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

特許第3886554号

(P3886554)

(45)発行日　平成19年2月28日(2007.2.28)　(24)登録日　平成18年12月1日(2006.12.1)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/268	(2006.01)	H01L	21/268	G
H01L 21/20	(2006.01)	H01L	21/20	
H01L 21/683	(2006.01)	H01L	21/68	P

請求項の数 9　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願平7-233306
(22)出願日　平成7年8月18日(1995.8.18)
(65)公開番号　特開平9-63984
(43)公開日　平成9年3月7日(1997.3.7)
審査請求日　平成14年8月8日(2002.8.8)

(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
(72)発明者　山崎　舜平
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　和瀬田　芳正

最終頁に続く

(54)【発明の名称】レーザーアニール方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

被照射面を有するガラス基板を、平坦面を有するステージ上に設置し、

前記ガラス基板の周辺部をおさえにより加圧しながら真空吸着を行うことで、前記ガラス基板下面を前記ステージに密着させた後、

前記おさえを外し、

前記ガラス基板上の被照射面に対し、線状レーザービームを走査しながら照射することを特徴とするレーザーアニール方法。

【請求項２】

被照射面を有するガラス基板を、平坦面を有するステージ上に設置し、

前記ガラス基板の周辺部をおさえにより加圧しながら真空吸着を行うことで、前記ガラス基板下面を前記ステージに密着させ、そりを矯正した後、

前記おさえを外し、

前記ガラス基板上の被照射面に対し、線状レーザービームを走査しながら照射することを特徴とするレーザーアニール方法。

【請求項３】

ガラス基板上に形成された非晶質シリコン膜を加熱し、結晶性シリコン膜を形成し、

前記ガラス基板を、平坦面を有するステージ上に設置し、

前記ガラス基板の周辺部をおさえにより加圧しながら真空吸着を行うことで、前記ガラス基板下面を前記ステージに密着させた後、

前記おさえを外し、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射することを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項４】
ガラス基板上に形成された非晶質シリコン膜を加熱し、結晶性シリコン膜を形成し、
前記ガラス基板を、平坦面を有するステージ上に設置し、
前記ガラス基板の周辺部をおさえにより加圧しながら真空吸着を行うことで、前記ガラス基板下面を前記ステージに密着させ、そりを矯正した後、
前記おさえを外し、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射することを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項５】
請求項３または４において、前記結晶性シリコン膜は、少なくとも一部に不純物が添加されたものであることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項６】
請求項１乃至５のいずれか一において、前記ステージの材質は、石英、金属、セラミックスであることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項７】
請求項１乃至６のいずれか一において、前記おさえの材質は、セラミックス、金属、石英であることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項８】
請求項１乃至７のいずれか一において、前記線状レーザービームは、パルスレーザーを光源とするものであることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項９】
請求項８において、パルスレーザーは、エキシマレーザーであることを特徴とするレーザーアニール方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明はガラス基板上の結晶性シリコン膜に対するレーザーアニール方法および装置に関する。
本発明は、ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン膜を熱結晶化して得られる結晶性シリコン膜に対する、レーザーアニール方法および装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
最近、絶縁基板上に、薄膜状の活性層（活性領域ともいう）を有する絶縁ゲイト型の半導体装置の研究がなされている。特に、薄膜状の絶縁ゲイト型トランジスタ、いわゆる薄膜トランジスタ（ＴＦＴ）が熱心に研究されている。これらは、利用する半導体の材料・結晶状態によって、アモルファスシリコン（非晶質珪素）ＴＦＴや結晶性シリコン（結晶性珪素）ＴＦＴと言うように区別されている。結晶性シリコンとは言っても、単結晶ではない非単結晶のものである。したがって、これらは非単結晶シリコンＴＦＴと総称される。
【０００３】
一般にアモルファス状態の半導体の電界移動度は小さく、したがって、高速動作が要求されるＴＦＴには利用できない。また、アモルファスシリコンでは、Ｐ型の電界移動度は著しく小さいので、Ｐチャネル型のＴＦＴ（ＰＭＯＳのＴＦＴ）を作製することが出来ず、したがって、Ｎチャネル型ＴＦＴ（ＮＭＯＳのＴＦＴ）と組み合わせて、相補型のＭＯＳ回路（ＣＭＯＳ）を形成することができない。
一方、結晶性半導体は、アモルファス半導体よりも電界移動度が大きく、したがって、高速動作が可能である。結晶性シリコンでは、ＮＭＯＳのＴＦＴだけでなく、ＰＭＯＳのＴＦＴも同様に得られるのでＣＭＯＳ回路を形成することが可能である。

【０００４】
非単結晶の結晶性シリコン膜は、気相成長法によって得られたアモルファスシリコン膜を長時間適切な温度（通常は６００℃以上）で熱アニールするか、レーザー等の強光を照射すること（光アニール）によって得られた。しかしながら、絶縁基板として安価で加工性に富むガラス基板を用いる場合、熱アニールのみで電界移動度の十分に高い（ＣＭＯＳ回路を形成することが可能な程度に高い）結晶性シリコン膜を得ることは困難を極めた。というのは、前述のようなガラス基板は一般に歪み点温度が低く（６００℃程度）、移動度が十分に高い結晶性シリコン膜を得るために必要な温度まで、基板温度を高めることができないからである。
【０００５】
一方、ガラス基板をベースにしたシリコン膜の結晶化に光アニールを用いる場合、基板の温度をあまり高めることなく、シリコン膜にのみ高いエネルギーを与えることが可能である。よって、ガラス基板をベースにしたシリコン膜の結晶化には、光アニールの技術が非常に有効であると考えられる。
今のところ、光アニールの光源としては、エキシマレーザーのごとき大出力パルスレーザーが最適視されている。このレーザーの最大エネルギーはアルゴンイオン・レーザー等の連続発振レーザーに比べ非常に大きく、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た。
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った。
【０００６】
これに関しては、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、このビームを基板に対して相対的に走査することによって、大きく改善できた（ここでいう走査とは、線状レーザーをすこしずつずらして重ねながら照射することを言う）。詳細は特開平５－１１２３５５号公報に記されている。
【０００７】
光アニールの前に、熱アニールを行うことでさらに結晶性の高いシリコン膜を作成できる。熱アニールによる方法に関しては、特開平６－２４４１０４号公報に記述されるように、ニッケル、鉄、コバルト、白金、パラジュウム等の元素（以下、結晶化触媒元素、または、単に、触媒元素という）がアモルファスシリコンの結晶化を促進する効果を利用することにより、通常の場合よりも低温・短時間の熱アニールにより結晶性シリコン膜を得ることができる。
【０００８】
【発明が解決しようとする課題】
熱アニールの後、光アニールを行って形成された結晶性シリコン膜を用いて、マトリクス状に並んだＴＦＴを形成し、それらのしきい値電圧の基板面内における分布を調べた。
図２に、従来の方法によって形成された結晶性シリコン膜を用いたＴＦＴのしきい値の基板面内における分布を示す。
この分布は、図２に示されたようなＵ字状の分布となる。
図４に、ガラス基板上のＴＦＴの配置を示す。
図２のデータは、図４に示すように、１００ｍｍ□のコーニング７０５９基板上の、４０×５０ｍｍの領域に、ＴＦＴを、４００×３００個マトリクス状に配置し、基板の中央部分における、端から端までの横一列・４００個のＴＦＴ（図４中点線で囲んだ部分）の各々の場所と対応して横軸としている。
例えば、液晶ディスプレイの画素部分を構成する画素マトリクスが図２のようなしきい値電圧の分布を持っていると、表示状態が不均一となり、画像不良の原因となる。
【０００９】
しきい値電圧が、基板面内においてこのようなＵ字分布を示す原因を本出願人が追究した結果、該Ｕ字分布の傾向が、レーザー照射直前の基板のそりと酷似していることをつきと

