(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3587900号

(P3587900)

(45)発行日　平成16年11月10日(2004.11.10)　(24)登録日　平成16年8月20日(2004.8.20)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H01L 21/268	H01L	21/268	Z
H01L 21/20	H01L	21/20	
H01L 21/336	H01L	27/12	R
H01L 27/12	H01L	29/78	627G
H01L 29/786	H01L	29/78	627F

請求項の数 6　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願平7-37705
(22)出願日　平成7年2月2日(1995.2.2)
(65)公開番号　特開平8-213341
(43)公開日　平成8年8月20日(1996.8.20)
審査請求日　平成14年1月17日(2002.1.17)

(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　楠本　直人
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　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

審査官　松本　貢

最終頁に続く

(54)【発明の名称】結晶性珪素膜の作製方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

非晶質珪素膜を形成し、

前記非晶質珪素膜を加熱して水素を脱離させ、

パルス発振方式のレーザーを線状のビームに加工し、該線状のレーザービームを前記非晶質珪素膜に照射して結晶化する結晶性珪素膜の作製方法であって、

前記線状のレーザービームは、レーザービーム走査方向に平行な断面でのエネルギー分布が、正規分布または正規分布に似た分布であり、

前記線状のレーザービームを用いて、前記レーザービーム走査方向に沿って前記非晶質珪素膜を走査する際に、前記線状のレーザービームの一部を重ねながら前記非晶質珪素膜に対して照射することにより、前記非晶質珪素膜の一点に対して、前記レーザービームを３回～１００回照射して結晶化することを特徴とする結晶性珪素膜の作製方法。

【請求項２】

非晶質珪素膜を形成し、

前記非晶質珪素膜を加熱して水素を脱離させ、

パルス発振方式のレーザーを線状のビームに加工し、該線状のレーザービームを用いて、レーザービーム走査方向に沿って前記非晶質珪素膜を走査しながら、前記レーザービームを前記非晶質珪素膜に照射して結晶化する結晶性珪素膜の作製方法であって、

前記線状のレーザービームは、前記レーザービーム走査方向に平行な断面でのエネルギー分布が、正規分布または正規分布に似た分布を有し、前記走査方向の長さがＬ［ｍｍ］で

あり、１秒間当たり発振されるパルス数がＮ［回／ｓ］であって、
前記線状のレーザービームの走査速度はＶ［ｍｍ／ｓ］であって、
３≦（ＬＮ／Ｖ）≦１００を満たす条件で、前記線状のレーザービームを前記非晶質珪素膜に照射して結晶化することを特徴とする結晶性珪素膜の作製方法。
【請求項３】
非晶質珪素膜を形成し、
前記非晶質珪素膜を加熱して水素を脱離させ、
パルス発振方式のレーザーを線状のビームに加工し、該線状のレーザービームを用いて、レーザービーム走査方向に沿って前記非晶質珪素膜を走査しながら、前記レーザービームを前記非晶質珪素膜に照射して結晶化する結晶性珪素膜の作製方法であって、
前記非晶質珪素膜は、厚さ１５０Å～１０００Åであり、
前記線状のレーザービームは、１パルス当たりの平均のエネルギー密度が１００～５００ｍＪ／ｃｍ^2 であって、
前記線状のレーザービームは、前記レーザービーム走査方向に平行な断面でのエネルギー分布が、正規分布または正規分布に似た分布を有し、前記走査方向の長さがＬ［ｍｍ］であり、１秒間当たりの発振されるパルス数がＮ［回／ｓ］であって、
前記線状のレーザービームの走査速度がＶ［ｍｍ／ｓ］であって、
３≦（ＬＮ／Ｖ）≦１００を満たす条件で、前記線状のレーザービームを前記非晶質珪素膜に照射して結晶化することを特徴とする結晶性珪素膜の作製方法。
【請求項４】
請求項３において、前記結晶性珪素膜は、珪素の結晶化を助長する金属元素を１×１０^{16}～５×１０^{19} 原子／ｃｍ^3 の濃度で含むことを特徴とする結晶性珪素膜の作製方法。
【請求項５】
請求項２乃至４のいずれか１項において、
前記線状のレーザービームの走査方向の長さＬは、当該レーザービームのエネルギーが最大エネルギーの５％以上である部分の長さとすることを特徴とする結晶性珪素膜の作製方法。
【請求項６】
請求項１乃至５のいずれか１項において、前記パルス発振方式のレーザーはエキシマレーザーであることを特徴とする結晶性珪素膜の作製方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、例えば半導体材料に対して行われるようなアニールを大面積にわたって均一に、かつ効率的に行う技術に関する。また、本明細書で開示する発明は、特定の領域に対して、徐々に照射エネルギー密度を変化させてレーザー光を照射する場合において、作業効率を低下させない技術に関する。
【０００２】
【従来の技術】
近年、半導体素子プロセスの低温化に関して盛んに研究が進められている。その大きな理由は、安価で加工性に富んだガラス等の絶縁基板上に半導体素子を形成する必要が生じたからである。その他にも素子の微小化や素子の多層化に伴う要請もある。
【０００３】
特にガラス基板上に半導体素子を形成する技術は、アクティブマトリクス型の液晶表示装置を構成するパネルを作製するために必要とされる。これは、ガラス基板上に薄膜トランジスタを数百×数百以上のマトリクス状に配置する構成である。ガラス基板は、６００℃程度以上の温度に長時間曝された場合、変形や縮が顕著に表れてしまうので、薄膜トランジスタの作製工程における加熱温度は、なるべく低い温度とすることが求められる。
【０００４】
高い電気的特性を有する薄膜トランジスタを得るためには、薄膜半導体として、結晶性を

