

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4059952号
(P4059952)

(45) 発行日 平成20年3月12日(2008.3.12)

(24) 登録日 平成19年12月28日(2007.12.28)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/268 (2006.01) H O 1 L 21/268 J

請求項の数 6 (全 21 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平9-94605 (22) 出願日 平成9年3月27日(1997.3.27) (65) 公開番号 特開平10-270379 (43) 公開日 平成10年10月9日(1998.10.9) 審査請求日 平成16年2月25日(2004.2.25)</p>	<p>(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 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</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザー光照射方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザービームを、平行四辺形状のシリンドリカルレンズを有するビームホモジェナイザーを含む光学系によりレーザービームのエネルギー分布を均質化しつつ線状レーザービームに加工し、

該線状レーザービームを、該ビームの線方向と直交しかつ該線状レーザービームが形成する面を含む方向より該平面内で角度 y だけずれた方向に走査させながら被照射基板に対して照射するレーザー光照射方法であって、

前記角度 y は $|\tan y| < 0.1$ の範囲であることを特徴とするレーザー光照射方法。

【請求項2】

レーザービームを、平行四辺形状のシリンドリカルレンズを有するビームホモジェナイザーを含む光学系によりレーザービームのエネルギー分布を均質化しつつ線状レーザービームに加工し、

該線状レーザービームを、被照射基板に対して走査させながら照射するレーザー光照射方法であって、

該線状レーザービームの走査方向と該線状レーザービームの幅方向とのなす角度は y であり、

前記角度 y は $|\tan y| < 0.1$ の範囲であることを特徴とするレーザー光照射方法。

【請求項 3】

レーザービームを、平行四辺形状のシリンドリカルレンズを有するビームホモジェナイザーを含む光学系及びレーザー光遮光板によりレーザービームのエネルギー分布を均質化しつつ線状レーザービームに加工し、

該線状レーザービームを、被照射基板に対して走査させながら照射するレーザー光照射方法であって、

該線状レーザービームの走査方向と該線状レーザービームの幅方向とのなす角度は y であり、

前記角度 y は $|\tan y| < 0.1$ の範囲であることを特徴とするレーザー光照射方法。

10

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項において、

前記平行四辺形は長方形でないことを特徴とするレーザー光照射方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項において、

前記平行四辺形の内角の 1 つは 89 度から 30 度の範囲であることを特徴とするレーザー光照射方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項において、

前記平行四辺形の内角の 1 つは 87 度から 45 度の範囲であることを特徴とするレーザー光照射方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

【0002】

本明細書で開示する発明は、レーザー光の照射を行う技術に関する。例えば、レーザー光の照射による半導体膜のアニール等を行う技術に関する。

【0003】

【従来の技術】

近年、ガラス等の絶縁基板上に形成された非晶質半導体膜や結晶性半導体膜（単結晶でない、多結晶、微結晶等の結晶性を有する半導体膜）、すなわち、非単結晶珪素膜に対し、レーザーアニールを施して、結晶化させたり、結晶性を向上させる技術が、広く研究されている。上記半導体膜には、珪素膜がよく用いられる。ガラス基板は、従来よく使用されてきた石英基板と比較し、安価で加工性に富んでおり、大面積基板を容易に作成できる利点を持っている。これが上記研究が行われる理由である。また、結晶化に好んでレーザーが使用されるのは、ガラス基板の融点が低いからである。レーザーは基板の温度をあまり変えずに非単結晶膜にのみ高いエネルギーを与えることができる。

30

【0004】

レーザーアニールを施して形成された結晶性珪素膜は、高い移動度を有するため、この結晶性珪素膜を用いて薄膜トランジスタ（TFT）を形成し、例えば、一枚のガラス基板上に、画素駆動用と駆動回路用の TFT を作製する、モノリシック型の液晶電気光学装置等に盛んに利用されている。一般に結晶性珪素膜は多くの結晶粒からできているため、多結晶珪素膜、あるいは多結晶半導体膜と呼ばれる。

40

【0005】

また、出力の大きい、エキシマレーザー等のパルスレーザービームを、被照射面において、数 cm 角の四角いスポットや、数ミリ幅 × 数 10 cm の線状となるように光学系にて加工し、レーザービームを走査させて（レーザービームの照射位置を被照射面に対し相対的に移動させて）、レーザーアニールを行う方法が、量産性が良く、工業的に優れているため、好んで使用される。

【0006】

50

特に、線状レーザービームを用いると、前後左右の走査が必要なスポット状のレーザービームを用いた場合とは異なり、線状レーザーの線方向に直角な方向だけの走査で被照射面全体にレーザー照射を行うことができるため、高い量産性が得られる。線方向に直角な方向に走査するのは、それが最も効率のよい走査方向であるからである。この高い量産性により、現在レーザーアニールには線状レーザービームを使用することが主流になりつつある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

上記線状に加工されたパルスレーザービームを走査させて、非単結晶半導体膜に対してレーザーアニールを施すに際し、いくつかの問題が生じている。その中でも特に深刻な問題の1つはレーザーアニールが膜面全体に様に為されないことであつた。線状レーザーが使われ始めた頃は、ビームとビームの重なり部分で縞ができてしまう現象が目立ち、これらの縞の一本一本で膜の半導体特性が著しく異なっていた。(図1a参照。)

10

【0008】

例えばこの縞状の膜を使用して液晶ディスプレイを作成した場合、この縞が画面にそのまま出てしまう不都合が生じた。この問題は、レーザーの照射対象である非単結晶半導体膜の改良や、線状レーザーの走査ピッチ(隣り合う線状レーザービームの間隔。)を細かくすることで、改善されつつある。本発明人の実験によると、走査のピッチは線状レーザービームのビーム巾の10分の1前後が適当であつた。

【0009】

上記の縞模様が目立たなくなってくると、今度はビーム自身のエネルギー分布の不均一が目立つようになってきた。一般に線状レーザービームを形成する場合、元が長方形のビームを適当なレンズ群に通して線状に加工する。前記長方形のビームはアスペクト比が2から5程度であるが、例えば、図2、に示したレンズ群(これをビームホモジェナイザーと呼ぶ。)により、アスペクト比100以上の線状ビームに変形される。その際、エネルギーのビーム内分布も同時に均質化されるように、上記レンズ群は設計されている。エネルギー分布を一様化する方法は、元の長方形のビームを分割後、各々拡大し重ね合わせて均質化するものである。

20

【0010】

このような方法で分割し再構成されたビームは、一見、分割が細かければ細かいほどエネルギーの分布が均質になるように思える。しかしながら、実際にこのビームを半導体膜に照射すると分割の細かさにかかわらず、図1b、に見られるような縞模様が膜にできてしまった。この縞模様は線状レーザービームの長手方向に直交する様に無数に形成された。このような縞模様の形成は、元の長方形ビームのエネルギー分布が縞状であることに起因するか、レンズ群に起因するかのいずれかである。

30

【0011】

本発明人は上記いずれに縞形成の原因があるのか、突き止めるべく簡単な実験を行った。本実験は該レンズ群に長方形のレーザービームが入射する前に該レーザービームを回転させることにより上記縦縞がどう変化するかを調べるものである。結果は全く変化しなかった。よって、本縞模様の形成に関与しているものは元の長方形ビームではなく、レンズ群であることが判明した。本レンズ群は単一波長の位相の揃ったビーム(レーザーは位相を揃えて強度を得るものであるから、レーザー光の位相は揃っている。)を分割再結合させることにより均質化を図るものであるから、該縞は光の干渉縞であると説明できる。

40

【0012】

光干渉は、位相の揃った同一波長の光が光路差をもって重なりあつた場合の位相のずれにより、光を強めあつたり、弱めあつたりする現象である。図3に5つのスリット301を等間隔に開けた場合の干渉縞の様子を光の強度Iを使って示した。

【0013】

5つのスリット301が等間隔で並んでいる場合、該スリット群の中央Aに干渉のピークがきて、そのピークを中心にして干渉縞が形成される。これを図4に示したシリンドリカ

50

ルレンズ群 4 0 1 とシリンドリカルレンズ 4 0 2 とに当てはめて考える (図 4 は図 2 のシリンドリカルレンズ群 2 0 3 とシリンドリカルレンズ 2 0 5 に対応。) と線状ビームの中央 A は、上記スリット群の中央の部分 A に対応し、ここに干渉のピークができる。該シリンドリカルレンズ群 4 0 1 によるビームの分割数が、スリットの数に対応している。