めた。
また、この基板のそりは、アモルファスシリコン膜成膜直後のガラス基板には見られず、その後の熱処理工程（これにより膜が固相成長を起こし、結晶化する）で、該熱処理終了後、基板を冷却する際に、シリコン膜がガラス基板よりも大きく収縮をおこすために生じるそりであることが明らかとなった。
このそりは、基板成膜面からみて、凹に生じる。
【００１０】
図３に、そりが生じたガラス基板上のシリコン膜に対してレーザーアニールを行う様子を示す。
図３にみられるように、このようなそりのある状態でレーザーアニールを行うと、レーザーの焦点が基板の場所々々で異なるずれ方をする。
このずれが、シリコン膜の結晶性の度合いを基板面内において異ならしめ、その結果、しきい値電圧が基板面内において特定の分布を示す原因となっていると考えられる。
なお、１００ｍｍ角である該基板のレーザー照射直前のそりは基板中央部分と端の部分とで５０μｍ程度の差であった。このそりの程度は上記熱処理工程の温度、処理に要した時間、あるいは基板の材質等に依存するが、だいたい２０～２００μｍの範囲に収まった。基板の大きさが５００ｍｍ角程度になると、そのそりは１～２ｍｍ程度となることもある。
【００１１】
本発明は、そりを有するガラス基板上の被照射面に対して均一なレーザー照射を行うことを目的とする。
【００１２】
本発明は、ガラス基板上に形成される複数の結晶性シリコンＴＦＴにおいて、基板面内において均一なしきい値を有せしめることを目的とする。
【００１３】
本発明は、線状レーザービームを用いたレーザーアニールを、ガラス基板上のアモルファスシリコン膜を熱結晶化して形成された結晶性シリコン膜に対して行うに際し、該結晶性シリコン膜に、基板面内において均一な結晶性を有せしめ、また、該膜を用いて基板面内において均一なしきい値電圧を有する複数の結晶性シリコンＴＦＴを作製する方法および装置を提供することを目的とする。
【００１４】
【課題を解決するための手段】
上記課題を解決するために、本発明の構成の一つは、
ガラス基板をステージ上で平坦化して載置する工程と、
前記ガラス基板上の被照射面に対し、線状レーザービームを走査しながら照射してレーザーアニールを行う工程と、
を有することを特徴とするレーザーアニール方法である。
【００１５】
本発明の他の構成の一つは、
ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン膜を、加熱結晶化させて結晶性シリコン膜とする工程と、
前記ガラス基板をステージ上で平坦化して載置する工程と、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射してレーザーアニールを行う工程と、
を有することを特徴とするレーザーアニール方法である。
【００１６】
本発明の他の構成の一つは、
ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン膜を、加熱結晶化させて結晶性シリコン膜とする工程と、
前記ガラス基板下面を、平坦面を構成するステージの前記平坦面上に、密着させて、前記

ガラス基板を載置する工程と、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射してレーザーアニールを行う工程と、
を有することを特徴とするレーザーアニール方法である。
【００１７】
本発明の他の構成の一つは、
ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン膜を、加熱結晶化させて結晶性シリコン膜とする工程と、
前記ガラス基板下面を、平坦面を構成するステージの前記平坦面上に、真空吸着により密着させて、前記ガラス基板を載置する工程と、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射してレーザーアニールを行う工程と、
を有することを特徴とするレーザーアニール方法である。
【００１８】
本発明の他の構成の一つは、
ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン膜を、加熱結晶化させて結晶性シリコン膜とする工程と、
前記ガラス基板上面の周辺部を押圧して、前記ガラス基板下面を、平坦面を構成するステージの前記平坦面上に密着させて、前記ガラス基板を載置する工程と、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射してレーザーアニールを行う工程と、
を有することを特徴とするレーザーアニール方法である。
【００１９】
本発明の他の構成の一つは、
ガラス基板を平坦化して載置する手段を有するステージと、
前記ガラス基板の被照射面に対し、線状レーザービームを走査しながら照射する手段と、
を有することを特徴とするレーザーアニール装置である。
【００２０】
本発明の他の構成の一つは、
ガラス基板を載置する平坦面、および前記ガラス基板の下面を、前記平坦面に密着させる手段とを有するステージと、
前記ガラス基板の被照射面に対し、線状レーザービームを走査しながら照射する手段と、
を有することを特徴とするレーザーアニール装置である。
【００２１】
本発明の他の構成の一つは、
加熱により結晶化された結晶性シリコン膜を有するガラス基板を、平坦化して載置する手段を有するステージと、
前記ガラス基板上の結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射する手段と、
を有することを特徴とするレーザーアニール装置である。
【００２２】
本発明の他の構成の一つは、
加熱により結晶化された結晶性シリコン膜を有するガラス基板を載置する平坦面、および前記ガラス基板の下面を、前記平坦面に密着させる手段とを有するステージと、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射する手段と、
を有することを特徴とするレーザーアニール装置である。
【００２３】
本発明の他の構成の一つは、
加熱により結晶化された結晶性シリコン膜を有するガラス基板を載置する平坦面、および前記ガラス基板の下面を、前記平坦面に真空吸着させる手段とを有するステージと、

