

(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2005-294325

(P2005-294325A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int.Cl.⁷

H01L 21/304
B23K 26/00
B23K 26/04
// B23K 101:40

F I

H01L 21/304 611Z
B23K 26/00 N
B23K 26/00 32OE
B23K 26/04 C
B23K 101:40

テーマコード (参考)

4E068

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2004-103372 (P2004-103372)
(22) 出願日 平成16年3月31日 (2004.3.31)

(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
(74) 代理人 100085501
弁理士 佐野 静夫
(74) 代理人 100111811
弁理士 山田 茂樹
(72) 発明者 北條 義之
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内
(72) 発明者 南方 量二
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内

最終頁に続く

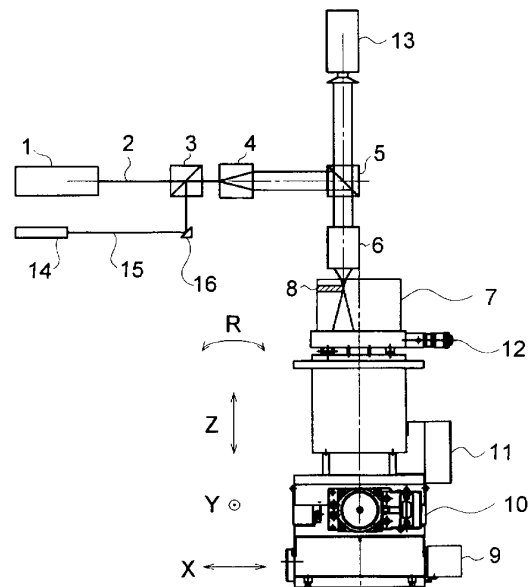
(54) 【発明の名称】 基板製造方法及び基板製造装置

(57) 【要約】

【課題】 切り屑なしに短時間で容易にインゴットから多数枚の薄い基板を剥離して得ることが可能な基板製造方法と、それに用いる基板製造装置を提供する。

【解決手段】 集光レンズ6でレーザー光2の集光点をインゴット7の内部に合わせ、そのレーザー光2でインゴット7を相対的に走査することにより、インゴット7の内部に多光子吸収による面状の加工領域8を形成する。そして、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離を段階的に大きくすることにより、インゴット7の内部に複数の面状の加工領域8を形成する。その加工領域8を剥離面とし、インゴット7の一部を基板として剥離する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

集光レンズでレーザー光の集光点をインゴットの内部に合わせ、そのレーザー光でインゴットを相対的に走査することにより、インゴットの内部に多光子吸収による面状の加工領域を形成し、その加工領域を剥離面としインゴットの一部を基板として剥離する基板製造方法であって、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を段階的に大きくすることにより、インゴットの内部に複数の前記面状の加工領域を形成することを特徴とする基板製造方法。

【請求項 2】

前記複数の面状の加工領域を形成した後、その加工領域での劈開又は加工領域の溶解により、前記基板の剥離を行うことを特徴とする請求項 1 記載の基板製造方法。 10

【請求項 3】

前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離が一定になるような調整手段を設置することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の基板製造方法。

【請求項 4】

前記調整手段は、前記集光レンズでレーザー光の集光点をインゴットの内部に合わせる前に、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離、又は前記インゴットの表面の少なくとも 3 点で形成される平面から前記集光レンズまでの距離が一定になるように、前記集光レンズに対するインゴットの表面の相対的な傾きを調整する手段であることを特徴とする請求項 3 記載の基板製造方法。 20

【請求項 5】

前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を段階的に大きくする毎にレーザー光のエネルギーを大きくするか、又はレーザー光のエネルギーを一定の大きさに保ちながら前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を段階的に大きくすることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の基板製造方法。

【請求項 6】

前記インゴットの厚さを以下の式 (i) で表される厚さ以下とすることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の基板製造方法；

$$Z_{\max} = WD \{ (n^2 - NA^2) / (1 - NA^2) \} \dots (i)$$

ただし、

Z_{\max} : インゴットの厚さ、

n : インゴットの屈折率、

WD : 集光レンズのワーキングディスタンス、

NA : 集光レンズの開口数、

である。 30

【請求項 7】

前記レーザー光がパルスレーザー光であり、そのパルス幅が $1 \mu s$ 以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の基板製造方法。