有する半導体を用いる必要がある。

【０００５】

結晶性珪素膜を得る方法としては、プラズマＣＶＤ法や５００℃程度による減圧熱ＣＶＤ法によって成膜された非晶質半導体膜を加熱処理によって結晶化させる技術が知られている。この加熱処理は、６００℃以上の温度雰囲気下に試料を数時間以上の間放置することによって行われる。例えば、この加熱処理工程の温度が６００℃の場合、その処理に要する時間としては、１０時間以上が必要とされる。一般的に６００℃の温度で１０時間以上の時間にわたりガラス基板を加熱すると、基板には変形（歪み）や縮が顕著に表れてしまう。薄膜トランジスタを構成する薄膜半導体は、その厚さが数百Å、その大きさが数μｍ～数十μｍ程度であるので、基板の変形は、動作不良の原因や電気特性のバラツキ等の要因となってしまう。特に基板を大面積化（対角２０インチ以上）した場合にこの基板の変形や縮が大きな問題となる。

【０００６】

また１０００℃以上の温度での加熱処理であれば、数時間の処理時間で結晶化を行うことができるが、一般のガラス基板は１０００℃程度の温度には短時間であっても耐えることができない。

【０００７】

また石英基板を用いれば、１０００℃以上の加熱処理を行うことができ、良好な結晶性を有する結晶性珪素膜を得ることができる。しかし、特に大面積の石英基板は高価であり、今後大型化が要求される液晶表示装置に利用することは経済性の観点から困難である。

【０００８】

このような状況において、薄膜トランジスタの作製に際するプロセスの低温化が要求されている。このプロセスの低温化を実現する技術として、レーザー光の照射によってアニールを行う手法が知られている。このレーザー光の照射技術は究極の低温プロセスと注目されている。レーザー光は熱アニールに匹敵する高いエネルギーを必要とされる箇所にのみ限定して与えることができ、基板全体を高い温度にさらす必要がない。従って、基板としてガラス基板を用いることができる。

【０００９】

ただし、レーザー光の照射によるアニール技術は、レーザー光の照射エネルギーが一定しないという問題がある。この問題は、必要以上のエネルギーを照射できる装置を用い、その出力を減光装置等で絞って用いることで解決することができる。しかし、装置の大型化に従うコストの増加という問題は残る。

【００１０】

このような問題があるにしても、レーザー光の照射によるアニール技術は、基板としてガラスを基板として利用できるという意味で非常に有用なものである。

【００１１】

レーザー光の照射方法としては、大きく分けて以下の２つの方法がある。

第１の方法はアルゴンイオン・レーザー等の連続発振レーザーを用いたものであり、スポット状のビームを半導体材料に照射する方法である。これはビーム内部でのエネルギー分布の差、およびビームの移動によって、半導体材料が溶融した後、緩やかに凝固することによって半導体材料を結晶化させる方法である。

【００１２】

第２の方法はエキシマーレーザーのごときパルス発振レーザーを用いて、大エネルギーレーザーパルスを半導体材料に照射し、半導体材料を瞬間的に溶融させ、凝固させることによって半導体材料を結晶化させる方法である。

【００１３】

第１の方法の問題点は処理に時間がかかることであった。これは連続発振レーザーの最大エネルギーが限られたものであるため、ビームスポットのサイズがせいぜいｍｍ角単位となるためである。これに対し、第２の方法ではレーザーの最大エネルギーは非常に大きく、したがって、数ｃｍ^2　以上の大きなスポットを用いて、より量産性を上げることがで

きる。

【００１４】

しかしながら、通常用いられる正方形もしくは長方形の形状のビームでは、１枚の大きな面積の基板を処理するには、ビームを上下左右に移動させる必要があり、量産性の面で依然として改善する余地がある。

【００１５】

これに関しては、レーザービームを線状に変形し、ビームの幅を処理すべき基板を越える長さとし、このビームを走査することによって、大きく改善することができる。

【００１６】

改善すべき問題として残されていたことはレーザー照射効果の均一性である。この均一性を高めるために以下のような工夫が行われる。１つの工夫としては、ビームの分布の形状をスリットを介すことにより、矩形にできるだけ近づけて、線状ビーム内のばらつきを小さくする方法である。上記技術において、さらに不均一性を緩和するには、強いパルスレーザー光の照射（以下本照射と呼ぶ）の前に、それよりも弱いパルスレーザー光の予備的な照射（以下予備照射と呼ぶ）を行うと均一性が向上する。この効果は非常に高く、半導体デバイスの特性を著しく向上させることができる。