【 0 0 1 4 】

それぞれの図で、点 A を中心として干渉の強弱が周期的に形成され、図の点 B, C に到る。実際のレーザーによる干渉縞はこのようにはっきりとした強弱を示さないが、これは半導体膜中で熱伝導によるエネルギーの分散が起こっているためと推測される。

【 0 0 1 5 】

ところで、図 2 において、シリンドリカルレンズ群 2 0 2 とシリンドリカルレンズ 2 0 4 との組合せは、シリンドリカルレンズ群 2 0 3 とシリンドリカルレンズ 2 0 5 との組合せと全く同様の作用をレーザービームに与えるものであるから、線状レーザービーム内のビーム巾方向にも同様の光干渉が起きていることがわかる。

【 0 0 1 6 】

以上の考察から、図 6 において、図 2 のような光学系から形成される線状レーザービーム 6 0 1 は、そのビーム内に、格子状に干渉のピーク 6 0 2 (丸印で表記) を分布させることが分かった。このことは、図 3 の光干渉を 2 次元に拡張して考えると容易に理解できる。干渉のピークの間隔は、一様とはならない。なぜならば、該線状ビームは球面波を線状に合成しているからである。(球面波を直線で切ると、同位相同士の間隔は一定でないの

【 0 0 1 7 】

もし、干渉のピーク間隔を一定にしたいならば、平面波を線状に合成すればよい。(平面波を斜めに直線で切ると、同位相同士の間隔は一定となるので。) このような光波を形成する光学系を図 5 に示す。

【 0 0 1 8 】

この光学系の図 4 と比較して異なる点は、ビーム入射側のシリンドリカルレンズ群 5 0 1 が分割したレーザービームが、後続のシリンドリカルレンズ 5 0 2 により平行光線に加工されることである。このような光学系は図 4 の前方のシリンドリカルレンズ群 4 0 1 と後方のシリンドリカルレンズ 4 0 2 との間の距離を適当に選ぶことにより簡単に得られる。

【 0 0 1 9 】

この様にすれば、シリンドリカルレンズ群 5 0 1 で分割されたどのビームもシリンドリカルレンズ 5 0 2 により平面波に加工される。本光学系により加工されたビームを使用すると該縦縞の間隔は一定となった。

【 0 0 2 0 】

上記で説明した通り、線状ビームはそのビーム内に格子状に干渉のピークを分布させる。よって、その格子に沿って線状レーザービームを重ねつつ走査させる (本走査方向は線状レーザービームの線方向と直交する。) と、ビーム内の干渉の強度の強いもしくは弱い光が、繰り返し被照射物の同一箇所に照射されてしまう。その結果、ビームの走査方向に沿って、強い光による縞もしくは弱い光による縞が形成される。

【 0 0 2 1 】

上述の縞模様は、線状レーザーの線方向に直角な方向に分布する光干渉のピークが線状レーザーをビーム巾より十分細かいピッチで重ね合わせるにより強調されることができるものである。線状レーザーに垂直に交差する縞が形成される様子は図 7 に示した。線状レーザービーム 7 0 1 はその線方向に光干渉に起因する周期的エネルギーの強弱が見られる。(すでに述べたように線状レーザービームは、その巾方向にも光干渉による周期的エネルギーの強弱が見られるが、本発明にあまり影響しない。) これらを図 7 に示すように重ね合わせると縞が強調されてしまう。

【 0 0 2 2 】

そこで該縞模様が強調されないように、線状レーザービームを図 8 のように斜めに重ね合わせると大変効果的であった。

10

20

30

40

50

【0023】

このように照射すると干渉のピーク部分が同じ場所に何度も当たらないで、基板全体に様に分布させることができるからである。しかしながら、図8のような処理方法では、レーザービームの長さを最大限に利用できない。以上の様な考察から、本発明人は以下の結論に達した。

【0024】

シリンダリカルレンズ群203の形状を図11、に示した平行四辺形状のものに変えることにより、線状レーザービーム内に形成される干渉のピークの分布(図6参照。)を、図12、のような分布に変える。図11、に示したレンズ群の1つ1つは、放物面と直線とで形成されるレンズの形(あるいは或特定の波長をもつ2次元空間の平行光線を一点に集めることの出来るレンズの断面形状)1101を斜めに引き延ばした物である。

10

【0025】

図形1101と平行四辺形1102とは直交している。図12、の様なエネルギー分布を持つ線状レーザービーム1201を、線状ビームの線方向に直角な方向(処理効率が最大の方向)に重ね合わせると、図13、の様に重なり合うので、干渉のピークが何度も重なり合うことがない。よって、線状ビーム内の光干渉のピークが半導体膜で強調されることがなく、縞模様がほとんど見えなくなる。本方法の利点は、図8の方法と比較して、線状レーザーの処理効率を最大にできることにある。

【0026】

図11、に示した様な光学系を用いると、図12の様な光干渉の分布が得られることは、平行四辺形のユニットを持つ格子状のピンホール1401が形成する光干渉の様子1402をレーザービームに当てはめて考えれば容易に理解できる。

20

【0027】

このモデルを基礎に考えると、様々な光干渉の分布を持つレーザービームを作ることができる。例えば、シリンダリカルレンズ群202を、図11、に示した様なレンズ群に変更すると図15、に示すような光干渉の分布が得られる。このような光干渉分布は、本発明には有効でない。なぜならば、光干渉のピークが線状レーザービームの線方向に直角な方向に並んでいるからである。

【0028】

また、図形1101と平行四辺形1102とを直交させないで平行四辺形状レンズを作製しても線状レーザービームを形成することが可能であるが、この場合干渉のピークの配置の規則性が本発明にあまり適さないものとなる。しかしながら、従来のレンズ群を使用するよりは、形成される縞の数ははるかに少ないものとなる。

30

【0029】

図11、に示した平行四辺形状のシリンダリカルレンズ群の側面を形成する平行四辺形の内角の角度は、線状レーザービームの線方向に分布する干渉のピークの間隔と、ビーム幅とにより決定される。斜めにする角度の鋭角の方の値は、89度から30度程度でよかった。好ましくは、87度から45度程度が適当であった。

【0030】

上記角度範囲は、基板のある一点に注目した場合、干渉のピークにあたるビームが1度だけ照射されるもしくは1度も照射されないような角度に設定されたものである。なお、上記の干渉のピークにあたるビームが一度だけ照射される点は基板面内のできるだけ様に分布させた方がよい。

40

【0031】

図5に示した平面波を作るレンズ配置は図11の光学系にも適用できるので、図5に準じたレンズ配置を採ることは、一様性の向上に寄与する。干渉のピークの間隔が一定となるからである。

【0032】

具体的には、これら干渉のピークの間隔が0.5 mm程度で一様に分布し、ビーム幅が0.4 mmの場合、 $\tan X = 0.8$ で定義される角度Xを上記角度に決定すればよい。上記のものより

50

ビーム幅の広い長方形のビームを上記線状ビームと同様の手段により形成し、レーザーアニールに使用する場合は、ビーム幅が線状のものと比較し広いので、角度Xを小さくできる。具体的には、ビーム幅が5 mm程度で干渉のピークの間隔が0.5 mm程度の場合、 $\tan X=0.1$ で定義される角度Xが適当であった。

【0033】

上記のような理由で決定される角度Xは、完全に理想的なビームが形成された場合に決定されるもので、実際には光学系を構成するレンズ群の配置の微妙なズレや、レンズ自体の精度、レーザー光の波長等々により若干その最適値は前後する。

【0034】

しかしながら、該角度Xは調整が効かないので、図8のように走査方向を調整することにより、より縞消しの効果が上がる。ただしこの場合の走査角度の変更は、図8の角度と比較しほんの僅かであり。具体的には、線状レーザーの走査方向と線状レーザービームの幅方向とのなす角度 y を、 $|\tan y| < 0.1$ の範囲で変化させれば、より縞消しの効果が上がる角度が見つかる。

