

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-135192

(P2006-135192A)

(43) 公開日 平成18年5月25日(2006.5.25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/20 (2006.01)	HO 1 L 21/20	5 F O 5 2
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 7 G	5 F 1 1 0
HO 1 L 21/336 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2004-324243 (P2004-324243)	(71) 出願人	000005049 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(22) 出願日	平成16年11月8日(2004.11.8)	(74) 代理人	100064746 弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132 弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100083703 弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781 弁理士 堀井 豊
		(74) 代理人	100098316 弁理士 野田 久登
		(74) 代理人	100109162 弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

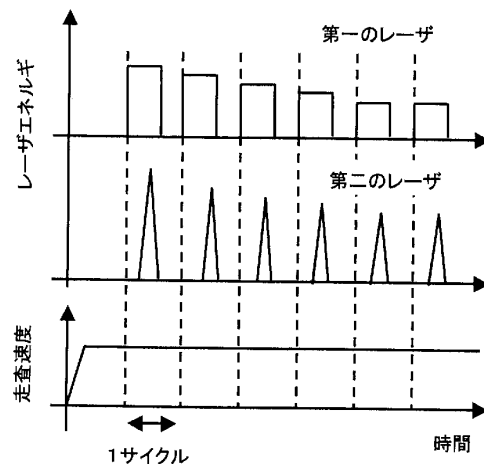
(54) 【発明の名称】 半導体デバイスの製造方法と製造装置

(57) 【要約】

【課題】 2種類のレーザを用いて基板温度を制御することによって、従来のレーザアニール法に比べて大きな結晶粒の多結晶半導体膜を得ることを可能にし、半導体膜内での結晶粒長さのばらつきを小さくして所望の領域全体を効率よく結晶化させる。

【解決手段】 半導体デバイスの製造方法は、基板上に形成された半導体膜をレーザ照射によって結晶化する過程において、基板に吸収される第一のレーザ光を照射する工程と、半導体膜に吸収される第二のレーザ光を照射する工程と、半導体膜に対してレーザ光を相対的に走査してレーザ照射を繰り返すことによって結晶化された領域を拡大する工程とを含み、基板と半導体膜において所望の温度が得られるようにレーザ光強度が変調されることを特徴としている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に形成された半導体膜をレーザ光照射によって結晶化する過程において、
前記基板に吸収される第一のレーザ光を照射する工程と、
前記半導体膜に吸収される第二のレーザ光を照射する工程と、
前記半導体膜に対して前記レーザ光を相対的に走査してレーザ照射を繰り返すことによ
って結晶化された領域を拡大する工程とを含み、
前記基板と前記半導体膜において所望の温度が得られるようにレーザ光強度が変調され
ることを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項 2】

前記第一のレーザ光は可視光域から赤外域の範囲内の波長を有し、前記第二のレーザ光
は紫外域から可視光域の範囲内の波長を有することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体
デバイスの製造方法。

10

【請求項 3】

前記結晶化過程において、前記第一のレーザ光は前記第二のレーザ光よりもあらかじめ
定められた時間だけ先行して照射されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導
体デバイスの製造方法。

【請求項 4】

前記結晶化過程において、前記半導体膜が前記レーザ光に対して相対的に一定速度また
は一定のステップ送りで移動させられることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記
載の半導体デバイスの製造方法。

20

【請求項 5】

前記結晶化過程において、前記第一のレーザ光は前記第二のレーザ光の照射される領域
と同一またはそれ以上の面積に照射され、その領域において前記第一のレーザ光は半導体
膜が結晶化を終了するまでに少なくとも 2 回以上照射されることを特徴とする請求項 1 か
ら 4 のいずれかに記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 6】

前記第二のレーザ光が照射された時点での前記半導体膜の温度が前記レーザ照射を繰り
返す過程において毎回同じになるように、前記第一と前記第二のレーザ光の少なくとも一
方の強度を次第に弱めたのちに一定にすることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体デバ
イスの製造方法。

30

【請求項 7】

前記第一と前記第二のレーザ光の少なくとも一方の強度を次第に弱める強度変調の様式
は、前記第一のレーザ光が同一箇所は何回照射されるかによって決定されることを特徴と
する請求項 6 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 8】

前記第一と前記第二のレーザ光に関する設定は、前記レーザ照射を繰り返す過程におい
て強度条件以外は毎回同じであることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の半
導体デバイスの製造方法。

【請求項 9】

前記レーザ照射を繰り返す過程において、前記半導体膜の一部が重複してレーザ照射さ
れて複数回溶融することを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の半導体デバイ
スの製造方法。

40

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれかに記載の半導体デバイスの製造方法に用いられる半導体デバ
イスの製造装置であって、前記第一のレーザ光を射出する第一のレーザ発振器と、前記第
二のレーザ光を射出する第二のレーザ発振器と、これら 2 つのレーザ発振器を制御するコ
ントローラとを含むことを特徴とする半導体デバイスの製造装置。

【請求項 11】

前記第一のレーザ光が前記第二のレーザ光に比べてあらかじめ定められた時間だけ先

50

行して照射されるように、前記コントローラは前記第一と前記第二のレーザ発振器を制御することを特徴とする請求項10に記載の半導体デバイスの製造装置。

【請求項12】

前記半導体膜が前記レーザ光に対して一定速度または一定のステップ送りで移動させられるように、基板移送手段をさらに含むことを特徴とする請求項10または11に記載の半導体デバイスの製造装置。

【請求項13】

前記コントローラは、前記第一と前記第二のレーザ光の射出タイミングを設定し、前記第一のレーザ光が同一箇所に繰り返し複数回照射されても前記半導体膜の温度が毎回同じになるように前記第一と前記第二のレーザ光の強度を変調することを特徴とする請求項10から12のいずれかに記載の半導体デバイスの製造装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザを利用して半導体膜を結晶化させた半導体デバイスを製造する方法と装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体薄膜上に半導体デバイスとして形成された薄膜トランジスタ(TFT)は、アクティブマトリクス液晶表示装置における表示部や画素コントローラなどにおいて用いられており、その半導体薄膜としては非晶質半導体薄膜が主に用いられている。さらに、TFTを高速動作させるために、従来非晶質半導体膜が用いられていたチャネル領域を結晶化することにより、チャネル特性を向上させることが行なわれている。これは、原子配列のそろった結晶部分におけるキャリアの移動度が、非晶質部分に比べて数百倍大きくなるからである。しかし、多結晶の場合は、結晶粒界においてキャリアの散乱が生じるので、結晶粒をより大きくすることによって、チャネル領域が単結晶になることが望まれる。チャネル方向に長い結晶粒を利用してTFTを作成することによって、そのTFTを高性能化できるだけでなく、ガラス基板上の半導体薄膜にプロセッサなどの集積回路を形成することができる。