【請求項 8】

前記インゴットがシリコンから成り、前記レーザー光の波長が $800 nm$ 以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の基板製造方法。 40

【請求項 9】

レーザー光を発振するレーザー光発振装置と、前記レーザー光をインゴットに対して集光させる集光レンズと、前記レーザー光に対するインゴットの相対位置を変化させる第 1 移動手段と、前記集光レンズに対するインゴットの相対位置を変化させる第 2 移動手段と、を備え、前記集光レンズでインゴットの内部に集光点が合わされたレーザー光を前記第 1 移動手段でインゴットに対して相対的に走査させることにより、インゴットの内部に多光子吸収による面状の加工領域を形成し、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を前記第 2 移動手段で段階的に大きくすることにより、前記面状の加工領域をインゴットの内部に複数形成することを特徴とする基板製造装置。 50

【請求項 10】

前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離が一定になるような調整手段を更に備えたことを特徴とする請求項 9 記載の基板製造装置。

【請求項 11】

前記調整手段は、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離が段階的に大きくなる毎に、前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光のエネルギーが大きくなるか、又は前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離が段階的に大きくなっても、前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光のエネルギーが一定の大きさに保たれる手段であることを特徴とする請求項 10 記載の基板製造装置。

【請求項 12】

前記インゴットの厚さを以下の式 (i) で表される厚さ以下とすることを特徴とする請求項 9 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の基板製造装置；

$$Z_{max} = WD \{ (n^2 - NA^2) / (1 - NA^2) \} \dots (i)$$

ただし、

Z_{max} : インゴットの厚さ、

n : インゴットの屈折率、

WD : 集光レンズのワーキングディスタンス、

NA : 集光レンズの開口数、

である。

【請求項 13】

前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光が、パルス幅 $1 \mu s$ 以下のパルスレーザー光であることを特徴とする請求項 9 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の基板製造装置。

【請求項 14】

前記インゴットがシリコンから成り、前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光の波長が $800 nm$ 以上であることを特徴とする請求項 9 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の基板製造装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は基板製造方法及び基板製造装置に関するものであり、例えば、インゴットから非常に薄いガラス基板やシリコン基板を得るための基板製造方法及び基板製造装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

インゴットから基板を製造する方法の 1 つとして、半導体デバイス用ウエハの製造方法が知られている。その方法では、例えば Si (シリコン) 結晶又は $GaAs$ (ガリウムヒ素) 結晶から成る円柱状又は角柱状のインゴットを物理的に切断することによってウエハが作製される。インゴットの切断には、ダイヤモンドブレードソーやワイヤーソーを用いた切削加工が一般に採用されているが、ダイヤモンドブレードソーでは枚葉処理に時間がかかるため、現在では複数のワイヤーソーで複数のウエハを同時に作製する方法が主流になっている。しかしながらこれらの切削加工による方法では、 $100 \mu m$ 以下の薄いウエハを得ることが困難である。また、インゴット加工時の取り代の無駄が多く、インゴットから切り屑が生じてしまう。このような問題を解決するために、レーザー光や超音波等を利用した基板製造方法が特許文献 1 ~ 3 で提案されている。

【0003】

特許文献 1 には、紫外線のエキシマレーザー光を連続発振するエキシマレーザー装置と、エキシマレーザー光をシリコンインゴット表面に集光照射する集光光学系と、を備えた切断装置で、シリコンインゴットを長手方向と垂直に切断する技術が提案されている。連続発振したエキシマレーザー光はシリコンインゴット表面に集光照射され、その結果、局部的に温度上昇が発生する。その温度上昇により生じた熱応力でインゴットを割断するこ