10

【0035】

上記の理由で決定された角度は干渉のピークが基板全体に様に分散化される目的で決定されたものであるが、実際に基板を照射すると、僅かな角度(1度程度)から効果があった。これは、該シリンダカルレンズの角度Xを少し直角からずらすだけで、基板の或る一点に干渉のピークが何度も当たることを防ぐことができるからである。しかしながら、やはり、干渉のピークは基板全体に様に当たる方がよりレーザーアニール効果の基板面内均質性がある。

20

【0036】

上記何れのレーザーアニールに対して、シリンダカルレンズ群202とシリンダカルレンズ204がなくてもその効果があった。(線状に収束させるレンズはシリンダカルレンズ207の1つだけでもよい。)前記シリンダカルレンズ群202はビームを線状レーザービームの幅方向に分割する役割を果たしており、シリンダカルレンズ204は該分割されたレーザー光を再結合させるものである。この両者は該線状レーザービームの幅方向の均質性をより良くするためのものであるから、これらがなくても効果があることは当然である。

【0037】

すなわち、本発明の第一は、上記説明の平行四辺形状のシリンダカルレンズ群と、シリンダカルレンズとから構成されるビームホモジェナイザーである。

30

【0038】

本発明第一記載の平行四辺形は長方形でない。

本発明第一記載の平行四辺形の内角の1つは89度から30度の範囲であると、線状レーザービームの加工に適したものとなる。

本発明第一記載の平行四辺形の内角の1つは87度から45度の範囲であると、より線状レーザービームの加工に適したものとなる。

【0039】

本発明の第二は、放物面と直線とで形成されるレンズの形(あるいは或特定の波長をもつ2次元空間の平行光線を一点に集めることの出来るレンズの形)を斜めに平行移動させることにより形成される平行四辺形状の形を持つシリンダカルレンズ群と、他のシリンダカルレンズとから構成されることを特徴とするビームホモジェナイザーである。

40

【0040】

本発明の第三は、放物面と直線とで形成されるレンズの形(あるいは或特定の波長をもつ2次元空間の平行光線を一点に集めることの出来るレンズの形)を斜めに平行移動させることにより形成される平行四辺形状の形を持ちかつ、前記レンズの形と前記平行四辺形とが直交しているシリンダカルレンズ群と、他のシリンダカルレンズとから構成されることを特徴とするビームホモジェナイザーである。

【0041】

50

本発明第三記載の平行四辺形は長方形でない。

本発明第三記載の平行四辺形の内角の1つは89度から30度の範囲であると、線状レーザービームの加工に適したものとなる。

本発明第三記載の平行四辺形の内角の1つは87度から45度の範囲であると、より線状レーザービームの加工に適したものとなる。

【0042】

他の発明の構成は、

所定の断面形状を所定の方向に平行移動させることにより形成される形状を有するシリンドリカルレンズを複数組み合わせたシリンドリカルレンズ群を有し、

前記シリンドリカルレンズ群は、レーザー光の光路に挿入されており、

前記断面形状は、或特定の波長をもつ2次元空間の平行光線を一点に集めることの出来る形状であり、

前記シリンドリカルレンズの焦点の集合で形成される線は、前記レーザー光の光路に垂直な平面に含まれ、かつ前記断面形状を含む平面に垂直でないことを特徴とする。

【0043】

上記構成において、或特定の波長をもつ2次元空間の平行光線を一点に集めることの出来る形状とは、光学的な形状として定義される。

【0044】

また、他の発明の構成は、

所定の断面形状を所定の方向に平行移動させることにより形成される形状を有する複数のシリンドリカルレンズを組み合わせたシリンドリカルレンズ群を有し、

前記シリンドリカルレンズ群は、レーザー光の光路に挿入されており、

前記断面形状は、或特定の波長をもつ2次元空間の平行光線を一点に集めることの出来る形状であり、

前記シリンドリカルレンズの焦点の集合で形成される線は、前記レーザー光の光路に垂直な平面に含まれ、かつ前記断面形状を含む平面に垂直でなく、

前記複数のシリンドリカルレンズの焦点の集合で形成される線のそれぞれは、互いに平行であることを特徴とする。

【0045】

上記2つの構成において、

シリンドリカルレンズの焦点の集合で形成される線と断面形状を含む面とがなす角度は89°~30°であることを特徴とする。また、シリンドリカルレンズの焦点の集合で形成される線と断面形状を含む面とがなす角度は87°~45°であることを特徴とする。

【0046】

他の発明は、レーザービームを発生させる手段と、

前記レーザービームを分割後拡大しつつ最終加工形状である線状レーザービームの線方向のエネルギー分布を均一化させる役割を果たす上記説明の平行四辺形状のシリンドリカルレンズ群とシリンドリカルレンズとから構成されるビームホモジェナイザーと、

該レーザービームを線状に収束させるシリンドリカルレンズと、

一方向に動く移動テーブルと、

から構成されることを特徴とするレーザーアニール装置である。

【0047】

他の発明は、

レーザービームを発生させる手段と、

前記レーザービームを分割後拡大しつつ最終加工形状である線状レーザービームの線方向のエネルギー分布を均一化させる役割を果たす上記説明の平行四辺形状のシリンドリカルレンズ群とシリンドリカルレンズとから構成されるビームホモジェナイザーと、

該レーザービームを分割後再結合させることにより線状に収束させる役割を果たすシリンドリカルレンズ群とシリンドリカルレンズとから構成されるビームホモジェナイザーと、

一方向に動く移動テーブルと、

一方向に動く移動テーブルと、

一方向に動く移動テーブルと、

10

20

30

40

50

から構成されることを特徴とするレーザーアニール装置である。

【0048】

他の発明は、

レーザービームを発生させる手段と、

前記レーザービームを分割後拡大しつつ最終加工形状である線状レーザービームの線方向のエネルギー分布を均一化させる役割を果たす上記説明の平行四辺形状のシリンドリカルレンズ群とシリンドリカルレンズとから構成されるビームホモジェナイザーと、

該レーザービームを線状に収束させるシリンドリカルレンズと、

移動方向が可変である移動テーブルと、

から構成されることを特徴とするレーザーアニール装置である。

10

【0049】

他の発明は、

レーザービームを発生させる手段と、

前記レーザービームを分割後拡大しつつ最終加工形状である線状レーザービームの線方向のエネルギー分布を均一化させる役割を果たす上記説明の平行四辺形状のシリンドリカルレンズ群とシリンドリカルレンズとから構成されるビームホモジェナイザーと、

該レーザービームを分割後再結合させることにより線状に収束させる役割を果たすシリンドリカルレンズ群とシリンドリカルレンズとから構成されるビームホモジェナイザーと、

移動方向が可変である移動テーブルと、

から構成されることを特徴とするレーザーアニール装置である。

20

【0050】

他の発明は、

半導体被膜が成膜された基板に対して線状のレーザー光を走査しつつ照射する工程で、レーザービームを、上記発明の平行四辺形状ビームホモジェナイザーを含む光学系によりレーザービームのエネルギー分布を均質化しつつ線状レーザービームに加工する工程と、該線状レーザービームを、該ビームの線方向と直交しかつ該線状レーザービームが形成する平面を含む方向に走査させながらレーザー処理する工程とを特徴とする

半導体デバイスのレーザー処理方法である。

【0051】

他の発明は、

半導体被膜が成膜された基板に対して線状のレーザー光を走査しつつ照射する工程で、レーザービームを、上記発明の平行四辺形状ビームホモジェナイザーを含む光学系によりレーザービームのエネルギー分布を均質化しつつ線状レーザービームに加工する工程と、

該線状レーザービームを、該ビームの線方向と直交しかつ該線状レーザービームが形成する面を含む方向より該平面内で角度 y だけずれた方向に走査させながらレーザー処理する工程とを特徴とし、前記角度 y は $|\tan y| < 0.1$ の範囲である、

半導体デバイスのレーザー処理方法である。

30

【0052】

【作用】

本発明は、非単結晶半導体膜にレーザー光線を分割後再構成し線状に加工されたレーザービームを使用してレーザーアニールを施し結晶化また結晶性を向上させるに際し、該線状レーザービーム内に形成される光干渉によるエネルギーの周期的不均一を、前記非単結晶半導体膜に反映させないものである。