20

【0003】

非晶質半導体薄膜の結晶化にはいくつかの方法が提案されているが、パルスレーザを用いれば短時間に大きなエネルギーを投入できるので、基板にダメージを与えることなく比較的低温での結晶化プロセスが可能となる。ことから、パルスレーザを利用した結晶化技術の開発が進められている。そのようなレーザアニールによる結晶化において、大粒径でかつ粒径ばらつきの小さな半導体多結晶薄膜を作製するためには、結晶核の発生と結晶成長速度の制御が重要である。

30

【0004】

レーザアニールによって溶融した半導体膜が急激に冷却されれば、結晶核が多く発生して、結晶成長速度も速くなる。そうすれば、隣り合う結晶粒同士がそれらの成長を阻害しあうので、成長後の結晶粒長さが短くなってしまふ。したがって、溶融した半導体膜が徐々に冷却されるように、基板を温める方法が検討されている。

40

【0005】

特許文献1の特開平4-338631号公報では、発振波長の異なる複数のレーザ発振器を用いた結晶化プロセスが提案されている。この場合、半導体膜に吸収される波長を持つメインレーザ光(たとえばArレーザ)と基板に吸収される波長を持つアシストレーザ光(たとえば炭酸ガスレーザ)を同時に照射することにより、溶融半導体膜の温度を制御しつつ結晶成長させている。このように、特許文献1では、メインレーザで半導体膜を溶融して、このメインレーザとは異なる波長を持つアシストレーザで基板を加熱する方法により、結晶性シリコン膜の配向性をそろえることができるとされている。

【特許文献1】特開平4-338631号公報

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

基板上の半導体膜に対して相対的にレーザービームを走査させながらレーザーアニールを繰り返し行ってその半導体膜のある領域または全面の結晶化を行う場合、同一箇所に多数回レーザー照射されることがある。特に複数のレーザー光を用いる場合、アシストレーザーのショット数が増えるにしたがって基板温度が上昇していくので、結晶化された半導体膜における結晶粒の長さがショットごとに異なり、基板面内ではばらつくという課題がある。

【0007】

かかる課題に鑑み、本発明は、大きな結晶粒径を有しかつ粒径のばらつきが小さな多結晶半導体膜を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明によれば、半導体デバイスの製造方法は、基板上に形成された半導体膜をレーザー照射によって結晶化する過程において、基板に吸収される第一のレーザー光を照射する工程と、半導体膜に吸収される第二のレーザー光を照射する工程と、半導体膜に対してレーザー光を相対的に走査してレーザー照射を繰り返すことによって結晶化された領域を拡大する工程とを含み、基板と半導体膜において所望の温度が得られるようにレーザー光強度が変調されることを特徴としている。

【0009】

なお、第一のレーザー光は可視光域から赤外域の範囲内の波長を有し、第二のレーザー光は紫外域から可視光域の範囲内の波長を有することが好ましい。また、結晶化過程において、第一のレーザー光は第二のレーザー光よりもあらかじめ定められた時間だけ先行して照射されることが好ましい。

【0010】

結晶化過程において、半導体膜がレーザー光に対して相対的に一定速度または一定のステップ送りで移動させられ得る。その場合に、第一のレーザー光は第二のレーザー光の照射される領域と同一またはそれ以上の面積に照射され、その領域において第一のレーザー光は半導体膜が結晶化を終了するまでに少なくとも2回以上照射され得る。また、第二のレーザー光が照射された時点での半導体膜の温度がレーザー照射を繰り返す過程において毎回同じになるように、第一と第二のレーザー光の少なくとも一方の強度を次第に弱めたのちに一定にすることが好ましい。第一と第二のレーザー光の少なくとも一方の強度を次第に弱める強度変調の様式は、第一のレーザー光が同一箇所に何回照射されるかによって決定されることが好ましい。しかし、第一と第二のレーザー光に関する設定は、レーザー照射を繰り返す過程において、強度条件以外は毎回同じであることが好ましい。なお、レーザー照射を繰り返す過程において、半導体膜の一部が重複してレーザー照射されて複数回溶融させられてもよい。

【0011】

上述のような半導体デバイスの製造方法に用いられる製造装置は、第一のレーザー光を射出する第一のレーザー発振器と、第二のレーザー光を射出する第二のレーザー発振器と、これら2つのレーザー発振器を制御するコントローラとを少なくとも含んでいる。そして、第一のレーザー光が第二のレーザー光に比べてあらかじめ定められた時間だけ先行して照射されるように、コントローラは第一と第二のレーザー発振器を制御することが好ましい。

【0012】

半導体デバイスの製造装置は、半導体膜がレーザー光に対して一定速度または一定のステップ送りで移動させられるように、基板移送手段をさらに含むことが好ましい。また、コントローラは、第一と第二のレーザー光の射出タイミングを設定し、第一のレーザー光が同一箇所に繰り返し複数回照射されても半導体膜の温度が毎回同じになるように第一と第二のレーザー光の強度を変調することが好ましい。

【発明の効果】

【0013】

10

20

30

40

50

本発明によれば、2種類のレーザを用いて基板温度を制御することによって、従来のレーザアニール法に比べて大きな結晶粒の多結晶半導体膜を得ることができ、半導体膜内の結晶粒長さのばらつきを小さくして所望の領域全体を効率よく結晶化させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

[実施例1]

図2は、本発明における半導体デバイスの作製方法を説明するための概略断面図である。この図において、基板21上に下地絶縁膜22と非晶質半導体膜23が形成される。基板21は絶縁性であることが好ましく、ガラス基板や石英基板などを用いることができるが、安価である点および大面積基板を容易に製造できる点でガラス基板を用いることが好適である。

10

【0015】

下地絶縁膜22としては、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、または酸化シリコン膜などを用いることができる。また、その膜厚は50~200nm程度にすることが好ましいが、これに限定されるわけではない。そのような下地絶縁膜22は、プラズマエンハンスト化学気相堆積(PECVD)、蒸着、またはスパッタリングなどにより堆積することができる。

【0016】

半導体膜23は、膜厚が10nm~100nmとなるように、PECVD、触媒化学気相堆積(Cat-CVD)、蒸着、またはスパッタリングなどにより堆積され得る。かかる半導体膜23の材料としては、半導体特性を示すものであれば特に限定されないが、結晶成長長さを長くすることによって種々の特性が顕著に向上する非晶質シリコン膜とすることが好ましい。しかし、レーザ照射により結晶化される前の半導体膜23は非晶質に限られず、微結晶や多結晶などの結晶性半導体膜であってもよい。また、半導体膜23の材質は、シリコンのみからなる材質に限られるものではなく、ゲルマニウムなどの他の元素を含んだシリコン合金であってもよい。

20

【0017】

そして、図2に示されているような半導体デバイス25に対してレーザ光24が矢印Fで示されているように照射され、それによって半導体膜23がレーザアニールされて結晶化される。