【００１７】

上記の２段階の照射による方法が有効であるのは、非晶質部分を多く含んだ半導体材料の膜は、レーザーエネルギーの吸収率が多結晶膜とかなり異なるような性質を有しているからである。例えば一般的な非晶質珪素膜（ａ－Ｓｉ膜）は、内部に２０～３０原子％程度の水素を含有しており、いきなり強いエネルギーを有するレーザー光を照射すると、内部から水素が噴出して、その表面は数十Å～数百Åの凹凸を有する荒れたものとなってしまう。薄膜トランジスタに利用される薄膜半導体は、その厚さが数百Å程度であるので、表面が数十Å～数百Åの凹凸を有することは、その電気的特性のバラツキ等の大きな原因となる。

【００１８】

しかし、上記２段階の照射を行った場合、最初の弱い予備照射によって、ある程度の水素が脱離し、次の本照射によって、結晶化が行われるというプロセスが進行する。ここで、予備照射においては、その照射エネルギーがそれ程大きくないので、水素の急激な吹き出しによる膜表面の荒れはあまり問題とならない。

【００１９】

これら２つの工夫によって、レーザー照射効果の均一性をかなり向上させることができる。しかしながら、上述のような２段階照射法を用いると、レーザー処理時間が倍になるので、スループットが低下してしまう。また、レーザーがパルスレーザーであるので、本照射と予備照射とのレーザーの重なり方によって、レーザーアニールの効果に若干の違いが生じてしまう。この違いは、数十μｍ角程度の大きさを有する薄膜トランジスタの特性に大きな影響を与える。

【００２０】

また一般にレーザー光の照射による処理技術（各種材料の変質やレーザーエネルギーを与えることによる処理技術）において、所定の領域において、複数回に渡ってレーザー光の照射エネルギーを変化させて照射したい場合がある。例えば、上述の珪素膜に対するアニール技術はその一つである。

【００２１】

このような技術において従来においては、レーザー光を複数回に分けて照射する手法が採られていた。しかし、レーザー光の照射を複数回に分けるのは、処理時間がその回数倍になるので、作業効率の大幅な低下を招いてしまう。また、特定の照射領域に対して、複数回に分けてレーザー光を照射することは、レーザー光が照射される領域のズレの問題が生じやすく、技術的に困難な場合、あるいは高コストな技術が必要とされる場合があり、実用的ではなかった。

【００２２】

【発明が解決しようとする課題】
本明細書で開示する発明では、レーザー光の照射に際するアニール効果の不均一性の問題を解決することを課題とする。また、レーザー光の照射に際しての経済性を改善することすることを課題とする。
【００２３】
【課題を解決するための手段】
本明細書で開示する発明では、線状レーザービームの分布を工夫することによって、上述のような問題を解決する。即ち、本明細書で開示する発明では線状レーザービームの分布を例えば正規分布のような形にする。このようなエネルギー分布を持ったレーザービームを半導体材料上で走査しながら照射する。すると、前述した予備照射と本照射とを行なうレーザー照射方法で、予備照射の弱いレーザーエネルギーの役割を上述したエネルギー分布（正規分布）の山の中腹から裾の部分が果たしてくれるので、１回のレーザー照射で２段階、あるいは多段階のレーザー照射を行った場合と同様の効果を得ることができる。
【００２４】
ただし、必要とするアニール効果を得るためには、特定の条件を満たした上でレーザー光の照射を行うことが好ましい。以下にその条件を列挙する。
（１）被照射対象として、厚さ１５０～１０００Åの珪素膜とする。
（２）幅Ｌの正規分布またはそれに準ずるビームプロファイル（ビーム形状）を有した１秒間当たりの発振数がＮ回のパルス発振の線状のレーザー光を用いる。（３）正規分布を有した方向に速度Ｖでレーザービームを被照射面に対して走査しながら照射する。
（４）１パルス当たりの平均のエネルギー密度を１００～５００ｍＪ／ｃｍ^2　とする。
（５）１０≦（ＬＮ／Ｖ）≦３０を満たした条件でレーザー光を照射する。
【００２５】
上記の条件の中で、厚さ１５０～１０００Åの珪素膜を被照射対象としているのは、実験的に珪素膜を対象したアニールにおいて、その厚さが１５０Å以下の場合は、成膜の均一性やアニール効果の均一性、さらには再現性の点で問題があること、さらに１０００Å以上の厚さを有する場合は、レーザー光の大出力化が要求され現実的ではなく、また薄膜トランジスタに利用される結晶性珪素膜の厚さとしてそのような厚さは必要されないこと、による。
【００２６】
１パルス当たりのエネルギー密度を１００～５００ｍＪ／ｃｍ^2　とするのは、実験的に、厚さ１０００Å以下の珪素膜に対するレーザーアニールにおいては、１００～５００ｍＪ／ｃｍ^2　のエネルギー密度でレーザー光を照射することが効果的であることが判明しているからである。なお、このエネルギー密度というのは、正規分布またはそれに相似な形状を有するビームプロファイルの頂上部分の値として定義される。
【００２７】
上記構成において、ＬＮ／Ｖで示されるパラメータは、その幅方向のエネルギー密度の分布が正規分布または正規分布に準ずる（または正規分布と見なせる）ビームプロファイルを有する線状のパルスレーザー光を１回走査した場合において、特定の１箇所の線状の領域に照射されるパルスの回数を示すものである。
【００２８】
下記に本明細書で開示する各発明についてそれぞれ説明する。
本明細書で開示する発明の一つは、
線状に加工されたパルスで、パルスレーザーを１方向にずらしながら照射する工程で、被照射物のある一点に着目したとき、該パルスレーザーがその一点に複数回照射されるようレーザービームを一部重ねて打つことを特徴とする。
【００２９】
上記構成は、線状に加工されたレーザービームが重なるように照射することで、特定の領域に複数回に渡って、レーザー光が照射することを特徴とする。
【００３０】