40

【0053】

具体的には、例えば、図2に示されるレンズ群により形成される線状レーザービームのエネルギーは、その線方向にエネルギーの強弱の周期的繰り返しが見られる。

【0054】

このようなエネルギー分布を持つ線状レーザービームを、半導体膜に対し、線状レーザーの線方向に直角な方向に重ねながら走査し照射すると、線状レーザービーム内のエネルギーの分布が該膜内で強調されてしまう。

50

【0055】

本発明では、本発明の平行四辺形状のビームホモジェナイザーを使って線状レーザービーム内の干渉の分布を従来のものより変化させることにより、該ビーム内のエネルギーの最大の部分または最少の部分の繰り返し半導体膜の同じ部分に当たらないようにする。このようにすれば、線状レーザービーム内のエネルギー分布が半導体膜内で分散化されて、より一様にレーザーアニールを行うことができる。

【0056】

【実施例】

〔実施例1〕

実施例の作製工程で、まず、レーザー照射される膜の作製方法を示す。レーザー照射される膜は、本明細書中で3種類である。いずれの膜に対しても、本発明は効果的である。

10

【0057】

まず、3種類いずれの膜も、基板として、127mm角のコーニング1737上に、下地膜としての酸化珪素膜が2000、その上に非晶質珪素膜が、500、共にプラズマCVD法にて、連続的に成膜される。該膜を今後、出発膜と呼ぶ。

【0058】

(膜Aの作製手順)

出発膜を、450の熱浴に1時間さらす。本工程は非晶質珪素膜中の水素濃度を減らすための工程である。膜中の水素が多すぎると膜がレーザーエネルギーに対して耐えきれないので本工程をいれた。

20

【0059】

該膜内の水素の密度は10の20乗atoms/cm³オーダーが適当であった。この膜を非単結晶珪素膜Aと呼ぶ。

【0060】

(膜Bの作製手順)

10ppmの酢酸ニッケル水溶液が、スピンコート法により、出発膜上に塗布され、酢酸ニッケル層が形成される。酢酸ニッケル水溶液には、界面活性剤を添加するとより好ましい。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、以後の工程において問題はない。

【0061】

次に、上記のようにして各膜が積層された基板に、600で4時間の熱アニールが施され、非晶質珪素膜が結晶化し、非単結晶珪素膜である結晶性珪素膜Bが形成される。

30

【0062】

このとき、触媒元素であるニッケルが結晶成長の核の役割を果たし、結晶化を促進させる。600、4時間という低温、短時間で結晶化を行うことができるのは、ニッケルの機能による。詳細については、特開平6-244104号に記載されている。

【0063】

触媒元素の濃度は、 $1 \times 10^{15} \sim 10^{19}$ 原子/cm³であると好ましい。 1×10^{19} 原子/cm³以上の高濃度では、結晶性珪素膜に金属的性質が現れ、半導体としての特性が消滅する。本実施例において、結晶性珪素膜中の触媒元素の濃度は、膜中における最小値で、 $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18}$ 原子/cm³である。これらの値は、2次イオン質量分析法(SIMS)により分析、測定したものである。

40

【0064】

(膜Cの作製手順)

出発膜の上からさらに酸化珪素膜を700成膜する。成膜方法はプラズマCVD法を用いた。次に該酸化珪素膜の一部をフォトリソパターニング工程によって完全に開孔する。さらに、該開孔部に薄い酸化膜を形成するために酸素雰囲気中でUV光を5分間照射する。この薄い酸化膜は、後に導入するニッケル水溶液に対する上記開孔部の濡れ性改善のために形成されるものである。

【0065】

50

100ppmの酢酸ニッケル水溶液が、スピコート法により、該膜上に塗布され、酢酸ニッケルが上記開孔部分に入る。酢酸ニッケル水溶液には、界面活性剤を添加するとより好ましい。

【0066】

次に、600で8時間の熱アニールが施され、ニッケル導入部分から横方向に結晶が成長してゆく。このとき、ニッケルが果たす役割は膜Bと同様のものである。今回の条件では横成長量として40μm程度が得られた。このようにして非晶質珪素膜が結晶化し、非単結晶珪素膜である結晶性珪素膜Cが形成される。その後、結晶性珪素膜上の酸化珪素膜をバッファーフッ酸を用い剥離除去する。

【0067】

このようにして得られる非単結晶珪素膜A、B、Cを結晶化させる、あるいは、結晶性をさらに高めるために、エキシマレーザーを用いてレーザーアニールを行う。

【0068】

図9に、実施例におけるレーザー照射システムを示す。図9は、レーザー照射システムの概観である。

【0069】

図9において、レーザー照射システムは、レーザー発振装置201から照射され、光学系901により断面形状が線状に加工されたパルスレーザービームを、ミラー206で反射させ、シリンダカルレンズ207にて集光されつつ、被処理基板902に照射される機能を有している。光学系901、ミラー206、及びシリンダカルレンズ207は図2に示した。ただし、図2に示したレンズ群中、シリンダカルレンズ群203は、平行四辺形状シリンダカルレンズ群1101に置き換えられている。該平行四辺形状シリンダカルレンズ群1101の平行四辺形の内角の1つは80度とした。

【0070】

図2のような光学系を用いるのは、光学系に入射する前のビームのエネルギー不均質を分割後重ね合わせるにより平均化しつつ、ビーム形状を線状に加工することが出来るからである。本発明で使用する線状レーザービームはすべて図2記載の光学系にて線状に加工されている。図2と異なる光学系にて線状レーザービームを加工してもよいが、該線状ビーム内のエネルギー分布は図2記載のものに準じていなければならない。図2のようなタイプのレンズ群の役割を以下に記述する。

【0071】

シリンダカルレンズ群202、1101はビームを縦横に分割する役割を果たしている。該分割された光束をシリンダカルレンズ204、205が1領域、本発明では線状の形を成す領域に集める役割を果たしている。本実施例では、元のビームを横に7分割、縦に7分割しているため49分割されたビームを一つにすることにより、ビームのエネルギー分布を平均化している。ビームの縦横の長さの比はレンズ群の構造上、可変であるが、レンズの大きさ、焦点距離の組合せにより、造りやすいビーム形状は制限される。なお、本光学系においてビームの長辺の長さを変えることはできない。

【0072】

本実施例は、図4あるいは図5、何れの記載の配置のレンズ群を用いても効果があった。なお、シリンダカルレンズ群202、1101は凸レンズ群であるが、凹レンズ群もしくは、凹凸混合のレンズ群を用いても本発明の本質になんら影響しない。あるいは、凸レンズ群凹レンズ群ともに、レンズの大きさが異なっても良い。

【0073】

図11記載のシリンダカルレンズ群1101を、同一作用を持つ凹凸混合のレンズ群に置き換えると、例えば図22に示すものようになる。ただし、凹凸混合レンズ群に代表されるような、互いに合同でないレンズ群を使用する場合は、それらのレンズで加工される平行光線の、加工後の拡がりの角度が同じであるレンズ群で構成されなければならない。さもなければ、分割したビームが再結合されるとき、個々のビームが異なる大きさや形で重なり合い、ビームの輪郭が不明瞭となる。

10

20

30

40

50

【0074】

レーザー発振装置201は、ここでは、XeClエキシマレーザー（波長308nm）を発振するものを用いる。他に、KrFエキシマレーザー（波長248nm）等を用いてもよい。

【0075】

被処理基板902は、台903上に配置される。そして、台903は、移動機構1007によって、線状レーザービームの線方向に対して

【0076】

直角方向（線状レーザービームを含む平面を含む。）に真っ直ぐに移動され、被処理基板902上面に対しレーザービームを走査しながら照射することを可能とする。

10

【0077】

図10に示す装置の説明をする。ロード/アンロード室1005に、被処理基板902が多数枚、例えば20枚収納されたカセット1003が配置される。ロボットアーム1005により、カセット1003から一枚の基板がアライメント室に移動される。

【0078】

アライメント室1002には、被処理基板902とロボットアーム1004との位置関係を修正するための、アライメント機構が配置されている。アライメント室1002は、ロード/アンロード室1005と接続されている。