30

【0018】

通常のレーザアニールでは、半導体膜を完全溶解させた場合に最も結晶粒径が大きくなる。この場合の結晶化メカニズムが、図3において図解されている。半導体膜の概略断面図である図3(a)に示したように、完全溶解した半導体膜と基板との界面において白丸印で表された結晶核が発生し、矢印で示されているように半導体膜の下面側(基板側)から上面側(半導体膜の表面側)へ向かって縦方向(厚さ方向)に結晶化する。この場合、図3(b)に示されているように、成長する隣の結晶同士がぶつかり合って成長が終了する。こうして結晶化の完了した多結晶膜を上面から観察すれば、図3(c)の模式的平面図に示されているように、10nm~1μmの程度の粒径の結晶がひしめきあっているように見える。このようなレーザ光照射による結晶化を1サイクルとして、次の領域に移動して2サイクル目の結晶化を行うというように、レーザ光照射と走査を繰り返して半導体膜の所望の領域全体を結晶化していく。

40

【0019】

なお、ここで言う走査とは、レーザ照射領域と半導体膜との相対的位置の移動を意味する。すなわち、走査においては、固定されたレーザ光照射領域に対して、半導体膜を載置しているステージを移動させることができる。逆に、固定された半導体膜に対して、レーザビームすなわち照射領域が移動させられてもよい。また、半導体膜とレーザ光照射領域の両方を同時に移動させることによって相対的に走査することも可能である。移動に関しては、一定速度で連続的に動き続ける移動が可能である。また、ある速度での移動後の

50

決められた位置において停止した後レーザ光照射され、再度移動後に停止した後に次のレーザ光照射されるように、ステップ・バイ・ステップの移動であってもよい。走査速度は、半導体膜の所望の領域を結晶化処理するのに要する時間、すなわちスループットに直接的に関係する。したがって、本実施例では、第一と第二のレーザの発振周波数やその他の要因を考慮して決められる最適の一定走査速度が採用される。こうして、移動による位置精度を満たすステージ駆動システムを用いることによって、生産性よく半導体デバイスを製造することが可能となる。

【0020】

図4は、本実施例における半導体デバイス製造装置として用いられ得るレーザ照射装置を模式的なブロック図で示している。このレーザ照射装置は、半導体デバイス25に含まれる半導体膜を結晶化することができ、第一のレーザ発振器48、第二のレーザ発振器42、およびこれらの発振器を制御するコントローラ41を備えている。さらに、可変減衰器43a、43b、フィールドレンズ44、マスク45、結像レンズ46、可動サンプルステージ47、およびいくつかのミラーを含んでいる。

10

【0021】

第一のレーザ48は、絶縁体基板に吸収されてそれを加熱する効果を有するアシストレーザであり、可視光域から赤外域の範囲内の波長を有することが望ましい。第一のレーザは48パルス照射するものと連続照射するもののいずれであってもよいが、本実施例ではガラス基板に吸収のある9~11 μm の波長を有して一定の発振周波数でパルス照射する炭酸ガスレーザが用いられた。パルス幅はレーザの発振周波数にも依存するが10 μs ~100msの範囲内であり、絶縁体基板ひいては半導体膜の温度を十分に上昇させかつ半導体膜を溶融させたり絶縁体基板にダメージを与えない程度のエネルギーを付与し得ることが望ましい。パルス幅は、走査速度と同様に、結晶化の過程では常に一定に設定された。

20

【0022】

第二のレーザ42は、基板にダメージを与えないように、固体の半導体膜において吸収係数が大きい紫外域から可視光域内の波長を有することが望ましい。また、第二のレーザ42は半導体膜を溶融させるメインレーザの役割を有するので、一定の発振周波数でパルス照射を繰り返す必要がある。本実施例では、波長308nmのエキシマレーザが用いられた。

30

【0023】

本発明による半導体薄膜の製造方法に用いられる第一と第二のレーザ光のエネルギー量の合計は、1回の照射によって固体状態の半導体膜を溶融させる程度のエネルギー量を有し、半導体膜を凝集させたり基板にダメージを与えたりすることのないように設定されることが好ましい。これらのエネルギー量は、半導体膜の材質、膜厚、結晶化領域の面積などによって変化して一義的に定めることができないので、多結晶半導体膜の製造方法における実施形態に合わせて適宜に適当なエネルギー量を有するレーザ光を用いることが望ましい。本実施例では、第二のレーザ42のエネルギー量が1パルス照射あたり0.1~0.4J/cm²にされ、第一のレーザではパルス幅130 μs (半値全幅)においてエネルギー量が1パルス照射あたり0.7~1.0J/cm²にされた。

40

【0024】

図5の模式的グラフにおいて、第一と第二のレーザ光の照射タイミングとレーザエネルギーの波形が示されている。このグラフにおいて、第一のレーザ51は時刻 $t=0$ で照射されてそのパルス幅は t_2 であり、第二のレーザ52は時刻 t_1 で照射されるよう設定されている。第一と第二のレーザ51、52は、それらの照射タイミングが同期制御され、一定の繰り返し周波数で発振させられる。このように第一のレーザ光51が第二のレーザ光52よりも早いタイミングで照射開始させられて基板を適当な温度まで加熱することによって、結晶粒径を0.1~3 μm 程度まで顕著に増大させることができる。この理由は、基板と半導体膜の温度が高く保たれるので、半導体膜が再結晶化するときの凝固時間が長くなって、結晶核の総数が少なくなるからである。

50

【0025】

図6のグラフにおいて、半導体膜の温度とそのときの再結晶によって得られる縦方向成長の結晶粒径範囲の一例が示されている。このグラフから、半導体膜の温度が高いほど結晶長が伸びることがわかる。半導体膜の温度は、図5における第一のレーザ51のエネルギーとパルス幅 t_2 および第二のレーザ52の照射タイミング t_1 を適宜に変更することによって制御することができる。これらのうちで、最も変調しやすいのはレーザ光の放射照度である。また、効率よく結晶化するためには、基板の走査速度やレーザ光の照射タイミングを制御するより、最適な速度で一定に走査および照射を続けつつレーザエネルギーを変調する方が有利である。したがって、本実施例では、レーザエネルギーのみを照射ごとに変調することによって、最適な半導体膜温度を与える制御方法が採用される。

10

【0026】

ここで、図7(a)の模式的な平面図に示されているように、第一のレーザの照射される領域71の面積が広くて、第二のレーザの照射される領域72が狭い場合を考える。たとえばTFIのチャンネル領域のみを結晶化する場合、マスクなどを用いて第二のレーザの照射領域が限定される。このとき、第一と第二のレーザエネルギーを常に一定に設定すれば、半導体膜の位置によって第一のレーザの照射回数が異なり、基板温度が位置によって異なることになる。すなわち、レーザ光照射開始直後の1サイクル目の領域72は「1回の第一のレーザ光照射71と1回の第二のレーザ光照射72」を受けるのに対し、次の領域に移動した2サイクル目の領域74は、図7(b)に示されているように「2回の第一のレーザ光照射71、73と1回の第二のレーザ光照射74」を受けることとなる。図7(c)では3サイクル目の領域76として「3回の第一のレーザ光照射71、73、75と1回の第二のレーザ光照射76」を受けることを示しているが、このようなサイクルを続けるとすれば、これ以降は常に第一のレーザ光照射を3回受けることとなる。