他の発明の構成は、
線状に加工されたレーザービームの照射方法であって、
前記レーザービームはその幅方向において正規分布または正規分布に似たエネルギー分布を有しており、
前記レーザービームはパルス発振方式のレーザーであって、
前記レーザービームは被照射領域に対してその幅方向に移動しながら照射され、
前記レーザービームはその一部が重ねられて照射され、
前記レーザービームの移動しながらの照射に際して、被照射領域の一点に対して１０回～３０回のパルスが照射されることを特徴とする。

【００３１】

他の発明の構成は、
厚さ１５０Å～１０００Åの珪素膜に対するレーザー光の照射方法であって、前記レーザー光は、幅Ｌの正規分布またはそれに準ずるビームプロファイルを有した線状ビームであり、
前記レーザー光は、１秒間当たりの発振数がＮ回のパルス発振のレーザー光であって、
前記レーザー光は、その幅方向に速度Ｖで走査されながら照射され、
前記レーザー光は、１パルス当たりの平均のエネルギー密度が１００～５００ｍＪ／ｃｍ^2　であって、
前記レーザー光は、１０≦（ＬＮ／Ｖ）≦３０を満たした条件で照射されることを特徴とする。

【００３２】

他の発明の構成は、
厚さ１５０Å～１０００Åの珪素膜に対するレーザー光の照射方法であって、前記レーザー光は、幅Ｌの線状ビームであり、かつその幅方向に連続的または段階的にエネルギー密度が変化したビームプロファイルを有し、
前記レーザー光は、１秒間当たりの発振数がＮ回のパルス発振のレーザー光であって、
前記レーザー光は、その幅方向に速度Ｖで走査されながら照射され、
前記レーザー光は、１パルス当たりの平均のエネルギー密度が１００～５００ｍＪ／ｃｍ^2　であって、
前記レーザー光は、１０≦（ＬＮ／Ｖ）≦３０を満たした条件で照射されることを特徴とする。

【００３３】

他の発明の構成は、
所定の領域に段階的に照射エネルギー密度を変化させてレーザー光を複数回に渡って照射する方法であって、
所定の方向に照射エネルギー密度が長さＬに渡り連続的あるいは段階的に変化したビームプロファイルを有するレーザー光を用い、
前記レーザー光は、１秒間当たりの発振数がＮ回のパルス発振のレーザー光であって、
前記レーザー光は、前記所定の方向に速度Ｖで走査されながら照射され、
前記レーザー光の１回の走査において、前記所定の領域に照射されるレーザーパルスの回数をｎとして、前記レーザー光は、ｎ＝ＬＮ／Ｖを満たした条件で照射されることを特徴とする。

【００３４】

この構成を採用すると、特定の領域に対して、徐々にエネルギー密度の変化したレーザー光をｎ回照射することができる。また、上記構成においては、レーザービームの照射エネルギープロファイルは、正規分布に限定されるものではない、例えば、階段状に段階的にエネルギー密度が変化したビーム形状でもよい。また三角状のようなエネルギープロファイルを有したものでもよい。

【００３５】

【作用】

例えば、図３に示すような幅方向に正規分布を有した線状のレーザービームを、ある条件を満たした上でその幅方向に走査させながら照射すると、最初エネルギー分布の裾の部分の弱いエネルギーが照射され、徐々に強いエネルギーが照射されていく。そして、ある一定の値の照射が行われた後、徐々に照射エネルギーは弱くなっていき、照射は終了する。

【００３６】

例えば、その幅方向に照射エネルギーが正規分布を有している線状のパルスレーザービームを用い、ビームの幅をＬ、１秒当たりの発振数をＮ、走査速度をＶとして、ＬＮ／Ｖ＝１５とした場合、レーザービームの１回の走査で、線状の１か所の領域に１５回のパルスが照射されることなる。この１５回の照射は、正規分布を１５分割したものに相当するエネルギー密度で次々と照射される。例えば特定の線状の領域（この線状の領域の幅はかなり狭いものとなる）には、図４に示すようなE_1　～E_{15}のエネルギー密度を有したパルスレーザー光が次々と照射されることとなる。この際、E_1　～E_8　のレーザーパルスは、照射されていくにつれて徐々にその照射エネルギー密度が増加していく、そしてE_8　～E_{15}レーザーパルスは、照射されていくにつれて徐々にその照射エネルギー密度が減少していく。