前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射する手段と、
を有することを特徴とするレーザーアニール装置である。
【００２４】
本発明の他の構成の一つは、
加熱により結晶化された結晶性シリコン膜を有するガラス基板を載置する平坦面、および前記ガラス基板上面の周辺部を押圧する手段とを有するステージと、
前記結晶性シリコン膜に対し、線状レーザービームを走査しながら照射する手段と、
を有することを特徴とするレーザーアニール装置である。
【００２５】
また、本発明は、上記構成において、前記結晶性シリコン膜は、少なくとも一部に、イオンドーピング等により、不純物が添加されたものであってもよい。
【００２６】
また、本発明は、上記構成において、線状レーザービームの光源として、パルスレーザー、好ましくはエキシマレーザーを用いるものである。
【００２７】
本発明は、ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン膜を熱結晶化して得られる、結晶性シリコン膜、あるいは該結晶性シリコン膜を、パターニング、加工、整形したもの、あるいは、これらに不純物が添加されたものに対して、線状レーザービームを走査してレーザーアニールを施すに際し、熱結晶化工程により生じたガラス基板のそりを、ガラス基板を載置するステージ上にて、強制的に平坦化した状態でレーザーアニールを行うものである。
【００２８】
本発明において、ガラス基板を平坦化するとは、ガラス基板をステージ上に設置した状態において、なんらかの外的な力をガラス基板に加えて、ガラス基板の有するそりが小さくなるように、矯正することである。
ガラス基板の平坦化は、ガラス基板上の結晶性シリコン膜に対して、線状レーザービームを用いて均質にアニールできる程度になされる。
すなわち、レーザーアニール後において、結晶性シリコン膜が有する結晶性が、要求されるレベルに均質化される範囲内となるように、ガラス基板上の結晶性シリコン膜が有する面内高低差が、減少されればよい。
【００２９】
ガラス基板のそりを平坦に矯正するために、平坦面を有するステージの、該平坦面に、ガラス基板を吸着させる、ガラス基板上の周辺部を押圧（加圧）する等を行う。また、このような平坦化、矯正の手段を、レーザーアニール装置のステージに付加する。
【００３０】
このように、ガラス基板が平坦に載置されることで、ガラス基板自体がそりを有しているにもかかわらず、線状レーザービームは、被照射面である結晶性シリコン膜に対し、焦点がずれることなく均一に照射される。
その結果、基板面内において均一、均質な結晶性、移動度を有する結晶性シリコン膜を得ることができる。
【００３１】
本発明により、熱結晶化後の、そりが生じたガラス基板上の結晶性シリコン膜に対し、ガラス基板のそりが無視できる程度に矯正して、線状レーザービームを照射することができる。
したがって、被照射面において線状レーザービームの焦点がずれることを防ぎ、結果として線状レーザービームを走査してレーザーアニールを施しても、均一な結晶化を行わしめ、該膜を用いて形成されたＴＦＴのしきい値電圧を、基板面内において均一化できる。
ガラス基板が大きくなるほど、そりの程度も激しくなるため、本発明の効果は、ガラス基板が大きくなるほど顕著となる。
以下に実施例を示す。

【００３２】
【実施例】
〔実施例１〕
【００３３】
図９に実施例の作製工程を示す。
図９を用いて本実施例を説明する。まず、ガラス基板（本実施例では１００ｍｍ角のコーニング７０５９を用いる。他のガラス、例えば、コーニング１７３７、ＯＡ２、ＮＡ４５等を用いてもよい。）１０１上に厚さ２０００Åの下地酸化珪素膜１０２と、そのさらに上に厚さ５００Åのアモルファスシリコン膜１０３をプラズマＣＶＤ法により連続的に成膜した。
そして、１０ｐｐｍの酢酸ニッケル水溶液をシリコン表面に塗布し、スピンコート法により酢酸ニッケル層を形成した。酢酸ニッケル水溶液には界面活性剤を添加するとよりよかった。酢酸ニッケル層は極めて薄いので、膜状となっているとは限らないが、以後の工程に於ける問題はない。（図９（Ａ））
【００３４】
そして、５５０℃で４時間熱アニールすることにより、シリコン膜を結晶化させる。このとき、ニッケルが結晶の核の役割を果たし、シリコン膜の結晶化を促進させる。
５５０℃、４時間という低温（コーニング７０５９の歪み点温度以下）、短時間で処理できるのはニッケルの機能による。詳細については特開平６－２４４１０４号公報に記されている。
触媒元素の濃度は、1×10^{15}～1×10^{19}原子／cm^3 であると好ましかった。1×10^{19}原子／cm^3 以上の高濃度ではシリコンに金属的性質が表れて、半導体特性が消滅してしまった。
本実施例記載のシリコン膜中の触媒元素の濃度は、膜中における最小値で1×10^{17}～5×10^{18}原子／cm^3 であった。なお、これらの値は、２次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ）により分析、測定したシリコン膜中の触媒元素の濃度の最小値である。
このようにして、結晶性シリコン膜が得られる。
【００３５】
このとき、ガラス基板は、結晶性シリコン膜が設けられている面側にそり、凹型になっている。ここでは、基板の中心部と周辺部とにおいて、約５０μｍ程度の高低差を有している。そりの程度は、ガラス基板の大きさや厚さ、種類により異なる。
【００３６】
このようにして得られた結晶性シリコン膜の結晶性をさらに高めるために、大出力パルスレーザーであるエキシマレーザーを該膜に照射する。
以下に本実施例で用いるレーザーアニール装置について説明する。
図６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。
図６のレーザーアニール装置は、マルチチャンバー方式であり、ローダー／アンローダー室から搬入され、アライメント室にて位置決めされた基板を、トランスファー室を介して、該トランスファー室に設けられた基板搬送用ロボットにより、各室に運び、基板毎に連続して処理されるものである。
基板は、初めに熱処理室に搬入され、予備加熱等の熱処理の後、レーザーアニール室にてレーザーアニールが施され、その後徐冷室に運ばれて徐冷ののち、ローダー／アンローダー室へと移動して、外に出される。
【００３７】
このレーザーアニール装置は周囲に対する密閉性を有しており、不純物による汚染を防いでいる。また、レーザー照射時の雰囲気制御機能を有している。また、基板を加熱する機能も有しており、レーザー照射時の被照射物を所望の温度に保つことができる。
また、ここでは、大気圧でレーザー照射が行われる。もちろん、真空、他の圧力で行うことも可能である。
【００３８】