10

20

30

40

50

とにより、シリコン基板を作製する。

【 0 0 0 4 】

特許文献 2 には、超音波の焦点をインゴットの表面より内側にくるように超音波発振器を配置し、集中させた超音波の焦点部分でインゴットを破壊し、超音波発振器を移動させることによって、切断面より表面の部分を基板として剥離する技術が提案されている。また特許文献 3 には、半導体結晶基板に対し、その主表面から水素負イオンを注入することにより水素高濃度層(水素高濃度層は深さ方向の水素濃度プロファイルにおいて主表面から深さ 5 μm 以上の位置に濃度ピークを有する。)を形成した後、その水素高濃度層で半導体結晶基板から半導体薄膜を剥離する技術が提案されている。

【 0 0 0 5 】

なお、レーザー加工に関する技術として、特許文献 4 , 5 記載の方法が知られている。特許文献 4 記載の方法は、材料を通過する高エネルギー密度ビームの焦点を材料内の位置に合わせ、材料を局所的にイオン化させることにより、対象物内に局所的な加工領域を形成するマーキング方法である。特許文献 5 記載の方法は、ウエハ状の加工対象物の内部にレーザー光の集光点を合わせてレーザー照射することによって、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成し、切断の起点となる領域を形成して加工対象物を切断する方法である。

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 1 8 4 7 2 4 号公報

【特許文献 2】特開平 8 - 3 9 5 0 0 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 3 - 1 7 7 2 3 号公報

【特許文献 4】特許第 3 0 2 9 0 4 5 号公報

【特許文献 5】特許第 3 4 0 8 8 0 5 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、特許文献 1 ~ 5 に記載されている技術には以下のような問題がある。特許文献 1 記載の切断技術においてはシリコン結晶の面方位が重要であり、インゴット材料が雲母状でないと切断は困難である。特許文献 2 記載の切断技術の場合、超音波は波長が長いのでパワーが弱く、加工領域が形成されるレベルに超音波を集中させることは困難である。特許文献 3 記載の半導体薄膜の製造技術においては、例えば厚さ 3 0 μm 以上の基板を作製する場合、水素負イオンの注入エネルギーを極めて高くしなければならず、基板に大きなダメージを与えてしまう。したがって、厚さ 3 0 μm 以上の基板を製造することは困難である。

【 0 0 0 7 】

また、特許文献 4 , 5 記載の方法は薄い基板の製造に適していない。しかも、特許文献 4 記載の方法はガラスに対してのみ有効であり、シリコン等の半導体材料から成るインゴットには適用できない。特許文献 5 記載の方法は、ウエハ状のシリコンを切断するには有効であるが、その方法で柱状のシリコンインゴットをウエハ状にスライスすることはできない。

【 0 0 0 8 】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであって、その目的は、切り屑なしに短時間で容易にインゴットから多数枚の薄い基板を剥離して得ることが可能な基板製造方法と、それに用いる基板製造装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するために、第 1 の発明の基板製造方法は、集光レンズでレーザー光の集光点をインゴットの内部に合わせ、そのレーザー光でインゴットを相対的に走査することにより、インゴットの内部に多光子吸収による面状の加工領域を形成し、その加工領域を剥離面としインゴットの一部を基板として剥離する基板製造方法であって、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を段階的に大きくすることにより、インゴット

10

20

30

40

50

の内部に複数の前記面状の加工領域を形成することを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

第 2 の発明の基板製造方法は、上記第 1 の発明において、前記複数の面状の加工領域を形成した後、その加工領域での劈開又は加工領域の溶解により、前記基板の剥離を行うことを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

第 3 の発明の基板製造方法は、上記第 1 又は第 2 の発明において、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離が一定になるような調整手段を設置することを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

第 4 の発明の基板製造方法は、上記第 3 の発明において、前記調整手段は、前記集光レンズでレーザー光の集光点をインゴットの内部に合わせる前に、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離、又は前記インゴットの表面の少なくとも 3 点で形成される平面から前記集光レンズまでの距離が一定になるように、前記集光レンズに対するインゴットの表面の相対的な傾きを調整する手段であることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

第 5 の発明の基板製造方法は、上記第 1 ～ 第 4 のいずれか 1 つの発明において、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を段階的に大きくする毎にレーザー光のエネルギーを大きくするか、又はレーザー光のエネルギーを一定の大きさに保ちながら前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を段階的に大きくすることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