【0079】

基板は、ロボットアーム1004によって基板搬送室1001に運ばれ、さらにロボットアーム1004によって、レーザー照射室1006に移送される。

20

図9において、被処理基板902上に照射される線状レーザービームは、幅0.4mm×長さ135mmとする。

【0080】

本ビームは図5記載のレンズ配置で形成されている。被照射面におけるレーザービームのエネルギー密度は、100mJ/cm²～500mJ/cm²の範囲で、例えば300mJ/cm²とする。台903を1.2mm/sで一方向に移動させながら行うことで、線状レーザービームを走査させる。レーザーの発振周波数は30Hzとし、被照射物の一点に注目すると、10ショットのレーザービームが照射される。前記ショット数は5ショットから50ショットの範囲で適当に選ぶ。

30

【0081】

レーザー照射終了後、被処理基板902はロボットアーム1004によって基板搬送室1002に引き戻される。被処理基板902は、ロボットアーム1004によって、ロード/アンロード室1005に移送され、カセット1003に収納される。

【0082】

こうして、レーザーアニール工程が終了する。このようにして、上記工程を繰り返すことにより、多数の基板に対して、連続的に一枚ずつ処理できる。

【0083】

本実施例は線状レーザーを用いたが、線状から正形状にいたるまでいずれのビーム形状を本発明に使用しても本発明が特徴とする効果があった。

40

【0084】

〔実施例2〕

実施例1にて、縞模様が上手く消えない場合は、光学系の配置が適当でない為であるか、線状レーザービームの重ね合せの間隔が不適當か、あるいは平行四辺形状シリンドリカルレンズ群1101の角度Xが不適當であるかである。実際、光学系を設計する段階で、干渉のピーク配置を計算し、いちいちその条件に最適の角度を出しては、平行四辺形状シリンドリカルレンズ群はすべて、オーダーメイドで作成されなければならない。これでは、該レンズ群が非常に高価な物になってしまう。

【0085】

そこで、この欠点を、図8の様な走査方向の決定方法と、本発明の平行四辺形状シリンド

50

リカルレンズ群 1 1 0 1 を組み合わせることで補うこととする。

【 0 0 8 6 】

すなわち、シリンドリカルレンズ群 1 1 0 1 をふくむビームホモジェナイザーでできた干渉のピークの配置が図 1 7 A, B のようなものとなった場合、走査方向変更装置 9 0 4 により基板の走査方向を微調整し、図 1 8 A, B が示す走査方向を選択すれば、干渉のピークがより一様に基板に分散される。なお、図 1 7、1 8 は誇張して傾斜を表現している。

【 0 0 8 7 】

〔実施例 3〕

本実施例では図 1 6 に示した光学系を用いて、非単結晶珪素膜 A、B、C を結晶化させる、あるいは、結晶性をさらに高めるために、エキシマレーザーを用いてレーザーアニールを行う。

10

【 0 0 8 8 】

ここでシリンドリカルレンズ群 1 1 0 1 はビームを横に分割する役割を果たしている。この分割された光束をシリンドリカルレンズ 2 0 5 が 1 領域に集める役割を果たしている。

【 0 0 8 9 】

本実施例では、元のビームを横に 1 0 分割することでビームのエネルギー分布を平均化している。レーザービームを線状に集束させるレンズはシリンドリカルレンズ 2 0 7 である。理想的にはレーザー光を完全な線に集束させることができるレンズだが、ここでは、やや該シリンドリカルレンズ 2 0 7 の焦点を照射面からわずかにずらし、ビーム幅 0.3 m m のビームを作った。

20

【 0 0 9 0 】

本実施例では、干渉縞が図 1 9 のようにストライプ状に形成される。なぜならば、本実施例はビーム幅方向の分割を行っていないからである。このような干渉縞にたいしても、本発明である平行四辺形状シリンドリカルレンズ群が有効に作用することは言うまでもない。

【 0 0 9 1 】

このとき、レーザー遮光板 1 6 0 1 を用いて、線状ビームの走査方向側にある長辺を構成する輪郭の直線性を高めるとより一様にレーザーアニールを行うことができた。線状レーザービームの走査方向にある側のビームの長辺の直線性の方が、他の長辺の直線性よりも、レーザーアニールの一様性に寄与するところがあるかに大きいことが経験的にわかっている。レーザー遮光板は 1 枚で十分である。しかしながら、レーザー発振器から出されるレーザービームの形があまりにもいびつな形状をしている場合は、スリットを用いて、レーザービームを線状に整形しなければならない。

30

【 0 0 9 2 】

本実施例は、図 4 あるいは図 5、何れの記載の配置のレンズ群を用いても効果があった。なお、シリンドリカルレンズ群 2 0 2、1 1 0 1 は凸レンズ群であるが、凹レンズ群もしくは、凹凸混合のレンズ群を用いても本発明の本質になんら影響しない。詳細は実施例 1 にて記載した。

【 0 0 9 3 】

レーザー発振装置 2 0 1 は、ここでは、X e C l エキシマレーザー（波長 3 0 8 n m）を発振するものを用いる。他に、K r F エキシマレーザー（波長 2 4 8 n m）等を用いてもよい。

40

【 0 0 9 4 】

被処理基板 9 0 2 は、台 9 0 3 上に配置される。そして、台 9 0 3 は、移動機構 1 0 0 7 によって、線状レーザービームの線方向に対して直角方向（線状レーザービームを含む平面を含む。）に真っ直ぐに移動され、被処理基板 9 0 2 上面に対しレーザービームを走査しながら照射することを可能とする。

【 0 0 9 5 】

図 1 0 に示す装置の説明をする。ロード/アンロード室 1 0 0 5 に、被処理基板 9 0 2 が多数枚、例えば 2 0 枚収納されたカセット 1 0 0 3 が配置される。ロボットアーム 1 0 0

50

5により、カセット1003から一枚の基板がアライメント室に移動される。

【0096】

アライメント室1002には、被処理基板902とロボットアーム1004との位置関係を修正するための、アライメント機構が配置されている。アライメント室1002は、ロード/アンロード室1005と接続されている。

【0097】

基板は、ロボットアーム1004によって基板搬送室1001に運ばれ、さらにロボットアーム1004によって、レーザー照射室1006に移送される。

図9において、被処理基板902上に照射される線状レーザービームは、幅0.4mm×長さ135mmとする。本ビームは図5記載のレンズ配置で形成されている。

10

【0098】

被照射面におけるレーザービームのエネルギー密度は、 $100\text{ mJ/cm}^2 \sim 500\text{ mJ/cm}^2$ の範囲で、例えば 300 mJ/cm^2 とする。台903を 1.2 mm/s で一方向に移動させながら行うことで、線状レーザービームを走査させる。レーザーの発振周波数は 30 Hz とし、被照射物の一点に注目すると、10ショットのレーザービームが照射される。前記ショット数は5ショットから50ショットの範囲で適当に選ぶ。

【0099】

レーザー照射終了後、被処理基板902はロボットアーム1004によって基板搬送室1002に引き戻される。

20

【0100】

被処理基板902は、ロボットアーム1004によって、ロード/アンロード室1005に移送され、カセット1003に収納される。

【0101】

こうして、レーザーアニール工程が終了する。このようにして、上記工程を繰り返すことにより、多数の基板に対して、連続的に一枚ずつ処理できる。

【0102】

〔実施例4〕

実施例3にて、縞模様が上手く消えない場合は、光学系の配置が適当でない為であるか、線状レーザービームの重ね合せの間隔が不適當か、あるいは平行四辺形状シリンドリカルレンズ群1101の角度 X が不適當であるかである。実際、光学系を設計する段階で、干渉のピーク配置を計算し、いちいちその条件に最適の角度を出しては、平行四辺形状シリンドリカルレンズ群はすべて、オーダーメイドで作成されなければならない。これでは、該レンズ群が非常に高価な物になってしまう。

30

【0103】

そこで、この欠点を、図8の様な走査方向の決定方法と、本発明の平行四辺形状シリンドリカルレンズ群1101を組み合わせることで、おぎなうこととする。すなわち、シリンドリカルレンズ群1101をふくむビームホモジェナイザーでできた干渉のピークの配置が図20A,Bのようなものとなった場合、走査方向変更装置904により基板の走査方向を微調整し、図21A,Bが示す走査方向を選択すれば、干渉のピークがより一様に基板に分散される。なお、図20、21は誇張して傾斜を表現している。