発振器として、ここではラムダフィジック社製３０００－３０８を用いた。発振されるレーザー光は、ＸｅＣｌエキシマレーザー（波長３０８ｎｍ、パルス幅２６ｎｓ）である。勿論、他のエキシマレーザーさらには他の方式のレーザーを用いることもできる。ただし、パルス発振のレーザー光を用いる必要がある。

【００３９】

発振されたレーザー光は、そのビーム形状の変形のために、図７に示すような光学系に導入される。図７に光学系の例を示す。

光学系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、該光学系によって、長さ１０～３０cm、幅0.01～0.3 cm程度の細長いビーム（線状ビーム）に加工される。

本光学系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。

【００４０】

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、線状のビームが試料に照射されるとき、もし、ビームの長さが試料の幅よりも長ければ、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。

一方、ビームの長さが試料の幅よりも短い場合でも、長方形のビームと比較すると加工の手間がかからない。しかし、この場合、ビームを、試料に対して相対的に、上下左右に動かす必要性が生じる。

【００４１】

レーザー光が照射される基板（試料）のステージ（台）はコンピュータにより制御されており線状レーザービームの線方向に対して直角方向（図７、ｈ方向）に動くよう設計されている。

さらに、該ビームの線方向に対して動く機能をステージにつけておくと、ビーム長が試料に対して短い場合でも、試料全体に対するレーザー加工が可能となる。

【００４２】

レーザービームを線状レーザーに加工する光学系の内部の光路（図７）の説明をする。

レーザー光源ａから発振され、光学系に入射したレーザー光は、まず、フライアイレンズｂ、ｃを通過する。

さらに、第１のシリンドリカルレンズとして、シリンドリカル凸レンズｄ、線状化させるビームの線方向の均質性を良くするために設けられる第２のシリンドリカルレンズとして、シリンドリカル凸レンズｅを通過し、ミラーｆを介して、シリンドリカルレンズｇによって集束され、試料に照射される。

光路長は、レーザー光源からミラーｇまでの距離が、２０００ｍｍ、ミラーｆから被照射面までの距離は、４４０ｍｍを有する。

シリンドリカルレンズｇには、焦点距離が１００ｍｍの物を用いる。

光学系は、本発明に必要なビームに変形できればどの様なものでも良い。

【００４３】

なお光学系として、図７のようなものに限らず、図８に示すような、レンズＢ、Ｃ（ビームエキスパンダ）を具備するものを用いてもよい。

【００４４】

レーザービームは線状に整形され、被照射部分でのビーム面積は１５０ｍｍ×０．４ｍｍとする（ビームの線幅はエネルギーの最大値に対する半値幅）。

またレーザービームの線幅方向のエネルギー分布は、一般的に使用される矩形を用いる。

レーザービームの線幅方向のエネルギー分布の形を、周辺部（線幅の周辺部）においてシャープにするには、レーザー光路の途中にスリットをいれるとよい。

例えば、図７においては、シリンドリカルレンズｅの後が好ましく、例えば、シリンドリカルレンズｅと、ミラーｆとの間、あるいは、シリンドリカルレンズｇと被照射面の間等に、スリットは設置される。

【００４５】

熱結晶化工程により、そりを生じたガラス基板は、レーザーアニール装置のステージ（台）に、強制的に平坦化されて固定される。
ガラス基板のそりを修正するために、線状レーザービーム照射時においてガラス基板を載置する、平坦面を構成するステージに、ガラス基板を平坦化して載置する手段を設ける。
【００４６】
図１０に、ステージの構成の例を示す。
ガラス基板をステージに平坦化して載置、固定させるための手段の例として、例えば、図１０（ａ）は、ステージ２０１の上面に複数の吸引口２０２が設けられている。吸引口２０２は穴であるが、吸引口２０２の無い箇所は、平坦面を構成している。
図１０（ｂ）は、ステージ２１１の上面に、溝２１２が設けられている。この溝２１２は、ステージ中心部の吸引口２１３に通じており、溝２１２の無い箇所において、平坦面を構成している。
図１０（ｃ）は、ステージ２２１上面に、複数の突起２２２が設けられ、これら突起２２２の上面、およびステージの周辺部が、平坦面を構成している。また、吸引口２２３から真空引きされる。
図１０（ａ）～（ｃ）に示したものは、いずれも、吸引口から真空引きされ、ガラス基板が平坦面上に真空吸着される。こうして、ガラス基板はその下面がステージの平坦面に密着する。そして、このままの状態でレーザーアニールを行う。
【００４７】
ステージの上面の平坦面は、吸着に関与する部分を除いて平坦であるため、このような平坦な上面に密着したガラス基板は、ステージの平坦面に従い、平坦化される。
この、真空吸着する方法は、ガラス基板の設置、取外しが、極めて容易かつ短時間で済む。また、ガラス基板表面上の、レーザービームの照射を妨げる障害物等は皆無であるため、ガラス基板表面の全面に対し、むらなくレーザー照射を行うことができる。
【００４８】
ステージの平坦面における平坦性は、平坦であるほど好ましいが、平坦面上に載置されるガラス基板上の結晶性シリコン膜に対して、線状レーザービームを用いて、要求されるレベルの均質性を有するようにアニールできればよい。
例えば、ガラス基板上の被照射面の面内高低差が、少なくともレーザービームの焦点深度以下となるような平坦面とする。
【００４９】
ガラス基板をステージに密着させる方法は、上述のような吸着による方法に限らず、ガラス基板を平坦化し、かつレーザーアニールを行うことができるならばどんな方法を用いても構わない。
他に、例えば、図１０（ｄ）に示すように、ガラス基板１０１上面の周辺部、あるいは端部を、おさえ２３２によってステージ２３１の平坦面に機械的に押さえつけて押圧（加圧）し、その状態でレーザーアニールを行ってもよい。
この場合、真空吸着よりも強い力でガラス基板を平坦化させることが可能であるため、真空吸着では十分に平坦化できない程強く反った基板に対しても、容易に平坦化することができる。
もちろん、図１０（ｄ）に示すような方法と、前述の吸着による方法とを併用しても構わない。
また、ステージの材質は、石英、金属、セラミックス等が、耐熱性が高く、かつ平坦度を高く保てるため、好ましい。
【００５０】
ここでは、図１０（ａ）に示す構成を有するステージを用いる。
図１０（ａ）に示す吸引口２０２は、ここでは、直径約１ｍｍ程度を有し、１０ｍｍ間隔で設けられている。
当該ガラス基板１０１を、結晶性シリコン膜１０３が形成されている面を上にして、ステージ２０１の平坦面上に置き、吸引口２０２から真空引きし、ガラス基板をステージ上に