20

【0027】

このようにレーザ照射の n サイクル以降に第二のレーザの照射される領域が「 n 回のアシストレーザ照射と1回のメインレーザ照射」を受けるとなれば、基板はほぼ同じ温度に保たれるが、 n サイクルまでの過程ではそれ以後の過程に比べて結晶長が短くなっている。すなわち、均一な結晶粒を得るためにレーザ光照射の助走領域を必要としており、生産性が低くなるという問題が生じる。他方、1サイクル目で所望の結晶長が得られるように第一と第二のレーザエネルギーを大きく設定してその照射を続ければ、基板へのダメージや半導体膜の凝集を引き起こす場合がある。

30

【0028】

また、第二のレーザ光が照射される領域を重複させて多数回照射する場合でも、同様の問題が生じる。第二のレーザ光の多数回照射は、結晶長のばらつきを抑える方法として知られており、場合によっては同一箇所において数十回の照射が行われる場合もある。しかし、照射とともにステージの移動による走査を行う場合には、始めの数サイクルの照射とその後のサイクルの照射における結晶長が異なってしまう。

【0029】

これは、波長の異なる複数のレーザを用いることに固有の課題であり、半導体膜に吸収される第二のレーザのみを単独で繰り返し照射しても大きな問題とはならない。なぜならば、半導体膜に吸収させてそれを溶融させるために用いられる第二のレーザは十分な照射エネルギーで短時間で投入されるので、半導体膜の冷却と凝固が短時間で終了し、第二のレーザによる基板への蓄熱の影響を無視できるからである。他方、絶縁体基板に吸収される第一のレーザは、半導体膜に比べて1~3桁大きな厚さの絶縁体基板の温度を上げる必要があり、そのパルス幅も大きく設定される。図8のグラフは、半導体膜の同一箇所に複数回レーザ照射した場合におけるその箇所の温度変化を示している。このグラフから、第一のレーザによる基板への蓄熱の影響が大きいことがわかる。

40

【0030】

そこで、全ての照射サイクルで基板が同じ温度で保たれるように、第一のレーザエネルギーを図9(a)のグラフに示されているように調節する。すなわち、始めのショットから

50

数ショット目までは大きなレーザーエネルギーから次第に減少させ、それ以降は同じエネルギー量で照射を続ける。この場合に、基板への蓄熱によって基板温度が上がり続けることがないようにするためには、第一のレーザー照射による基板温度の上昇が何サイクル目でも同一になるように、各サイクルの第一のレーザーエネルギーを設定すればよい。図9(a)では一定速度で走査されて繰り返しレーザー照射されるので、その照射ごとの基板到達温度を一定にするだけでよい。その結果、スループットを低下させたり助走領域を設けることなく、ばらつきの少ない結晶粒を得ることが可能となる。なお、図9(a)に示されているように、第二のレーザーエネルギー、各レーザーの照射タイミング、第一のレーザー光のパルス幅などは一定であり、特別な設定や制御の必要はない。何ショット目まで第一のレーザーエネルギーを変化させる必要があるかは、第一と第二のレーザー照射領域の位置および面積に依存して決められる。

10

【0031】

図9(a)の場合と同様の効果は、図9(b)のグラフに示されているように、第一のレーザーエネルギーの代わりに第二のレーザーエネルギーを調節することによっても得ることができる。すなわち、始めの数ショットの間の基板温度は低いが、半導体膜を溶融させるための第一のレーザーのエネルギーが大きいので、結晶長の均一な結晶粒を得ることができる。ただし、第二のレーザー光は半導体膜に直接吸収されるので、そのレーザーエネルギーが大きすぎれば半導体膜にダメージを与えたり凝集させてしまうことに注意が必要である。

【0032】

第一と第二のレーザーエネルギーは、前述したように、半導体膜の材質、膜厚、結晶化領域の面積、走査速度、繰り返しの照射の周期などによって最適化され、それぞれのレーザーがとりうるエネルギーの範囲が存在する。そして、第一と第二のレーザーエネルギーの双方を変調することによって、よりよいエネルギー条件を設定することも可能である。たとえば、図1のグラフに示されているように、第一と第二のそれぞれのレーザーエネルギーを照射ごとに変調することによって、安定かつ適切に結晶化することが可能となる。

20

【0033】

[実施例2]

実施例2においても、実施例1の場合と同様に、図2に示されているような半導体デバイスについて結晶化が行われる。ところで、レーザーによる結晶化方法では、図3を参照して説明されたように、半導体膜の下面から上面への厚さ方向の結晶成長では隣の結晶同士が成長中にぶつかり合うことによってそれらの成長が阻害される。これに対して、半導体膜の結晶成長に関して、横方向成長法と呼ばれる方法がある。

30

【0034】

横方向成長法とは、半導体膜にレーザー照射して完全溶融された領域と固体領域との境界(図10(a)中の破線)から横方向に結晶成長させ、その横方向への結晶粒長さを大きくする手法である。これは、図10(a)の模式的断面図に示されているように、溶融領域中では固体領域との界面において最も温度が低くてそこで結晶核が発生しやすいので、そこからレーザー照射領域中央部へ結晶成長が進む現象を利用している。図10(b)の模式的な平面図は、横方向成長法により結晶化された膜の上面から見た拡大図を示している。このような横方向成長によれば、結晶長が $0.1 \sim 2 \mu\text{m}$ の大きな結晶粒を得ることができ、また成長方向をTFTのチャネル方向に平行にすればキャリアの流れに交差する粒界を回避することができるので、より大きなキャリア移動度を得ることができる。さらに、本実施例2において、実施例1の場合と同様に第一のレーザーを用いて基板を温めることによって、一回のレーザーショットで成長する結晶長を $1 \sim 10 \mu\text{m}$ に長くすることができる。

40

【0035】

横方向成長による結晶化のためのレーザー照射装置としては、実施例1の場合と同様に図4の装置を用いることができ、第一と第二のレーザー条件なども実施例1の場合と同様に設定し得る。そして、第一と第二のレーザーエネルギーを大きくするほど、横方向成長した結晶粒も長くなる。図11の模式的な平面図は、横方向成長した結晶粒の上面から見た拡大図

50

を示している。第二のレーザに用いるマスク幅を適度に狭めて第一と第二のレーザエネルギーを適度に選ぶことによって、図11(b)に示されているようにマスク幅の半分まで横方向成長させることができ、マスク内全体を横方向結晶化させることができる。しかし、マスク幅が広すぎれば、横方向結晶成長は速度が遅いので、横方向成長途中でマスク中央付近の冷却が進む。そして、その中央部で半導体膜と基板との界面に結晶核が発生して、半導体膜の下面側(基板側)から上面側(表面側)への縦方向(厚さ方向)へ結晶化が始まる。この縦方向の結晶成長は、実施例1において図3を参照して説明した結晶成長と同じである。その結果、図11(a)に示されているように、横方向成長と縦方向成長の混在した結晶成長組織になる。