40

【0104】

【発明の効果】

本明細書で開示する発明を利用することにより、分割再結合によりレーザービームを均質化したレーザービームによるレーザーアニールの効果の面内均質性を大幅に向上させることができる。

【0105】

本明細書で開示する発明は、レーザーアニール技術のみではなく、大面積へのレーザー照射が必要な技術に利用することができる。例えば、レーザー光を利用した露光技術等に利用することができる。

50

【図面の簡単な説明】

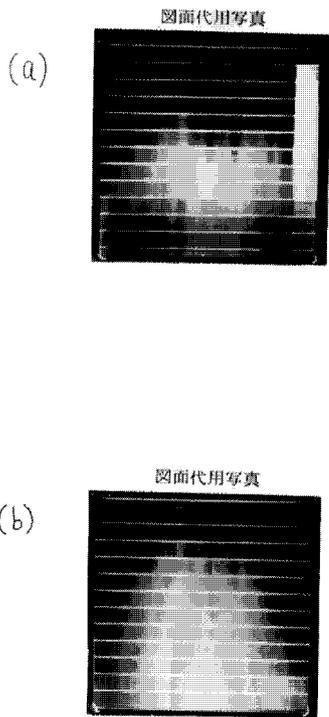
- 【図 1】 線状レーザーによりレーザー結晶化された珪素膜の写真。
- 【図 2】 実施例における線状レーザーを形成する光学系。
- 【図 3】 多数による光干渉の図解。
- 【図 4】 線状レーザーを形成する光学系により、ビームを分割、再結合させるときの光路。
- 【図 5】 線状レーザーを形成する光学系により、ビームを分割、再結合させるときの光路。
- 【図 6】 実施例におけるレーザー照射室を示す図。
- 【図 7】 光干渉を強調するレーザー照射の様子を示す図。 10
- 【図 8】 光干渉を目立たなくするレーザー照射の様子を示す図。
- 【図 9】 実施例におけるレーザー照射システムを示す図。
- 【図 10】 実施例におけるレーザーアニール装置の上面図。
- 【図 11】 平行四辺形状レンズ群の図。
- 【図 12】 平行四辺形状レンズ群を使った光学系により加工された線状レーザービーム内の光干渉の様子を示す図。
- 【図 13】 光干渉を目立たなくするレーザー照射の様子を示す図。
- 【図 14】 平行四辺形のユニットを持つ格子状のピンホールが形成する光干渉の様子を表す図。
- 【図 15】 平行四辺形状レンズ群を使った光学系により加工された線状レーザービーム内の光干渉の様子を示す図。 20
- 【図 16】 実施例におけるレーザー照射室を示す図。
- 【図 17】 平行四辺形状レンズ群を使った光学系により加工された線状レーザービーム内の光干渉の様子を示す図。
- 【図 18】 平行四辺形状レンズ群を使った光学系により加工された線状レーザービーム内の光干渉の様子によって変化する、最も光干渉を目立たなくするレーザービームの走査方向を示す図。
- 【図 19】 平行四辺形状レンズ群を使った光学系により加工された線状レーザービーム内の光干渉の様子を示す図。
- 【図 20】 平行四辺形状レンズ群を使った光学系により加工された線状レーザービーム内の光干渉の様子を示す図。 30
- 【図 21】 平行四辺形状レンズ群を使った光学系により加工された線状レーザービーム内の光干渉の様子によって変化する、最も光干渉を目立たなくするレーザービームの走査方向を示す図。
- 【図 22】 シリンドリカルレンズ群の形状を示す図。
- 【符号の説明】
- 201 レーザー発振装置
- 202 レーザー光分割のためのシリンドリカルレンズ群
- 203 レーザー光分割のためのシリンドリカルレンズ群
- 204 レーザー光、再結合のためのシリンドリカルレンズ 40
- 205 レーザー光、再結合のためのシリンドリカルレンズ
- 206 ミラー
- 207 線状ビームを集光するためのシリンドリカルレンズ
- 301 スリット
- 401 レーザー光分割のためのシリンドリカルレンズ群
- 402 レーザー光、再結合のためのシリンドリカルレンズ
- 501 レーザー光分割のためのシリンドリカルレンズ群
- 502 レーザー光、再結合のためのシリンドリカルレンズ
- 601 線状レーザービーム
- 602 干渉のピーク位置 50

- 7 0 1 線状レーザービーム
- 9 0 1 光学系
- 9 0 2 被処理基板
- 9 0 3 台
- 9 0 4 走査方向変更装置
- 1 0 0 1 基板搬送室
- 1 0 0 2 アライメント室
- 1 0 0 3 カセット
- 1 0 0 4 ロボットアーム
- 1 0 0 5 ロード/アンロード室
- 1 0 0 6 レーザー照射室
- 1 0 0 7 移動機構
- 1 1 0 1 放物面と直線とで形成される図形（あるいは平行光線を一点に集めることの出
来るレンズの断面形状）
- 1 1 0 2 平行四辺形
- 1 2 0 1 線状レーザービーム
- 1 4 0 1 平行四辺形のユニットを持つ格子状のピンホール
- 1 4 0 2 平行四辺形のユニットを持つ格子状のピンホールが形成する光干渉の様子 1 6
0 1 スリット
- 1 9 0 1 光干渉のピーク位置