密着させる。
ステージ２０１の平坦面に従い、ガラス基板も、ステージ平坦面の面内高低差と同程度に平坦化される。
【００５１】
図１０（ａ）の構成に加え、ガラス基板を単にステージ上に置くだけではなく、置いた後、基板上面、特に周辺部上面に押圧を加えた状態で真空引きし、ステージに密着させてもよい。例えば、図１０（ｄ）に示す、おさえ２３２を設けて、これによりガラス基板１０１周辺部上面を押圧させ、真空引きし、ガラス基板を密着させた後、おさえを外し、その後レーザーアニールを行ってもよい。
【００５２】
図１に、レーザー照射の工程を示す。
ガラス基板１０１上に形成されたアモルファスシリコン膜を熱結晶化して結晶性シリコン膜１０３を得て、徐冷の後に、当該ガラス基板１０１にはそりが生じる。図１（ａ）に示すように、当該ガラス基板１０１はステージ２０１上に載置される。
図１（ｂ）に示すように、そりを有するガラス基板１０１は、ステージ２０１１に設けられたガラス基板を平坦化して載置する手段、ここでは吸引口２０２により、そりが強制的に矯正されて、平坦化して載置される。載置されたガラス基板は、面内高低差が約５μｍ程度に平坦化される。
【００５３】
そして、図１（ｃ）に示すように、この平坦化されているガラス基板上の結晶性シリコン膜１０３に対し、線状レーザービーム走査しながら照射する。
このように、ガラス基板が平坦に載置されることで、ガラス基板自体がそり有しているにもかかわらず、線状レーザービームは、被照射面である結晶性シリコン膜に対し、焦点がずれることなく均一に照射される。
【００５４】
レーザーのエネルギー密度は１００ｍＪ／ｃｍ^2 ～５００ｍＪ／ｃｍ^2 の範囲で、例えば３７０ｍＪ／ｃｍ^2 で、照射を行なう。この照射の前に、２２０ｍＪ／ｃｍ^2 程度のエネルギーで照射をしておく２段階照射とすると、さらに結晶性が上がる。
レーザー照射は、線状レーザービームを被照射物すなわち結晶性シリコン膜に対し相対的にずらしながら照射を行う。線状レーザーをずらしていく方向は線状レーザーと概略直角（図７、ｈ方向）とする。このとき、被照射物の１点に注目すると、２～４０ショット、例えば３２ショットのレーザー光が照射されるようにする。また、レーザー照射時の基板温度は２００℃とする。（図９（Ｂ））
【００５５】
このようにして、結晶性シリコン膜が作製される。作製された結晶性シリコン膜は、基板面内における移動度のばらつきが、±１０％以内となり、十分に均質な結晶性シリコン膜となる。
一方、本実施例で示した平坦化工程を経ずにレーザーアニールした結晶性シリコン膜は、基板面内における移動度のばらつきが、±１５～４０％程度と、十分な均質性が得られない。
【００５６】
このようにして作製した結晶性シリコン膜を基に半導体装置を作成した。該半導体装置は上記結晶性シリコン膜にマトリクス状に配置する。具体的には作製面積４０×５０ｍｍ^2 中に４００×３００個の薄膜トランジスタを作製する。
まず、シリコン膜をエッチングして、島状シリコン領域１０５を形成した。次に、プラズマＣＶＤ法によって厚さ１２００Åの酸化珪素膜１０６をゲイト絶縁膜として堆積した。プラズマＣＶＤの原料ガスとしては、ＴＥＯＳと酸素を用いた。成膜時の基板温度は２５０～３８０℃、例えば、３００℃とした。
【００５７】
引き続いて、スパッタ法によって、厚さ３０００～８０００Å、例えば６０００Åのアル

ミニウム膜（０．１～２％のシリコンを含む）を堆積した。そして、アルミニウム膜をエッチングして、ゲイト電極１０７を形成した。（図９（Ｃ））

【００５８】

次に、イオンドーピング法によって、シリコン領域にゲイト電極をマスクとして不純物（ボロン）を注入した。ドーピングガスとして、水素で１～１０％に希釈されたジボラン（B_2H_6）、例えば５％のものを用いた。加速電圧は６０～９０ｋＶ、例えば６５ｋＶ、ドーズ量は2×10^{15}～5×10^{15}原子／ｃｍ^2、例えば、3×10^{15}原子／ｃｍ^{2}とした。イオンドーピング時の基板温度は室温とした。この結果、Ｐ型の不純物領域１０８（ソース）、１０９（ドレイン）が形成された。（図９（Ｄ））

【００５９】

そして、ドーピングされたボロンを活性化するために、同じレーザーアニール装置を用いて、再びレーザーアニールを行なった。このとき、同様にガラス基板をステージに密着させ、平坦化する。レーザーのエネルギー密度は１００～３５０ｍＪ／ｃｍ^2、例えば、２５０ｍＪ／ｃｍ^{2}とした。この照射の前に、１７０ｍＪ／ｃｍ^{2}程度のエネルギーで照射をしておくとさらに結晶性が上がった。

レーザー照射の方法は以下のようにする。すなわち、線状レーザービームを被照射物に対し相対的にずらしながら照射を行う。線状レーザーをずらしていく方向は線状レーザーと概略直角とした。

このとき、被照射物の１点に注目すると、２～２０ショットのレーザー光が照射されるようにした。また、レーザー照射時の基板温度は２００℃とした。その後、窒素雰囲気中で２時間、３５０℃の熱アニールを行った。（図９（Ｅ））

【００６０】

続いて、厚さ６０００Åの酸化珪素膜１１０を層間絶縁物としてプラズマＣＶＤ法によって形成し、これにコンタクトホールを開孔した。そして、金属材料、例えば、チタンとアルミニウムの多層膜によってＴＦＴのソース、ドレインの電極・配線１１１、１１２を形成した。最後に、１気圧の水素雰囲気で２００～３５０℃の熱アニールを行なった。（図９（Ｆ））

【００６２】

〔実施例２〕

実施例２では、レーザーアニール装置が、実施例１とは異なる光学系の配列およびステージの構成を用いた例を示す。

実施例１と同様、図９に従い、ガラス基板（本実施例では３００×３００ｍｍ角、厚さ０．７ｍｍのコーニング１７３７を用いる。無論、その他のガラス基板を用いても良い。例えば、コーニング７０５９、0A2 、NA45等。）１０１上に厚さ２０００Åの下地酸化珪素膜１０２と、そのさらに上に厚さ５００Åのアモルファスシリコン膜１０３を　プラズマＣＶＤ法により連続的に成膜する。