【0036】

第一のレーザエネルギーによって横方向成長による結晶長が顕著に伸びる理由は、実施例1の場合と同様に基板加熱の効果による。図12のグラフは、基板温度と横方向結晶長との関係を示している。このグラフから、基板温度が900程度になれば急激に結晶長が増大することがわかる。しかし、ガラス基板を用いる場合は、耐熱性の問題から短時間で適度に加熱するようにレーザエネルギーを設定する必要がある。また、蓄熱による基板温度の上昇を防ぐように、照射の回数や領域も適切に設定する必要がある。そのように定められたレーザエネルギーを用いたとしても、照射を始めた最初の数ショットについては、以下のように結晶長が異なるという問題点が生じる。

【0037】

ここでも、図7(a)に示されているように、第一のレーザの照射される領域71が広くて、第二のレーザの照射される領域72が狭い場合を考える。このように結晶化領域を限定する場合に、第一と第二のレーザエネルギーを常に一定に設定すれば、半導体膜の位置によって第一のレーザが照射される回数が異なり、位置によって基板温度が異なることになる。すなわち、レーザ光照射開始直後の1サイクル目の領域72は「1回の第一のレーザ光照射と1回の第二のレーザ光照射」を受けるが、図7(b)に示されているように2サイクル目の領域74は「2回の第一のレーザ光照射と1回の第二のレーザ光照射」を受けるとなる。また、図7(c)では3サイクル目の領域76が「3回の第一のレーザ光照射と1回の第二のレーザ光照射」を受けることを示している。そして、このようなサイクルを続ければ、3サイクル目以降は常に第一のレーザ光照射を3回受けることとなる。このように、第一と第二のレーザ光照射の領域と位置に依存して、nサイクル以降に「n回のアシストレーザ照射と1回のメインレーザ照射」を受けるとなれば、基板はほぼ同じ温度に保たれる。しかし、nサイクルまでの過程では、それ以後の過程に比べて、結晶長が短くなっている。他方、1サイクル目でマスク領域内全体を結晶化させるように第一と第二のレーザエネルギーを設定し、そのエネルギー量で照射を続ければ、基板へのダメージや半導体膜の凝集を引き起こす場合がある。

【0038】

そこで、実施例1の場合と同様に、本実施例2においても、全ての照射サイクルで基板が同じ温度で保たれるように、第一のレーザエネルギーが図9(a)、図9(b)、または図1に示されているように変調される。その効果、スループットを低下させることなく確実に結晶成長をつないでいくことができ、半導体膜や基板にダメージを与えることなく半導体膜の所望の領域を単結晶化することができる。

【0039】

[実施例3]

実施例3においても、実施例1の場合と同様に、図2に示されているような半導体デバイスについて結晶化が行われる。しかし、実施例3においては、横方向成長法に比べてもさらに長い結晶長を得ることができる逐次横方向結晶化法(SLS: Sequential Lateral Solidification)が利用される。すなわち、図13(a)の模式的な平面図に示されているように、一回のレーザ光照射によって横方向結晶成長した半導体膜において、その結晶長132より短い距離131だけレーザ光照射領域を移動させて再度照射する。そうすれば、半導体膜の溶融領域と固体領域の界面から再

10

20

30

40

50

度横方向に結晶成長する。このとき、一回前のレーザー照射で成長した結晶粒を核として結晶成長が引き継がれていくので、図13(b)の模式的平面図に示されているように結晶長132を伸ばしていくことが可能になる。この場合に、実施例2の場合と同様に、本実施例3においても第一のレーザーを用いることによって、一回のレーザー照射で成長する横方向結晶長を長くすることができる。

【0040】

本実施例3における半導体デバイス製造装置としては、実施例1および2の場合と同様の製造装置でも可能であるが、図14の模式的なブロック図に示されているようなレーザー照射装置を利用することもできる。このレーザー照射装置は、半導体デバイス25に含まれる半導体膜を結晶化することができ、第一のレーザー発振器48、第二のレーザー発振器42、およびこれらの発振器を制御するコントローラ41を備えている。さらに、可変減衰器43a、43b、ビーム整形光学系81a、81b、均一照射光学系82a、82b、フィールドレンズ44、結像レンズ46、可動サンプルステージ47、およびいくつかのミラーを含んでいる。

10

【0041】

第二のレーザー発振器42から放射されたレーザー光が半導体デバイスに至るまでの光路およびその間の装置構成について説明すれば、まず第二のレーザー発振器42から放射されたレーザー光は可変減衰器43aによってそのエネルギー量が調整される。ビーム整形光学系81aと均一照射光学系82aは、第二のレーザー発振器から放射されたレーザー光を適当な寸法に整形して均一な強度の光で照明する機能を有する。また、フィールドレンズ44を設置して像側テレセントリック光学系とし、結像レンズ46によってレーザー光が所定倍率で投影されるよう設定した。

20

【0042】

第二のレーザー42としては、半導体デバイス25の基板にダメージを与えないように、固体の半導体膜における吸収係数が大きい紫外域から可視光域の範囲内の波長を有することが望ましい。この第二のレーザー42は、半導体デバイス25の半導体膜を溶融させるメインレーザーとしての役割を有し、一定の発振周波数で照射を繰り返す。本実施例3では、第二のレーザー42として、波長10.6 μm のYAGレーザーの基本波が第2高調波である532nmの波長に変換されたレーザー光が用いられた。繰り返し周波数は1kHzで、パルス幅は200nsとした。

30

【0043】

固体レーザーはエキシマレーザーに比べてガス交換やレーザー共振器のメンテナンス等の必要がなく、生産効率を向上させることができる。この場合、マスクによる半導体膜上への結像方法ではなく、レンズ等を用いて直接ビーム整形を行う方が望ましい。たとえば、SLS法に適当なビーム形状として、図15(a)の模式的な平面図に示されているように、レーザーの相対的な走査方向Gに平行に短辺Hを有し、その走査方向Gに垂直な方向に長辺Iを有する形状が考えられる。この矩形の寸法としては、短辺Hを10~100 μm とし、長辺Iを短辺Hよりも長く設定するのが望ましい。なぜならば、本発明のレーザー照射装置を用いることによって横方向成長距離は数 μm から十数 μm 程度まで得ることができ、SLS法で成長をつないでいく場合は短辺Hを横方向成長距離の2倍から4倍程度にすることが最適だからである。また、長辺Iを短辺Hよりも長くすることによって、処理面積を大きくしてスループットを上げることができるからである。光強度分布としては、横方向成長距離を均一にするために、長辺方向の断面では均一な強度分布とすることが望ましい。短辺方向の断面では長辺方向の断面ほど厳密さを要しないとしても、やはり均一な光強度分布とすることが望ましく、ガウシアン分布もしくは矩形分布にすることが望ましい。

