向後端部にスティーブネス部153が形成される。但し、スティーブネス部153は、スティーブネス部152を遮蔽して形成されるため、スティーブネス部152に比べて拡がり幅は相当に小さくなっている。

この第1遮蔽部21では、高強度領域の短軸方向端よりも外側で前記パルスレーザのビーム断面の一部を遮蔽するのが望ましく、さらにビーム強度プロファイルにおける最大強度の70～90%の位置に配置されているのが望ましい。

[0050] さらに、スティーブネス部153を有するパルスレーザ150は、導入窓6を透過して処理室2内に導入され、さらに進行して、第2遮蔽部22に至る。第2遮蔽部22では、第1遮蔽部21で低減されたスティーブネス部153が位置する。このため、第2遮蔽部22では、短軸方向内側のスティー

プネス部の一部を除いて残部のスティーブネス部が遮蔽される。第2遮蔽部22を通過したパルスレーザ150では、回折などによってスティーブネス部が形成されるものの、第2透過部22に至る前のスティーブネス部に比べて拡がり幅はさらに小さくなっており、スティーブネス部がより低減される。

この第2遮蔽部22では、高強度領域の短軸方向端よりも外側で前記パルスレーザのビーム断面の一部を遮蔽するのが望ましく、第1遮蔽部21を通過後のビーム強度プロファイルにおける最大強度の70～90%の位置に配置されているのが望ましい。

[0051] なお、上記各実施形態では、光路上に遮蔽部を配置することで、走査方向における短軸方向後端のスティーブネス部幅を低減したが、例えば、シリンドリカルレンズ12cによる結像位置に対するシリコン膜位置の調整や、シリンドリカルレンズ12cとして、より結像性能の良い組レンズを使用することなどによってもスティーブネス部幅低減を実現でき、遮蔽部と組み合わせで行うこともできる。

実施例 1

[0052] 次に、本発明の実施例について説明する。

50nm厚のアモルファスシリコン膜が形成された基板を用意し、図1の実施形態のレーザ処理装置において、パルス発振レーザ光源をエキシマレーザ発振器（商品名：LSX540C）とし、波長308nmのパルスレーザをパルス周波数300Hzで出力するものとした。

光学系によってビームサイズを370mm×0.4mmのラインビームに整形し、マスクによってビーム走査方向における短軸方向後端部のスティーブネス部の幅を40μmとした。また、比較のため、マスクをアモルファスシリコン膜に対し高位置に配置し、短軸方向のスティーブネス部の幅を70μmとしたものを用意した。

[0053] オーバラップ回数は20回とした。この条件で、結晶化に最適な照射エネルギー密度は310～330mJ/cm²の範囲となる。なお、この条件にお

いて走査ピッチは $20\mu\text{m}$ になる。

さらに、アテニュエータの調整によって照射エネルギー密度を 310 、 320 、 330 、 340 、 350 、 360 、 $370\text{mJ}/\text{cm}^2$ で変更した照射試験を行い、結晶性を評価した。この例の結晶化に際しての最適エネルギー密度範囲（OED）は $310\sim 340\text{mJ}/\text{cm}^2$ であったが、エネルギー密度の変動による影響をより顕著にするため、 $350\text{mJ}/\text{cm}^2$ の試験例について、光学顕微鏡により表面観察を行い、暗視野観察で得られた表面像を図7に示した。

その結果、発明例では、ショット毎の短軸方向溶融領域端部の盛り上がりの間隔が一定の値すなわち $20\mu\text{m}$ となっているため照射ムラとして認識されなかった。

比較例では、レーザショット毎のシリコン膜の機械的移動量が $20\mu\text{m}$ であるにも拘らず、実際の溶融幅が広がって短軸方向溶融領域端部の盛り上がりが大きくなっている部分が生じていた。この部分を照射した際のレーザのパルスエネルギーが相対的に高い値で推移していたことが原因であり、照射ムラとして認識された。

[0054] 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、本発明は上記説明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

- [0055]
- | | |
|-----|------------|
| 1 | レーザアニール装置 |
| 1 a | レーザアニール装置 |
| 2 | 処理室 |
| 3 | 走査装置 |
| 5 | 基板配置台 |
| 6 | 導入窓 |
| 10 | パルス発振レーザ光源 |
| 11 | アテニュエータ |