そして、１０ｐｐｍの酢酸ニッケル水溶液をシリコン表面に塗布し、スピンコート法により酢酸ニッケル層を形成する。酢酸ニッケル水溶液には界面活性剤を添加するとよりよかった。酢酸ニッケル層は極めて薄いので、膜状となっているとは限らないが、以後の工程に於ける問題はない。（図９（Ａ））

【００６３】

そして、当該ガラス基板を５５０℃で４時間熱アニールすることにより、シリコン膜を結晶化させる。このとき、ニッケルが結晶の核の役割を果たし、シリコン膜の結晶化を促進させる。なお、コーニング１７３７基板の歪み点温度は６６７℃であり、上記５５０℃のアニール温度は歪み点温度以下である。

上記熱結晶化後、該ガラス基板を徐冷すると、シリコン膜が収縮し、基板には凹型のそりが生じる。

【００６４】

５５０℃、４時間という低温（コーニング１７３７の歪み点温度以下）、短時間で処理できるのはニッケルの機能による。詳細については特開平６－２４４１０４号公報に記され

ている。該公報では、熱アニールの際の温度がガラス基板の歪み点温度を越えないよう、例えば５５０℃（歪み点温度以下）、４時間の熱アニールを行うよう明記してあるが、この温度は熱結晶化の際に、ガラス基板の著しい変形をさけるために定めたものである。

【００６５】

触媒元素の濃度は、1×10^{15}～10^{19}原子／cm^3 であると好ましかった。

1×10^{19}原子／cm^3 以上の高濃度ではシリコンに金属的性質が表れて、半導体特性が消滅してしまった。本実施例記載のシリコン膜中の触媒元素の濃度は、膜中における最小値で1×10^{19}～5×10^{18}原子／cm^3 であった。なお、これらの値は、２次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ）により分析、測定したシリコン膜中の触媒元素の濃度の最小値である。

このようにして、結晶性シリコン膜が得られる。

【００６６】

このとき、ガラス基板は、結晶性シリコン膜が設けられている面側にそり、凹型になっている。

ここでは、ガラス基板の中心部と周辺部とにおいて、約２００μｍ程度の高低差を有している。そりの程度は、ガラス基板の大きさや厚さ、種類により異なる。

【００６７】

このようにして得られた結晶性シリコン膜の結晶性をさらに高めるために、大出力パルスレーザーであるエキシマレーザーを該膜に照射する。

レーザーアニール装置は、実施例１と同様に、図６に示す構成を有する。

【００６８】

発振器としてＬＵＭＮＩＣＳ社製ＥＸ７４８を用いた。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レーザーを用いることもできる。ただし、パルス発振のレーザー光を用いる必要がある。

【００６９】

発振されたレーザー光は、そのビーム形状の変形のために、図８に示すような光学系に導入される。図８に光学系の例を示す。

光学系に入射する直前のレーザー光のビームは、$3\times2\,cm^2$ 程度の長方形であるが、該光学系によって、長さ１０～３０㎝、幅0.01～0.3 ㎝程度の細長いビーム（線状ビーム）に加工される。

本光学系を経たレーザー光のエネルギーは、最大で８００ｍＪ／ショットである。

【００７０】

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、線状のビームが試料に照射されるとき、もし、ビームの長さが試料の幅よりも長ければ、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。

一方、ビームの長さが試料の幅よりも短い場合でも、長方形のビームと比較すると加工の手間がかからない。しかし、この場合、ビームを、試料に対して相対的に、前後左右に動かす必要性が生じる。

【００７１】

レーザー光が照射される基板（試料）のステージ（台）はコンピュータにより制御されており線状レーザービームの線方向に対して直角（図８、Ｉ方向）に動くように設計されている。

さらに、該ビームの線方向に対して動く機能をステージにつけておくと、ビームの長さが試料に対して短い場合でも、試料全体に対するレーザー加工が可能となる。

【００７２】

レーザービームを線状レーザーに加工する光学系の内部の光路（図８）の説明をする。

該光学系に入射したレーザー光は、シリンドリカル凹レンズＢ、シリンドリカル凸レンズＣ（レンズＢ、Ｃを総称してビームエキスパンダと呼ぶ）、フライアイレンズＤ、Ｄ２を

通過する。
さらに、第１のシリンドリカルレンズとして、シリンドリカル凸レンズＥ、線状化させるビームの線方向の均質性を良くするために設けられる第２のシリンドリカルレンズとして、シリンドリカル凸レンズＦを通過し、ミラーＧを介して、シリンドリカルレンズＨによって集束され、被照射面に照射される。
レーザー光源とシリンドリカルレンズＢ間が２３０ｍｍ、フライアイレンズＤ、Ｄ２間が２３０ｍｍ、フライアイレンズＤとシリンドリカルレンズＥとの間が６５０ｍｍ、シリンドリカルレンズＦと被照射面との間が６５０ｍｍ（それぞれ各レンズの焦点距離の和）とした。もちろん、これらは、状況に応じて変化させうる。
シリンドリカルレンズＨには、焦点距離が１２０ｍｍの物を用いる。

【００７３】
レーザービームの線幅方向のエネルギー分布の形を、周辺部（線幅の周辺部）においてシャープにするには、レーザー光路の途中にスリットをいれるとよい。
例えば、図８においては、シリンドリカルレンズＥの後が好ましく、例えば、シリンドリカルレンズＦと、ミラーＧとの間、あるいは、シリンドリカルレンズＨと被照射面の間等に、スリットは設置される。
光学系は、本発明に必要なビームに変形できればどの様なものでも良い。

【００７４】
レーザービームは線状に整形され、被照射部分でのビーム面積は３００ｍｍ×１ｍｍとする。ビームの線幅は、レーザービームのエネルギー最高値の半値幅としている。

【００７５】
熱結晶化工程により、凹型にそりを生じたガラス基板は、レーザーアニール装置のステージ（台）に、強制的に平坦化されて固定される。
ここでは、図１０（ｄ）に示す構成を有するステージを用いる。
図１０（ｄ）において、ここでは、おさえ２３２は、セラミックにより構成されている。他に金属、石英等でもよい。耐熱性が高く、熱膨張しにくい材質が望ましい。
おさえ２３２は、ガラス基板１０１が搬送されて、ステージ２３１上に載置されると、自動的にガラス基板１０１の上面周辺部を押圧して押さえ、ガラス基板１０１をステージに密着させて固定する。
ガラス基板１０１は、ステージ２３１の平坦面に従って平坦化され、固定される。平坦化されたガラス基板は、面内高低差が約１０μｍとなる。