【００３７】

このように弱いエネルギーの照射から徐々に強いエネルギーの照射とし、さらに徐々に照射エネルギーを弱めていくプロセスは、珪素膜の表面を荒らすことを抑制しつつ、所定のアニール効果を得ることができる。また、複数回に分けてレーザー光を照射するのではなく、走査しながらの１回のレーザー照射によって、所定の効果を得ることができるので、高い作業効率を得ることができる。

【００３８】

特に連続的にそのエネルギー密度が変化したレーザービームを用いることにより、多段階的にエネルギーを変化させて照射した場合と同様な効果を得ることができる。そしてこのような作用は、珪素膜に対するアニール効果以外においても同様にいえることである。

【００３９】

【実施例】

本実施例では、半導体材料として珪素膜を用いる。レーザー光を非晶質状態もしくは結晶性を有する状態の珪素膜または珪素化合物膜に照射することによりこの膜の結晶性を高める過程で、膜表面の均質性が低下する傾向がみられる。その低下を極力抑さえ、かつレーザー照射の処理時間を前記〔従来技術〕に記したレーザーの２段階照射における場合よりも短縮し、かつ同程度以上の効果を得ることができる例を以下に示す。

【００４０】

まず装置について説明する。図１には本実施例で使用するレーザーアニール装置の概念図を示す。このレーザーアニール装置の主要な構成は台１上に配置されている。レーザー光は発振器２で発振される。発振器２で発振されるレーザー光は、ＫｒＦエキシマレーザー（波長２４８ｎｍ、パルス幅２５ｎｓ）である。勿論、他のエキシマレーザーさらには他の方式のパルスレーザーを用いることもできる。

【００４１】

発振器２で発振されたレーザー光は、全反射ミラー５、６を経由して増幅器３で増幅され、さらに全反射ミラー７、８を経由して光学系４に導入される。

【００４２】

光学系４に入射する直前のレーザー光のビームは、３×２ｃｍ^2　程度の長方形であるが、光学系４によって、長さ１０～３０ｃｍ、幅０．１　～１ｃｍ程度の細長いビーム（線状ビーム）に加工される。この線状のレーザービームは、図３に示すようにその幅方向にほぼ正規分布を有したビームプロファイルを有している。この光学系４を経たレーザー光のエネルギーは最大で１０００ｍＪ／ショットである。

【００４３】

レーザー光をこのような細長いビームに加工するのは、加工性を向上させるためである。即ち、線状のビームは光学系４を出た後、全反射ミラー９を経て、試料１１に照射される

。ここで、ビームの幅は試料１１の幅よりも長いので、試料を１方向に移動させることで、試料全体に対してレーザー光を照射することができる。従って、試料のステージ及び駆動装置１０は構造が簡単で保守も用意である。また、試料をセットする際の位置合わせの操作（アラインメント）も容易である。

【００４４】

レーザー光が照射される試料のステージ１０はコンピュータにより制御されており線状のレーザー光に対して直角方向に動くよう設計されている。さらに、基板を置くテーブルがそのテーブル面内で回転する機能をつけておくとレーザービームの走査方向の変更に便利である。又、ステージ１０の下にはヒーターが内臓されており、レーザー光の照射時に試料を所定の温度に保つことができる。

【００４５】

光学系４の内部の光路例を図２に示す。光学系４に入射したレーザー光はシリンドリカル凹レンズＡ、シリンドリカル凸レンズＢ、横方向のフライアイレンズＣ、Ｄを通過し、さらにシリンドリカル凸レンズＥ、Ｆを通過してミラーＧ（図１ではミラー９に相当）を介して、シリンドリカルレンズＨによって集束され、試料に照射される。レンズＨを照射面に対して相対的に上下させることによって、照射面上でのレーザービームの分布の形状を矩形に近いものから正規分布に近いものまで変形させることができる。図２における全反射ミラーＧが図１における全反射ミラー９に相当する。従って、実際には全反射ミラー９と試料１１との間には、レンズＨが配置されている。

【００４６】

以下に本明細書で開示する発明を用いて、レーザー光の照射によって、ガラス基板上に結晶性を有する珪素膜を形成する例を示す。まず、１０ｃｍ角のガラス基板（例えばコーニング７０５９ガラス基板またはコーニング１７３７ガラス基板）を用意する。そしてこのガラス基板上に、ＴＥＯＳを原料としたプラズマＣＶＤ法により、酸化珪素膜を２０００Åの厚さに形成する。この酸化珪素膜は、ガラス基板側から不純物が半導体膜に拡散したりするのを防止する下地膜として機能する。