40

【0044】

第一のレーザー発振器48から放射されたレーザー光が半導体デバイスに至るまでの光路およびその間の装置構成について説明すれば、まず第一のレーザー発振器48から放射されたレーザー光は可変減衰器43bによってそのエネルギー量が調整され、ビーム整形光学系81bと均一照射光学系82bによって適当な寸法に整形されて均一な強度分布を持つよう調整

50

される。これによって、半導体デバイス 25 上におけるレーザービーム形状は、たとえば矩形形状となる。

【0045】

第一のレーザー 48 は、絶縁体基板に吸収されてそれを加熱する効果を有するアシストレーザーであり、可視光域から赤外域の範囲内の波長を有することが望ましい。第一のレーザー 48 ではパルス照射と連続照射のいずれが行われてもよいが、本実施例 3 ではガラス基板において吸収を生じる $9 \sim 11 \mu\text{m}$ の波長を有して一定の発振周波数でパルス照射する炭酸ガスレーザーが用いられた。第一のレーザー 48 から放射されたレーザー光は、第二のレーザービーム領域以上の面積で均一な強度分布を持つ必要がある。

【0046】

本実施例 3 において半導体薄膜の結晶化方法に用いられる第一と第二のレーザー 48、42 のエネルギーの合計は、1 回の照射によって固体状態にある半導体膜を溶融させる程度のエネルギーを有している。しかし、半導体膜を凝集させたり基板にダメージを与えたりすることのないように、第一と第二のレーザー 48、42 のエネルギーを設定することが好ましい。これらのエネルギーは、半導体膜の材質、膜厚、結晶化領域の面積などにより変化して一義的に定めることはできないので、半導体膜の結晶化方法における具体的条件に合わせて適切なエネルギーを有するレーザー光を用いることが望ましい。本実施例 3 では、第一のレーザー 48 のエネルギーは 1 パルス照射当たり $0.4 \sim 0.7 \text{ J/cm}^2$ であり、第二のレーザー 42 ではパルス幅 $30 \sim 200 \mu\text{s}$ (半値全幅) を用いた場合のエネルギーが $0.75 \sim 1.0 \text{ J/cm}^2$ であった。これらの第一と第二のレーザー光の照射タイミングと波形は、図 5 に示された実施例 1 の場合と同様である。

【0047】

一例として、図 15 (a) に示すような矩形のレーザービーム断面形状で第二のレーザー光 152 を照射し、図 15 (b) の模式的平面図に示されているように SLS 法にて結晶成長をつないでいく場合を考える。図 15 (b) では、理解の容易化のために矩形のレーザービーム断面の縦方向長さのみが照射回数ごとに拡大されて示されており、半導体デバイスを保持するステージがレーザー光に対して矢印 G 方向に相対的に移動することが示されている。図 15 (a) 中の第一のレーザー光 151 は少なくとも第二のレーザー光 152 が照射される領域を含んでそれ以上の広さで照射されればよく、図 15 (b) においては第一のレーザー光の図示が省略されている。領域 153 は最初に第二のレーザー光が照射された領域であり、第一のレーザー光は一回照射されている。その後ステージが移動し、結晶長より短い距離 J だけ離れた位置で次のレーザー照射が行われ、領域 154 では第一のレーザーが二回照射される。ステージ走査の速度および第一と第二のレーザー照射のタイミングは一定であるので、照射領域は毎回同じ距離 J で送られていく。しかし領域 153、154、155、156 において第一のレーザー光が照射される回数が異なるので基板温度が異なり、最初の数ショットまでの各ショットにおける結晶成長の長さが短くなる。最初の数ショット分までの各ショットにおける結晶成長の長に比べて移動距離 J の方が長い場合には、結晶成長を連続的についでいけない可能性があり、その場合には最初の数ショット分の領域が利用できなくなる。これを防ぐために距離 J を短くすることが考えられるが、ステージが連続的に走査して結晶化が進むので、距離 J の短縮化はスループットの低下につながり、生産性が悪くなるという課題が生じる。したがって、走査速度は一定のままでこの課題を解決することが望まれる。

【0048】

そこで、実施例 1 および 2 の場合と同様に、本実施例 3 においても全ての照射サイクルで基板が同じ温度で保たれるように、変調しやすいレーザーエネルギーを図 9 (a) (b) または図 1 に示されているように変更する。そうすることによって、スループットの低下なく確実に各ショット間で結晶成長をつないでいくことができ、半導体膜や基板にダメージを与えることなく半導体膜の所望の領域を結晶化することができる。

【0049】

なお、第二のレーザーとして固体レーザーを用いた場合、蓄熱の影響も無視できない。固体

10

20

30

40

50

レーザはエキシマレーザに比べて波長が長く、半導体膜における吸収長が長い。たとえばシリコン膜における吸収長は波長248nmの光で5.5nmであるのに対して、波長532nmの光では940nmとなり、より深くまで伝熱することになる。また、固体レーザは繰り返し周波数を大きくすることができるので生産性を上げるために高速処理することができるが、固体レーザとアシストレーザの両方の蓄熱を考慮する必要がある。すなわち、重複してレーザ照射されることによる蓄熱の影響だけでなく、それまでの照射履歴による蓄熱の効果を加味して、全ての照射サイクルで基板および半導体膜の温度が同じに保たれるようにレーザエネルギーを徐々に減少させてその後は一定にする。何ショット目まで第一または第二のレーザエネルギーを変化させる必要があるかは、第一と第二のレーザ照射領域の位置と面積およびそれぞれのレーザエネルギーや用いられる半導体デバイスの構造によって決められる。

【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明によれば、2種類のレーザを用いて基板温度を制御することによって、従来のレーザアニール法に比べて大きな結晶粒の多結晶半導体膜を得ることができ、半導体膜内の結晶粒長さのばらつきを小さくして所望の領域全体を効率よく結晶化させることができる。そして、そのように結晶化された半導体膜は、たとえばキャリア移動度の高いTFTなどの作製に好ましく用いられ得るものである。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】半導体膜の所定の相対的走査速度において、第一と第二のレーザ光の繰り返し照射中のレーザエネルギーの調節を示す模式的グラフである。