【００７６】
このようにして、ステージ（台）上に設置されたガラス基板に対し、レーザー照射を行う。
レーザー照射は、線状レーザービームを被照射物すなわち結晶性シリコン膜に対し相対的にずらしながら照射を行う。線状レーザーをずらしていく方向は線状レーザーと概略直角（図８、Ｉ方向）とする。このとき、被照射物の１点に注目すると、２～２０ショット、例えば１５ショットのレーザー光が照射されるようにする。
レーザーのエネルギー密度は１００ｍＪ／ｃｍ^2 ～５００ｍＪ／ｃｍ^2 の範囲で、例えば３７０ｍＪ／ｃｍ^2 で、照射を行なう。この照射の前に、２２０ｍＪ／ｃｍ^2 程度のエネルギーで照射をしておく２段階照射とすると、さらに結晶性が上がる。
また、レーザー照射時の基板温度は２００℃とする。（図９（Ｂ））

【００７７】
また雰囲気制御はここでは特に行わず、大気中で照射を行う。真空、アルゴン・ヘリウム等の不活性ガス、水素、窒素等の雰囲気で行なってもよい。（図９（Ｂ））

【００７８】
このようにして、基板面内において均一な結晶性を有する結晶性シリコン膜が得られる。該結晶性シリコン膜を用いて、この後、実施例１と同様にして、薄膜トランジスタが作製される。
このようにして、得られたＴＦＴのしきい値電圧は、ガラス基板の平坦化を行わずに作製

したＴＦＴと比較して、しきい値電圧の分布が、基板面内において極めて均一化された。

【００７９】

【発明の効果】

本発明により、そりを有するガラス基板上の被照射面に対して均一なレーザー照射を行うことができる。

本発明により、ＴＦＴ作製過程に於いて、レーザーアニールの工程を導入しても、基板面内におけるしきい値電圧が均一な、複数のＴＦＴを作製することが可能となる。

特に、本発明は大面積のガラス基板上に多数のＴＦＴを作製する場合に有効である。このように、本発明は工業上有益な物であると思われる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　レーザー照射の工程を示す図。