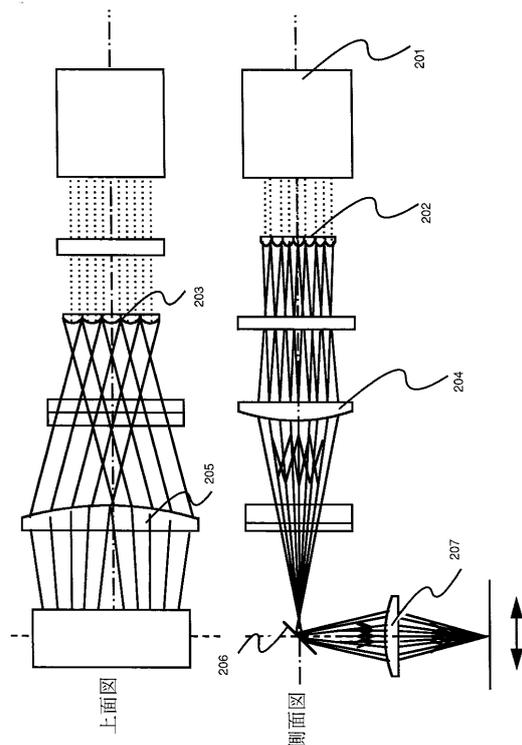
10

20

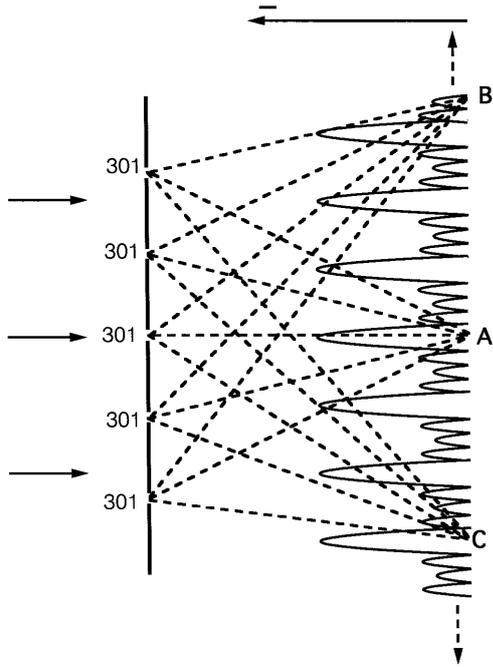
【図 1】



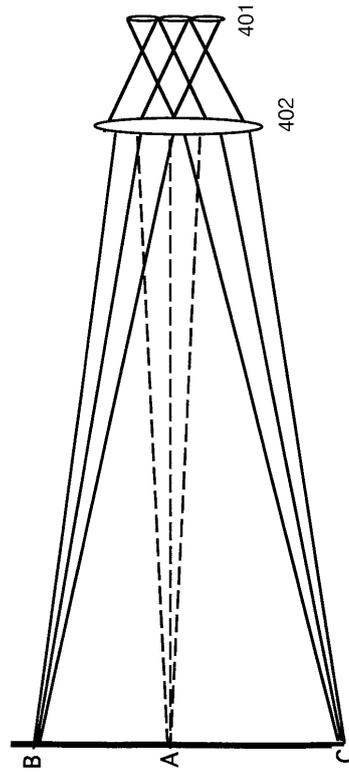
【図 2】



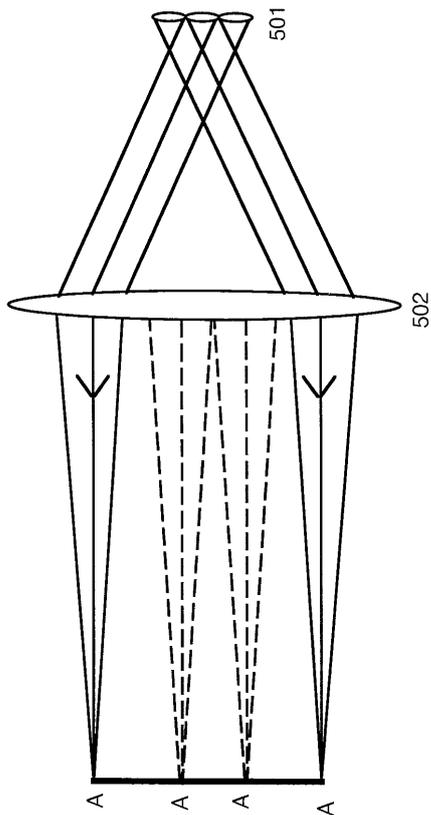
【 図 3 】



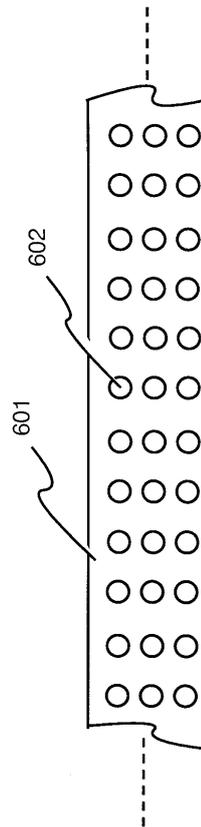
【 図 4 】



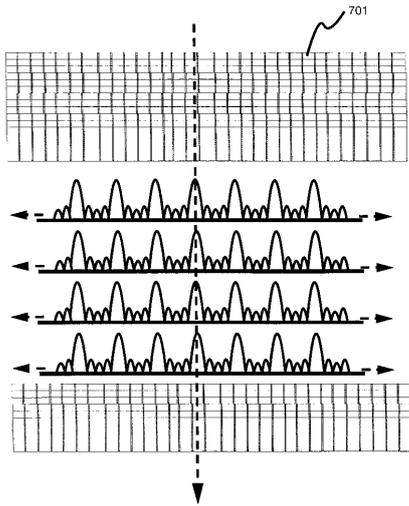
【 図 5 】



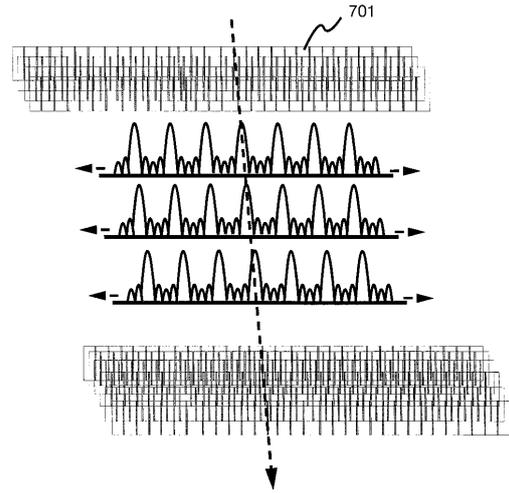
【 図 6 】



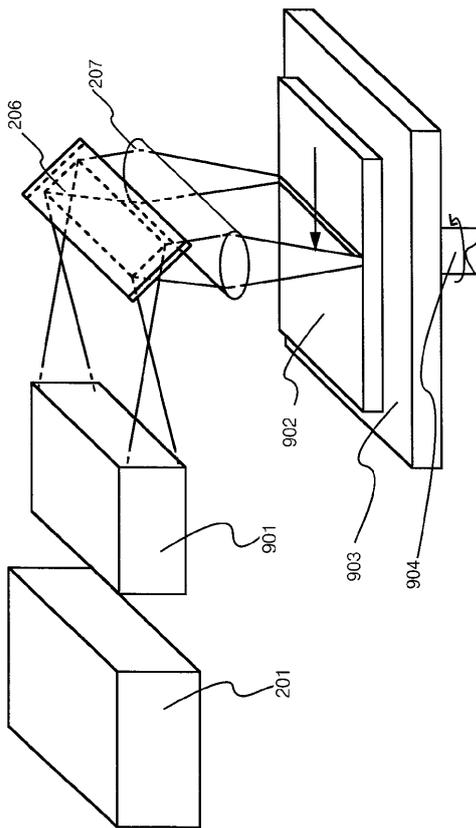
【 図 7 】



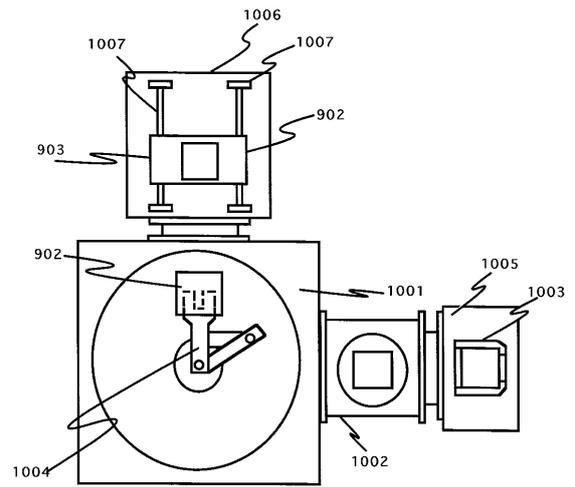
【 図 8 】



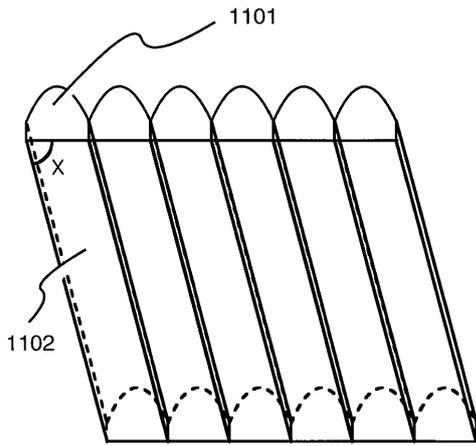
【 図 9 】



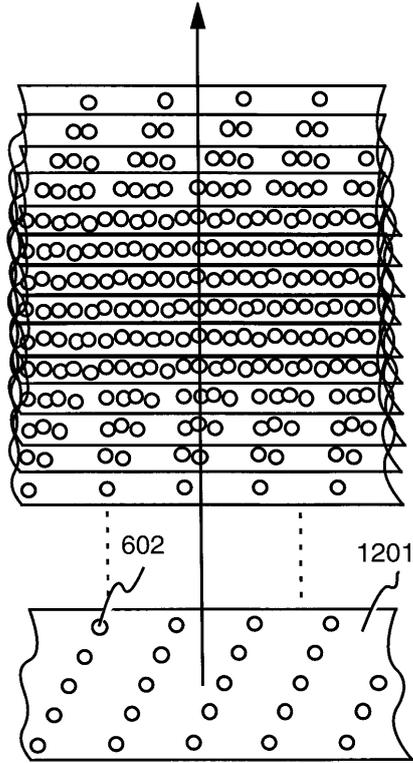
【 図 10 】



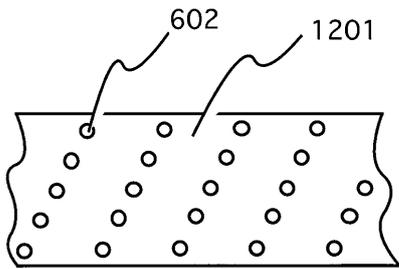
【 図 1 1 】



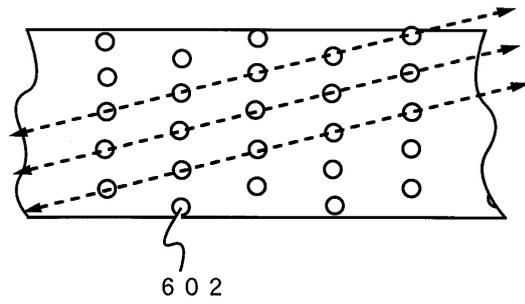
【 図 1 3 】