【００４７】

次にプラズマＣＶＤ法または減圧熱ＣＶＤ法により、非晶質珪素膜（アモルファスシリコン膜）の成膜を行う。ここでは、プラズマＣＶＤ法を用いるが、減圧熱ＣＶＤ法を用いるのでもよい。なお、非晶質珪素膜の厚さは、５００Åとする。またレーザー光の照射によるアニールを施し、結晶性珪素膜を得る場合には、出発としての非晶質珪素膜は、その厚さを１０００Å以下とすることが望ましい。これは、１０００Å以上の膜厚があると、所定のアニール効果が得られないからである。

【００４８】

こうして、ガラス基板上に形成された非晶質珪素膜を得ることができる。次に図１に示す装置を用い、ＫｒＦエキシマレーザー（波長２４８ｎｍ、パルス幅２５ｎｓ）を前記結晶性を有する珪素膜に照射する。このレーザー光の照射によって、結晶性珪素膜を得ることができる。

【００４９】

レーザービームはビーム形状変換レンズを用いて線状の形状に整形し、被照射部分でのビーム面積は１２５ｍｍ×１ｍｍとする。なお、線状レーザーのビームプロファイルが正規分布状である関係上ビームの端が不明瞭となっている。よって、ここではビームプロファイル中、最大エネルギーの５％以上のエネルギーを持つ部分をビームと定義する。

【００５０】

試料は、ステージ１０上に載せられており、ステージを２ｍｍ／ｓ速度で移動させることによって、その全面に照射が行われる。レーザー光の照射条件は、レーザー光のエネルギー密度を３００ｍＪ／ｃｍ^2　とし、パルス数（１秒間当たりのパルス発振数）を３０パルス／ｓとする。なお、ここでいうエネルギー密度とは正規分布に近い形に作られたビームの山の頂上部分の密度を指す。

【００５１】

上述の条件を作用した場合、Ｖ＝２×１０$^{-3}$（ｍ／ｓ）、Ｎ＝３０（１／Ｓ）、Ｌ＝１×１０$^{-3}$（ｍ）となるので、（ＬＮ／Ｖ）＝１５となり、本明細書で開示する条件を満たす。

【００５２】

上述のような条件でレーザー照射を行なうと、試料のある一点（線状の領域）に着目した場合、レーザー照射は１５段階照射になる。この１５段階のパルスの各エネルギー密度は、図４に示す正規分布の各エネルギー密度E_1～E_{15}に相当する。上記の条件で線状のレーザー光が照射されると、エネルギー密度E_1～E_{15}のレーザーパルスが次々と１２５ｍｍ×１ｍｍの線状の領域に照射される。

【００５３】

この線状のレーザー光が走査されながら照射される様子を図３に示す。例えばＡで示される線状に領域に注目すると、まず正規分布の裾の部分に相当する弱いエネルギー密度のパルスから徐々にエネルギー密度の大きいパルスが照射されていくことが分かる。またＢで示される線状に領域に注目すると、正規分布の頂上のエネルギー密度の最大のレーザーパルスが照射された後、徐々にエネルギー密度の小さいパルスが照射されていくことが分かる。

【００５４】

本発明者らの実験によると（ＬＮ／Ｖ）で示される値が、１０～３０の場合に最もよい結晶性珪素膜が得られることが判明している。即ち、線状の所定の領域に１０～３０回の照射が行われるようにすることが、珪素膜の結晶化を行う際には、最適なことが判明している。なお照射されるレーザービームのエネルギー密度は１００～５００ｍＪ／ｃｍ^{2}の範囲、好ましくは３００～４００ｍＪ／ｃｍ^{2}の範囲とすることがよい。

【００５５】

なお、レーザー光の照射の際、基板温度は２００℃に保たれている。これは、レーザー光の照射による基板表面温度の上昇と下降の速度を和らげるために行われる。一般に環境の急激な変化は物質の均一性を損なわれることが知られているが、基板温度を高く保つことでレーザー照射による基板表面の均一性の劣化を極力抑えている。本実施例では基板温度を２００度に設定しているが、実際の実施では１００度から６００度までの間でレーザーアニールに最適な温度を選ぶ。また雰囲気制御は特に行わず、大気中で照射を行うことができる。

【００５６】

〔実施例２〕

本実施例においては、まず加熱により結晶化が成された結晶性珪素膜に対してレーザー光を照射し、その結晶性と均質性をさらに向上させる例を示す。本発明者らの研究によると、珪素の結晶化を助長する金属元素を用いることにより、５５０℃、４時間程度の加熱処理によって、結晶性珪素膜が得られることが判明している。この技術は、特開平６―２３２０５９号公報、特開平６―２４４１０３号公報に記載されている。

【００５７】

上記の技術を利用することによって、大面積のガラス基板であっても歪み等がそれほど問題とならい温度範囲において結晶性珪素膜を得ることができる。そして、この結晶性珪素膜を用いて薄膜トランジスタを作製することで、従来の非晶質珪素膜を用いた薄膜トランジスタに比較して飛躍的に特性の向上したものを得ることができる。具体的には、非晶質珪素膜を用いた薄膜トランジスタでは、その移動度が１（ｃｍ^2／Ｖｓ）以下であるが、上記金属元素の利用による結晶化技術を利用すると、数十（ｃｍ^2／Ｖｓ）以上の移動度を有する薄膜トランジスタを得ることができる。