【図２】　従来の方法によって形成された結晶性シリコン膜を用いたＴＦＴのしきい値の基板面内における分布を示す図。

【図３】　そりが生じたガラス基板上のシリコン膜に対してレーザーアニールを行う様子を示す図。

【図４】　ガラス基板上のＴＦＴの配置を示す図。

【図６】　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図。

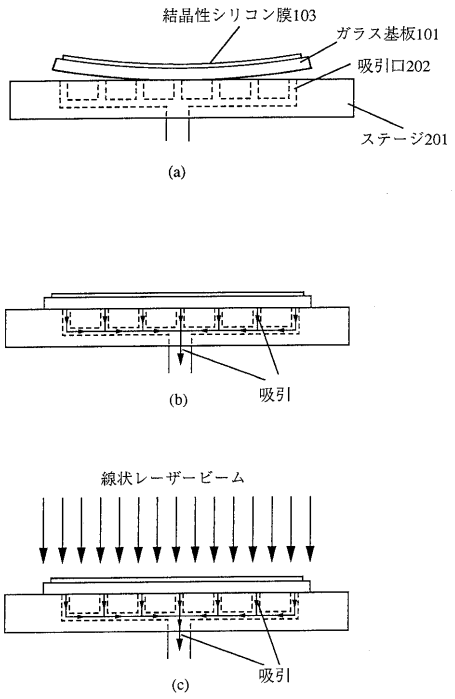
【図７】　光学系の例を示す図。

【図８】　光学系の例を示す図。

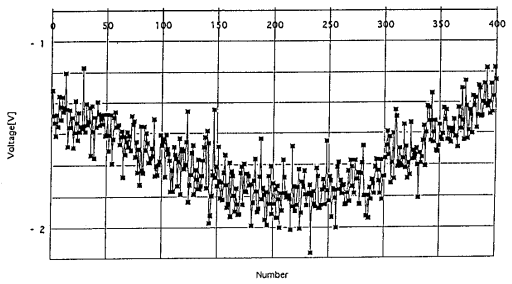
【図９】　実施例の作製工程を示す図。

【図１０】　ステージの構成の例を示す。

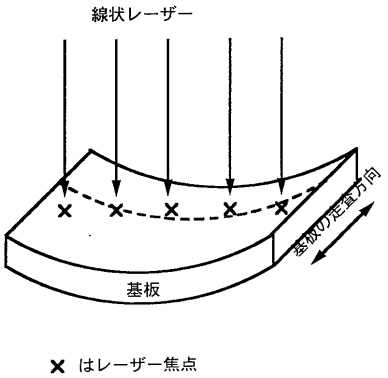
【図１】



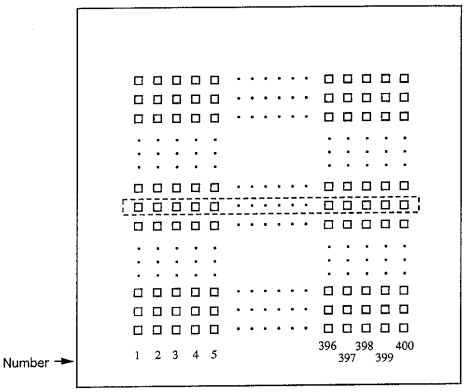
【図２】



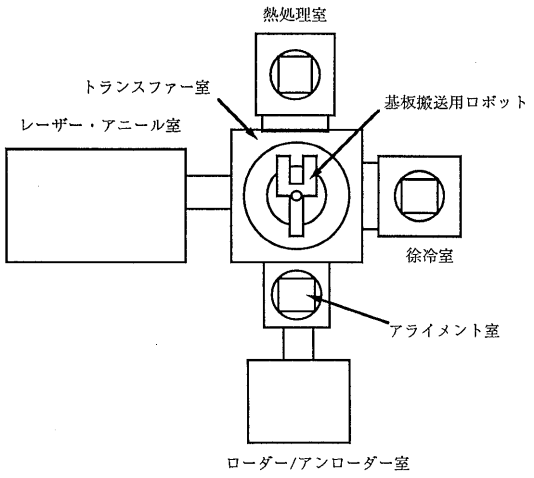
【図３】


線状レーザー
基板の走査方向
基板
× はレーザー焦点

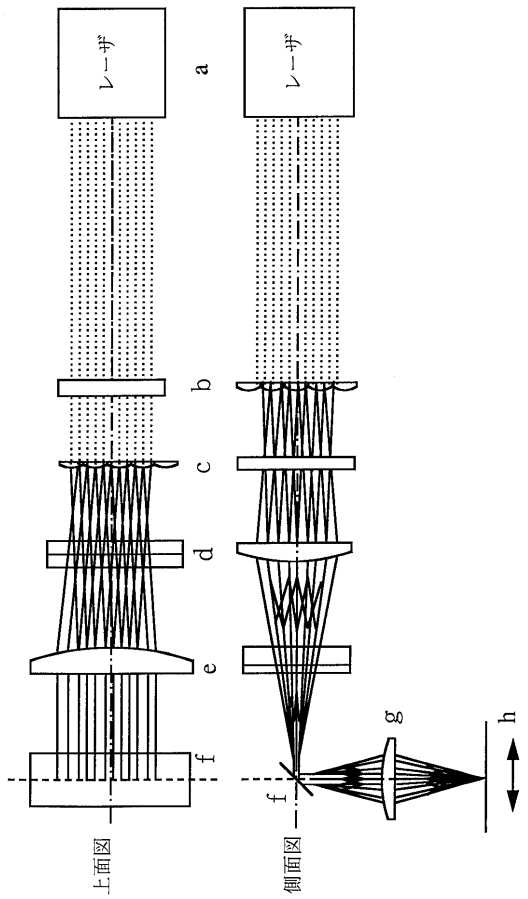
【図４】


Number
1 2 3 4 5
396 398 400
397 399

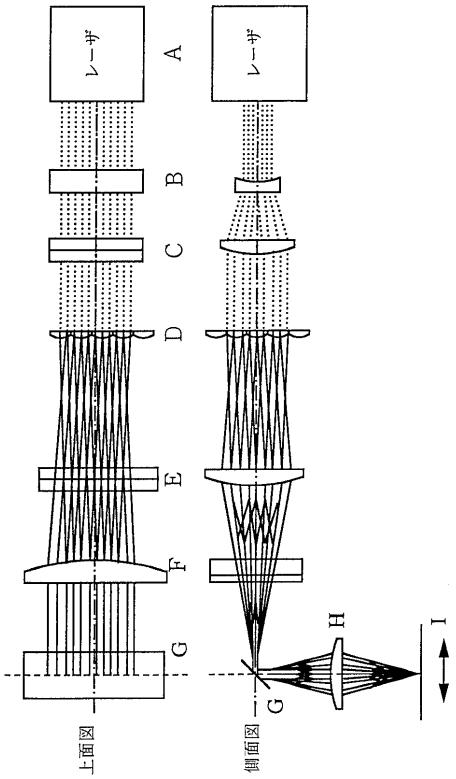
【図６】


熱処理室
トランスファー室
基板搬送用ロボット
レーザー・アニール室
徐冷室
アライメント室
ローダー/アンローダー室

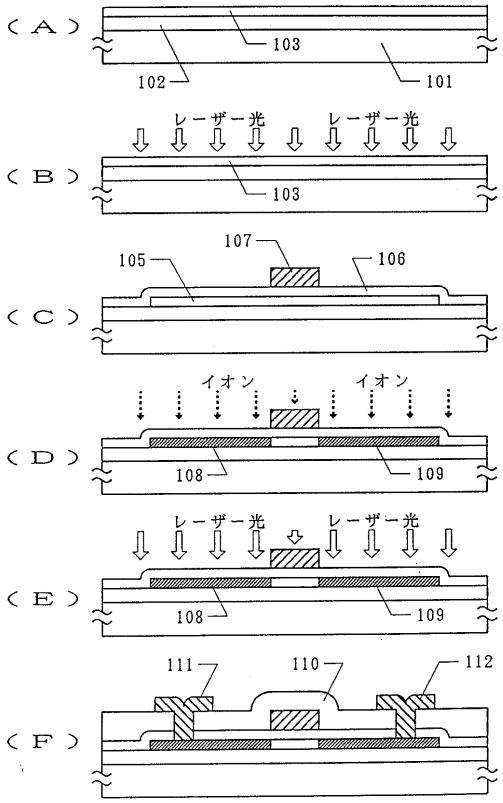
【図７】


レーザ
レーザ
a
b
c
d
e
f
f
g
h
上面図
側面図

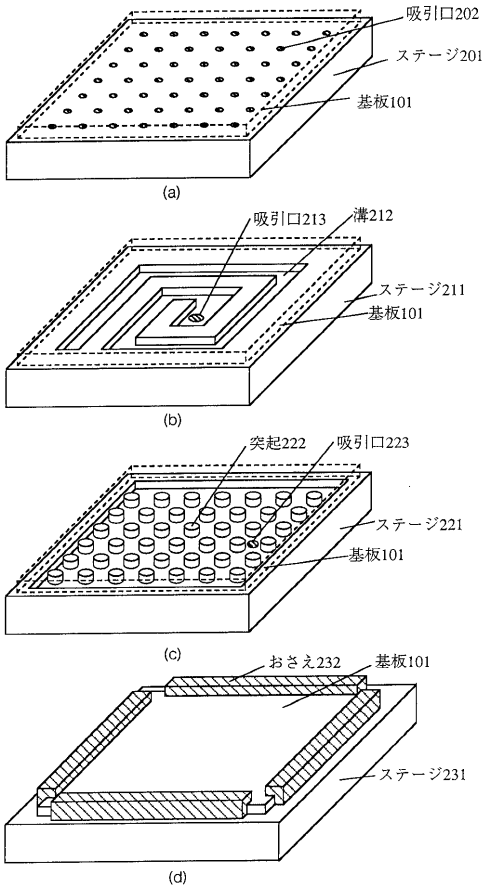
【図８】


レーザ
レーザ
A
B
C
D
E
F
G
H
I
G
上面図
側面図

【図９】


(A)
103
102
101
レーザー光
レーザー光
(B)
103
107
105
106
(C)
イオン
イオン
(D)
108
109
レーザー光
レーザー光
(E)
108
109
111
110
112
(F)

【図１０】


吸引口202
ステージ201
基板101
(a)
吸引口213
溝212
ステージ211
基板101
(b)
突起222
吸引口223
ステージ221
基板101
(c)
おさえ232
基板101
ステージ231
(d)

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭６０－２５７５１１（ＪＰ，Ａ）
特開平３－２８６５１８（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－１９３０２２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－９０３８６（ＪＰ，Ａ）
特開平７－１８３３６６（ＪＰ，Ａ）
特開平７－７４３６６（ＪＰ，Ａ）
特開平８－２７４１４８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 21/20
H01L 21/268
H01L 21/683