【図2】本発明の対象となる半導体デバイスの概略断面図である。

【図3】半導体膜中の縦方向（膜厚方向）の結晶成長を説明するための模式図である。

【図4】本発明の半導体デバイスの製造方法に用い得るレーザ照射装置の一例を示す模式的ブロック図である。

【図5】本発明における第一と第二レーザ光の照射タイミングを示す模式的グラフである。

【図6】半導体膜温度と縦方向結晶長との関係を示すグラフである。

【図7】本発明における半導体膜表面のレーザ照射領域と繰り返し照射過程における走査を示す模式的平面図である。

【図8】絶縁体基板に吸収される第一のレーザの照射タイミングと半導体膜温度との関係を示す模式的グラフである。

【図9】第一と第二のレーザ光の繰り返し照射過程におけるレーザエネルギーの調節を示す模式的グラフである。

【図10】半導体膜中の横方向結晶成長を説明するための模式図である。

【図11】横方向成長した結晶組織を示す模式的平面図である。

【図12】基板温度と横方向結晶長との関係を示すグラフである。

【図13】SLS法において横方向結晶成長する様子を示す模式的平面図である。

【図14】本発明の半導体デバイスの製造方法に用い得るレーザ照射装置の他の例を示す模式的ブロック図である。

【図15】本発明において半導体膜表面のレーザ照射領域と照射繰り返し過程における走査を示す模式的平面図である。

【符号の説明】

【0052】

F レーザ光の照射方向、G 半導体デバイスを保持するステージがレーザ光に対して相対的に移動する方向、H 第二のレーザビームの断面の短辺、I 第二のレーザビームの断面の長辺、J 第二のレーザの照射端辺が相対的に移動する距離、21 基板、22 下地絶縁膜、23 非晶質半導体膜、24 レーザ光、25 半導体デバイス、41 コントローラ、42 第二のレーザ発振器、43a、43b 可変減衰器、44 フィー

10

20

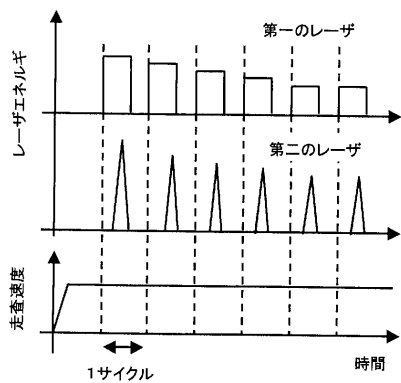
30

40

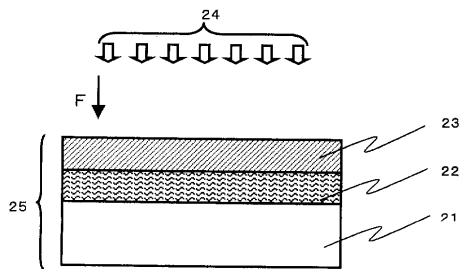
50

ルドレンズ、45 マスク、46 結像レンズ、47 サンプルステージ、48 第一の
 レーザ発振器、51 第一のレーザ光の強度波形、52 第二のレーザ光の強度波形、7
 1 1ショット目の第一のレーザ照射領域、72 1ショット目の第二のレーザ照射領域
 、73 2ショット目の第一のレーザ照射領域、74 2ショット目の第二のレーザ照射
 領域、75 3ショット目の第一のレーザ照射領域、76 3ショット目の第二のレーザ
 照射領域、81 a、81 b ビーム整形光学系、82 a、82 b 均一照明光学系、13
 1 第二のレーザ照射端辺が相対的に移動する距離、132 結晶長、151 第一のレ
 ーザ照射領域、152 第二のレーザ照射領域、153 1ショット目の第二のレーザ照
 射領域、154 2ショット目の第二のレーザ照射領域、155 3ショット目の第二の
 レーザ照射領域、156 4ショット目の第二のレーザ照射領域。