1 2	光学系
1 2 c	シリンドリカルレンズ
2 0	遮蔽部
2 1	第 1 遮蔽部
2 2	第 2 遮蔽部
1 0 0	シリコン膜

請求の範囲

- [請求項1] 非単結晶半導体膜上に、ビーム断面形状をラインビームとしたパルスレーザを前記ラインビームの短軸方向に走査しつつ照射するレーザアニール方法において、
- 前記ラインビームが、ビーム強度プロファイルにおいて、短軸方向端部に位置するスティープネス部を有し、前記スティープネス部が前記ビーム強度プロファイルにおける最大強度の10%以上90%以下の強度を有する領域であり、
- 前記スティープネス部のうち走査方向後方側に位置する前記スティープネス部の短軸方向幅が前記非単結晶半導体膜の照射面上で50 μ m以下になるようにして前記照射を行うことを特徴とするレーザアニール方法。
- [請求項2] 前記パルスレーザの波長が400 nm以下であることを特徴とする請求項1記載のレーザアニール方法。
- [請求項3] 前記パルスレーザの照射面上におけるパルス半値幅が200 ns以下であることを特徴とする請求項1または2に記載のレーザアニール方法。
- [請求項4] 前記パルスレーザは、照射面上において前記ビーム強度プロファイルにおける最大強度の値が250～500 mJ / cm²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レーザアニール方法。
- [請求項5] 前記非単結晶半導体がシリコンであることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のレーザアニール方法。
- [請求項6] 前記パルスレーザは、ビーム強度プロファイルにおいて、短軸方向に平坦部を有し、前記最大強度は、前記平坦部における強度の平均値で与えられることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のレーザアニール方法。
- [請求項7] 前記パルスレーザは、ビーム強度プロファイルにおいて、両端部のいずれか一方または両方に局所的に強度が上昇する強度突部を有する

場合、前記強度突部を除いた範囲で前記最大強度が与えられることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のレーザアニール方法。

[請求項8] 前記ラインビームは、前記非単結晶半導体膜の照射面上で、前記最大強度の 96 % 以上の領域の短軸方向幅が 100 ～ 500 μm であることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載のレーザアニール方法。

[請求項9] パルスレーザを出力するレーザ光源と、
前記パルスレーザの透過率を調整するアテニュエータと、
前記パルスレーザのビーム断面形状を整形するとともに整形されたパルスレーザを非単結晶半導体膜の照射面上に導く光学系と、を有し、
前記光学系は、前記パルスレーザのビーム断面形状をビーム強度プロファイルにおいて所定の強度以上の高強度領域を有するラインビームに整形する光学部材と、前記ラインビームの短軸方向端部に位置するスティープネス部のうち少なくとも走査方向後方側の短軸方向幅を前記非単結晶半導体膜の照射面上で 50 μm 以下になるように急峻にする光学部材とを備えることを特徴とするレーザアニール装置。

[請求項10] 前記スティープネス部を急峻にする光学部材が、前記パルスレーザの光路に配置され、前記パルスレーザのビーム断面の一部を遮蔽する遮蔽部であることを特徴とする請求項 9 記載のレーザアニール装置。

[請求項11] 前記遮蔽部が、前記高強度領域の短軸方向端よりも外側で前記パルスレーザのビーム断面の一部を遮蔽するものであることを特徴とする請求項 10 記載のレーザアニール装置。

[請求項12] 前記レーザ光源は、波長が 400 nm 以下の前記パルスレーザを出力するものであることを特徴とする請求項 9 ～ 11 のいずれかに記載のレーザアニール装置。

[請求項13] 前記レーザ光源は、半値幅が 200 ns 以下の前記パルスレーザを出力するものであることを特徴とする請求項 9 ～ 12 のいずれかに記載のレーザアニール装置。

[請求項14] 前記光学系は、前記パルスレーザを、強度が最大強度の 96 % 以上

である前記高強度領域と端部に位置するスティーブネス部とを有する
ビーム強度プロファイルに強度調整する光学部材を備えることを特徴
とする請求項9～13のいずれかに記載のレーザアニール装置。

[請求項15]

前記アテニュエータは、非単結晶半導体膜の照射面上における前記
パルスレーザのビーム強度プロファイルにおける最大強度を250～
500 mJ / cm²に調整することを特徴とする請求項9～14のい
ずれかに記載のレーザアニール装置。