【００５８】

しかし、上記技術を用いて得られた結晶性珪素膜中には、非晶質成分が多く残存していることが電子顕微鏡写真による観察やラマン分光法による観察から明らかになっている。そしてこの残存した非晶質成分をレーザー光の照射によって結晶化させることによって、得られる薄膜トランジスタの特性をさらに高めることができることが判明している。

【００５９】
以下に本実施例で示す結晶性珪素膜の作製工程を示す。まずガラス基板上に下地膜とした酸化珪素膜を２０００Åの厚さに成膜する。次にプラズマＣＶＤ法で非晶質珪素膜を５００Åの厚さに成膜する。そしてニッケル酢酸塩溶液を非晶質珪素膜の表面にスピンコータを用いて塗布する。このニッケル酢酸塩溶液中のニッケル元素の濃度は、最終的に珪素膜中に残存するニッケル元素の濃度が1×10^{16}～5×10^{19} cm^{-3}となるように調整する。これは、この濃度範囲以上となると、金属シリサイドとしての性質が表れてしまい。また、この濃度範囲以下であると、結晶化を助長する効果が得られないからである。なお、このニッケル元素の濃度は、ＳＩＭＳ（２次イオン分析法）による測定の最大値として定義される。

【００６０】
珪素の結晶化を助長する金属元素としては、ニッケルを用いることがその再現性や効果の点で一番有用である。しかし、他にＦｅ、Ｃｏ、Ｒｕ、Ｒｈ、Ｐｄ、Ｏｓ、Ｉｒ、Ｐｔ、Ｃｕ、Ａｕから選ばれた一種または複数種類の元素を用いることができる。特にＦｅやＣｕやＰｄ、さらにＰｔは、十分実用になる効果を得ることができる。

【００６１】
非晶質珪素膜の表面にニッケル元素を接して保持させた状態としたら、次に窒素雰囲気中において、４５０℃の温度で１時間保持することにより、非晶質珪素膜中の水素を離脱させる。この加熱処理は、非晶質珪素膜中に不対結合手を意図的に形成することにより、後の結晶化に際してのしきい値エネルギーを下げるためである。

【００６２】
次に非晶質珪素膜の表面にニッケル元素が接して保持された状態において、加熱処理を行い、非晶質珪素膜を結晶性珪素膜に変成する。この加熱処理工程は、５５０℃、４時間の条件で行う。この加熱処理は５００℃以上の温度で行うことができるが、ガラス基板の歪点以下の温度とすることが重要である。

【００６３】
こうしてガラス基板上に結晶性珪素膜を得ることができる。そして、実施例１に示したのと同様な方法および条件により、レーザー光を照射する。このレーザー光の照射工程で、さらに結晶性とその均一性が助長された結晶性珪素膜を得ることができる。なお、レーザー光のエネルギー密度は、実施例１の場合に比較した２０％～５０％程高くした方が、より高い効果を得られることが実験により判明している。

【００６４】
本実施例のように、珪素の結晶化を助長する金属元素を用いて加熱により得られた結晶性珪素膜に対して、さらにレーザー光を照射して、その結晶性を向上させる技術は、加熱のみ、あるいはレーザー光の照射のみによって、得られた結晶性珪素膜に比較して、その結晶性の良さや均一性、さらに生産性に優れたものを得るとができる。

【００６５】
なお、ニッケル等の金属元素の導入より、加熱により結晶化された結晶性珪素膜に対して、普通の方法でレーザー光を照射した場合、当該金属元素の偏析や部分的な凝集等の現象が見られてしまう。このような当該金属元素の偏析や部分的な凝集は、トラップセンターとなるので、半導体デバイスに利用する場合、その電気的な特性が大きく低下する要因となる。しかし、本明細書に開示するレーザー光の照射方法を採用した場合、そのような現象が見られない。これは、徐々に弱いレーザーエネルギーを段階的に与えることによって、当該金属元素の偏析や部分的な凝集が行うことを抑制することができるためである。

【００６６】
【発明の効果】
本明細書で開示する発明のレーザー照射技術によって、量産性を向上させ、半導体デバイスとなるべき膜の均一性を高めることができる。本明細書で開示する発明は半導体デバイスのプロセスに利用される全てのレーザー処理プロセスに利用できるが、中でも半導体デバイスとして薄膜トランジスタの作製プロセスに利用する場合、その特性の高さと均一性

を良さを得ることができる。また、所定の領域に照射エネルギー密度の異なるレーザー光を多段階に渡って照射する場合、レーザービームの重なりがずれてしまうことがない状態でレーザー照射を行うことができる。このことは、半導体デバイスを作製する場合には、素子の特性の均一性という点で大きな効果を有する。

【００６７】

さらに所定の領域に照射されるレーザー光のエネルギー密度を複数回の照射において徐々に変化させる工程において、本明細書で開示した構成を利用することで、その作業効率を大きく向上させることができる。即ち、従来のように複数回に分けて異なるエネルギー密度のレーザービームを照射することなく、１回のレーザービームの走査しながらの照射によって、段階的に照射エネルギー密度を変化させてレーザー光を照射した場合と同様の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】レーザー光を照射するための装置の概要を示す。