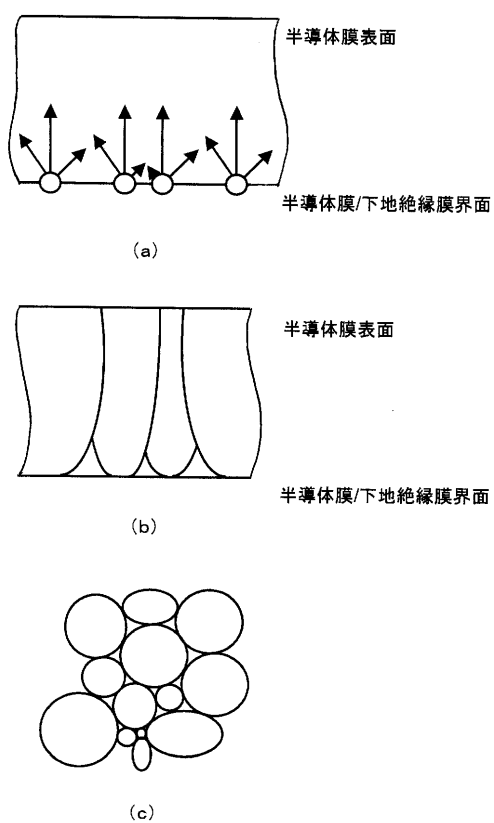
【図1】



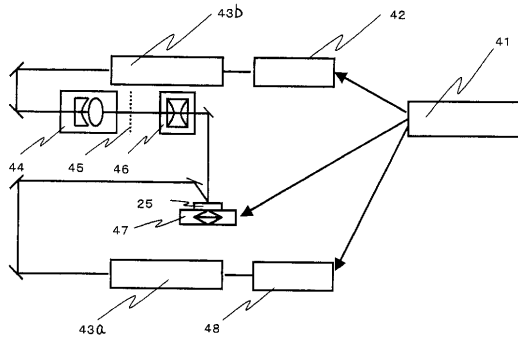
【図2】



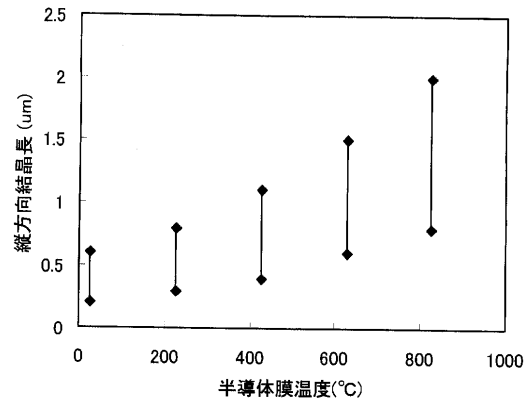
【図3】



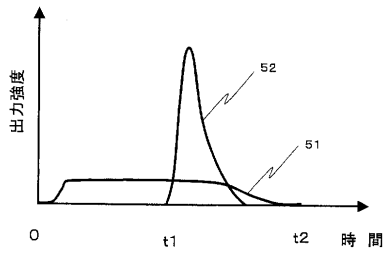
【図4】



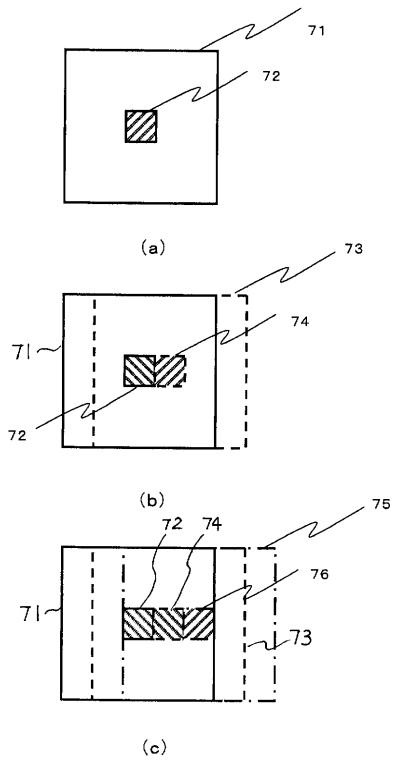
【図6】



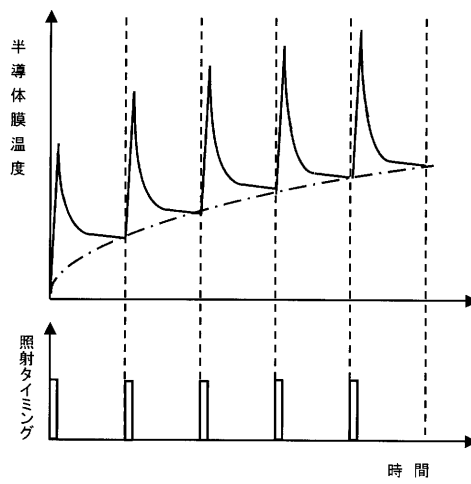
【図5】



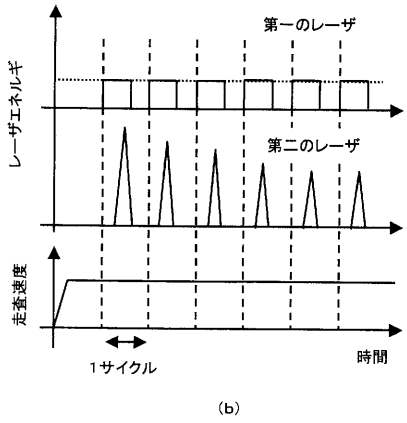
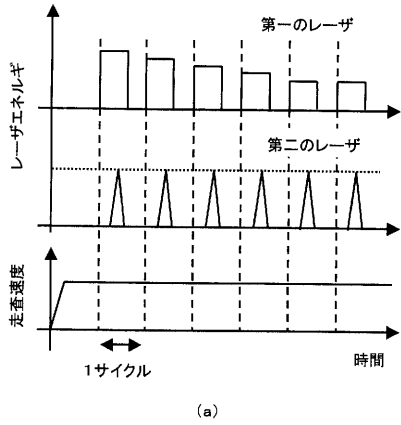
【図7】



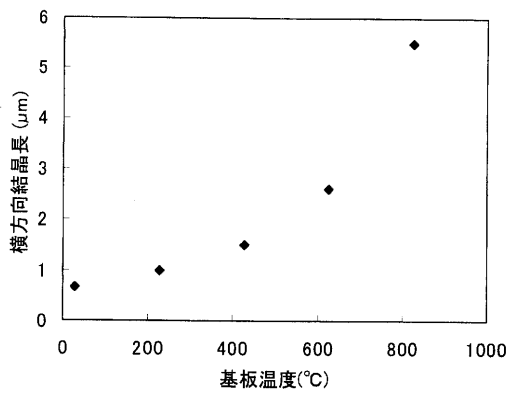
【図8】



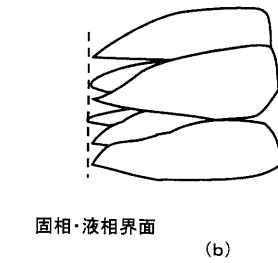
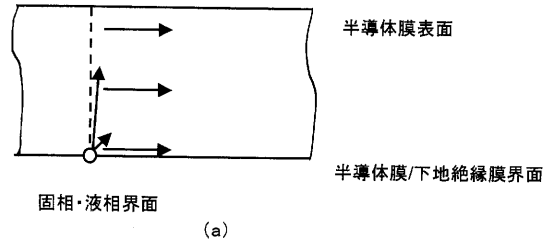
【 図 9 】



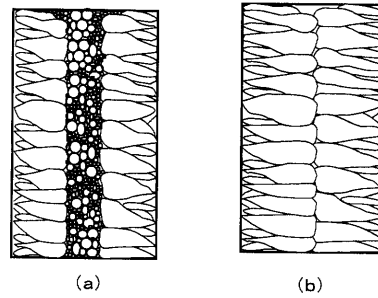
【 図 1 2 】



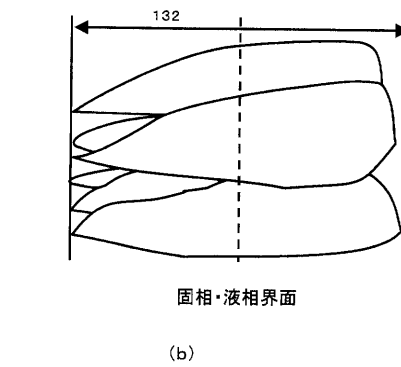
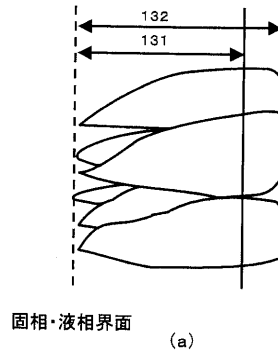
【 図 1 0 】



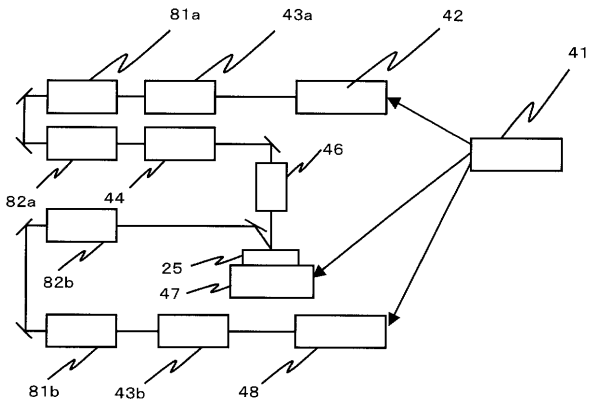
【 図 1 1 】



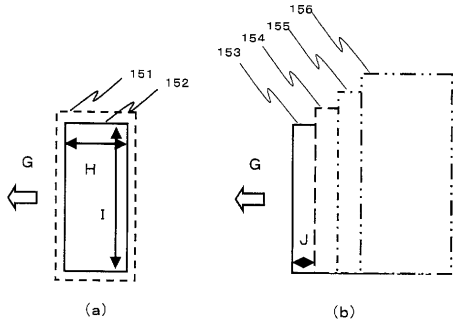
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 柏木 郁未

大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内

(72)発明者 中山 純一郎

大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内

(72)発明者 乾 哲也

大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内

Fターム(参考) 5F052 AA02 BA02 BA14 BB02 BB06 BB07 CA10 DA02 DA03 DB03
DB05 DB07 EA11 JA01
5F110 AA01 AA30 BB02 DD02 DD03 DD13 DD14 DD15 GG01 GG02
GG13 GG16 GG25 GG42 GG43 GG44 GG45 PP03 PP04 PP05
PP06 PP07 PP10 PP24