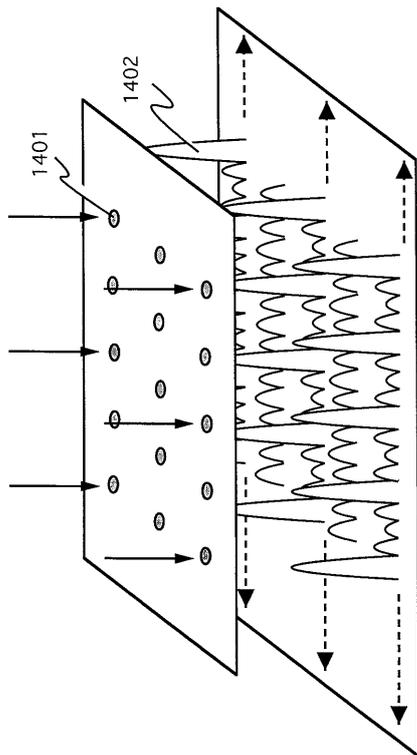
【 図 1 2 】



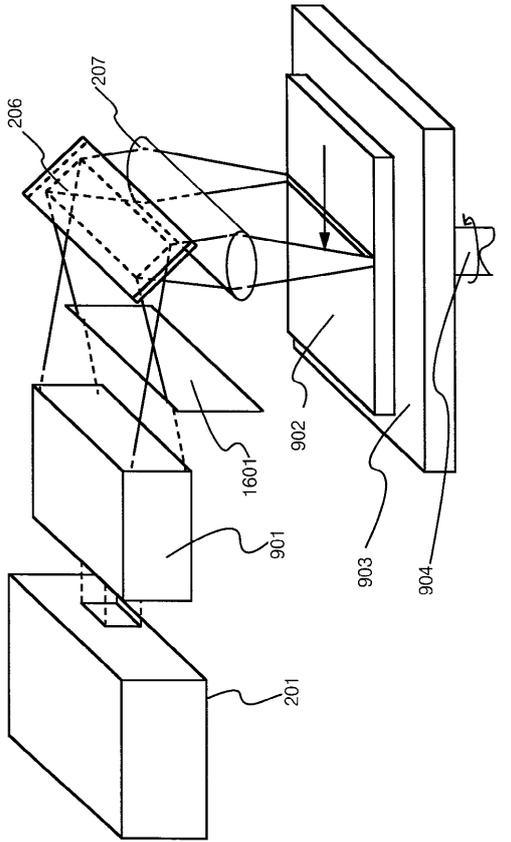
【 図 1 5 】



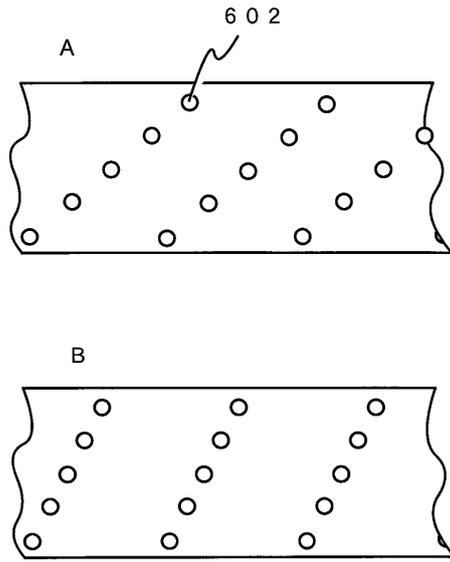
【 図 1 4 】



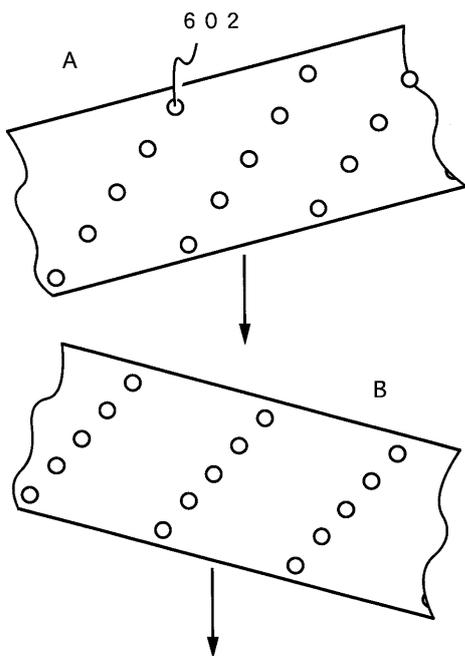
【図16】



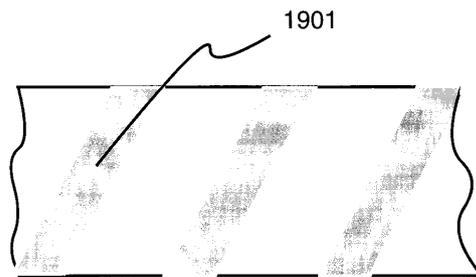
【図17】



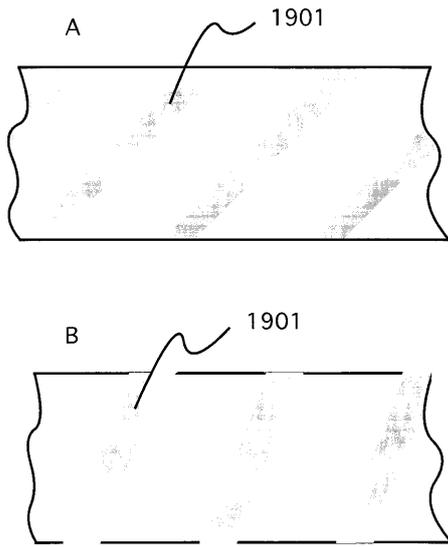
【図18】



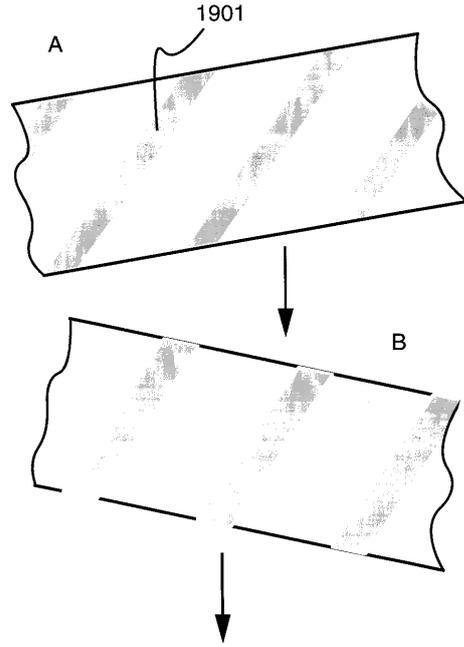
【図19】



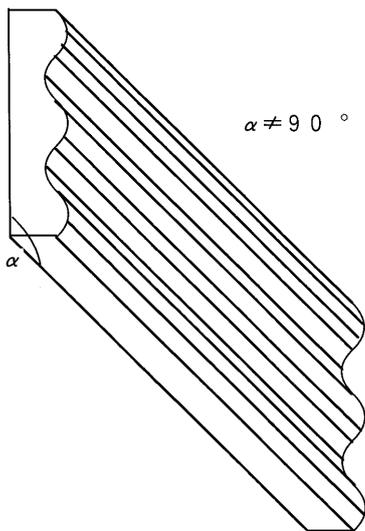
【図 20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2000-502190(JP,A)

特開平4-82213(JP,A)

特開平8-201846(JP,A)

特開平9-321310(JP,A)

特開平9-180997(JP,A)

特開平9-260681(JP,A)

特開平10-242073(JP,A)

特開平10-244392(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/06 - 26/073

H01L 21/20

H01L 21/268