【図２】レーザー光を線状に加工するための光学系を示す。

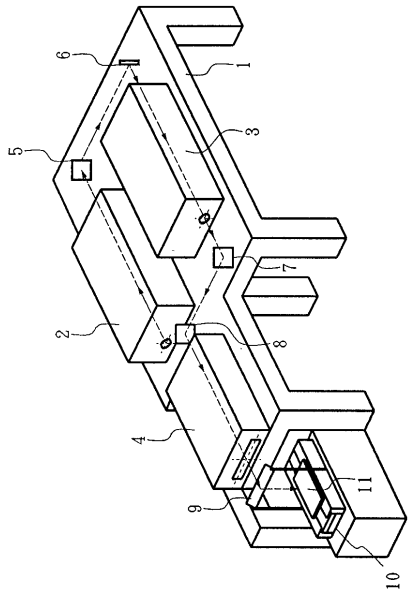
【図３】正規分布を有する線状のレーザー光を走査して照射した場合の状態を示す。

【図４】線状のレーザー光のエネルギー強度のビームプロファイルの概要を示す。

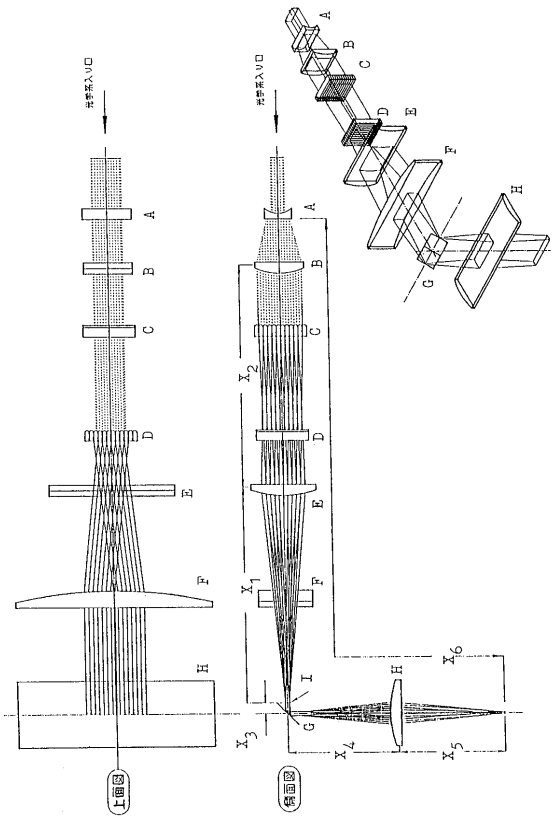
【符号の説明】

１　台
２　レーザー発進器
３　増幅器
４　光学系
５　全反射ミラー
６　全反射ミラー
７　全反射ミラー
８　全反射ミラー
１０　試料ステージの移動機構
１１　試料

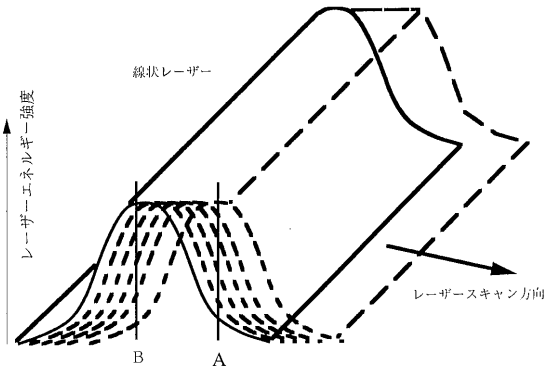
【図１】


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

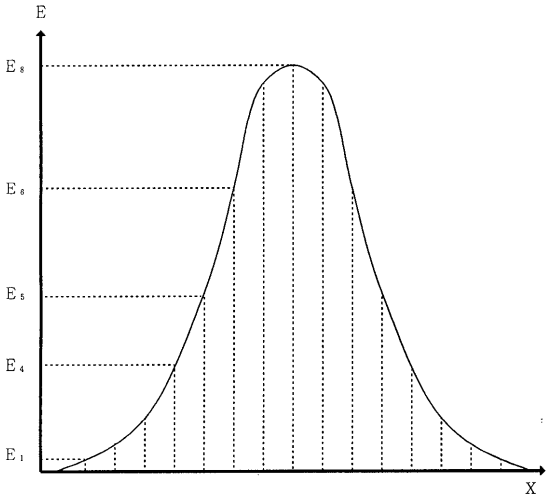
【図２】


光学系入り口
A
B
C
D
E
F
G
H
I
X1
X2
X3
X4
X5
X6
上面図
横面図

【図３】


線状レーザー
レーザーエネルギー強度
レーザースキャン方向
B
A

【図４】


E
E8
E6
E5
E4
E1
X

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭６４－０７６７１５（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－２２４３４６（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３１８７０１（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０５１０７４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01L 21/268
H01L 21/20
H01L 21/336
H01L 27/12
H01L 29/786