第 6 の発明の基板製造方法は、上記第 1 ～ 第 5 のいずれか 1 つの発明において、前記インゴットの厚さを以下の式 (i) で表される厚さ以下とすることを特徴とする。

$$Z_{max} = WD \{ (n^2 - NA^2) / (1 - NA^2) \} \dots (i)$$

ただし、

Z_{max} : インゴットの厚さ、

n : インゴットの屈折率、

WD : 集光レンズのワーキングディスタンス、

NA : 集光レンズの開口数、

である。

【 0 0 1 5 】

第 7 の発明の基板製造方法は、上記第 1 ～ 第 6 のいずれか 1 つの発明において、前記レーザー光がパルスレーザー光であり、そのパルス幅が $1 \mu s$ 以下であることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

第 8 の発明の基板製造方法は、上記第 1 ～ 第 7 のいずれか 1 つの発明において、前記インゴットがシリコンから成り、前記レーザー光の波長が $800 nm$ 以上であることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

第 9 の発明の基板製造装置は、レーザー光を発振するレーザー光発振装置と、前記レーザー光をインゴットに対して集光させる集光レンズと、前記レーザー光に対するインゴットの相対位置を変化させる第 1 移動手段と、前記集光レンズに対するインゴットの相対位置を変化させる第 2 移動手段と、を備え、前記集光レンズでインゴットの内部に集光点が合わされたレーザー光を前記第 1 移動手段でインゴットに対して相対的に走査させることにより、インゴットの内部に多光子吸収による面状の加工領域を形成し、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を前記第 2 移動手段で段階的に大きくすることにより、前記面状の加工領域をインゴットの内部に複数形成することを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

第 10 の発明の基板製造装置は、上記第 9 の発明において、前記インゴットの表面から

10

20

30

40

50

前記集光レンズまでの距離が一定になるような調整手段を更に備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

第 1 1 の発明の基板製造装置は、上記第 1 0 の発明において、前記調整手段は、前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離が段階的に大きくなる毎に、前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光のエネルギーが大きくなるか、又は前記インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離が段階的に大きくなっても、前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光のエネルギーが一定の大きさに保たれる手段であることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

第 1 2 の発明の基板製造装置は、上記第 9 ~ 第 1 1 のいずれか 1 つの発明において、前記インゴットの厚さを以下の式 (i) で表される厚さ以下とすることを特徴とする。 10

$$Z_{max} = WD \{ (n^2 - NA^2) / (1 - NA^2) \} \dots (i)$$

ただし、

Z_{max} : インゴットの厚さ、

n : インゴットの屈折率、

WD : 集光レンズのワーキングディスタンス、

NA : 集光レンズの開口数、

である。

【 0 0 2 1 】

第 1 3 の発明の基板製造装置は、上記第 9 ~ 第 1 2 のいずれか 1 つの発明において、前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光が、パルス幅 $1 \mu s$ 以下のパルスレーザー光であることを特徴とする。 20

【 0 0 2 2 】

第 1 4 の発明の基板製造装置は、上記第 9 ~ 第 1 3 のいずれか 1 つの発明において、前記インゴットがシリコンから成り、前記レーザー光発振装置から発振されるレーザー光の波長が $800 nm$ 以上であることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、インゴットの表面から前記集光レンズまでの距離を段階的に大きくすることにより、インゴットの内部に複数の面状の加工領域を形成する構成になっているため、切り屑なしに短時間で容易にインゴットから多数枚の薄い基板を剥離して得ることができる。特に、レーザー照射と基板の剥離とを交互に行う必要がないため、製造時間を大幅に短縮することができる。また、本発明に係る基板製造方法や基板製造装置を使用すれば、1 つのインゴットから複数枚の $100 \mu m$ 厚程度の薄い基板を得ることが可能である。例えば、ガラスインゴットからは非常に薄いガラス基板を得ることができ、液晶の TFT パネルや薄膜太陽電池の基材として用いることが可能である。シリコンインゴットからは非常に薄いシリコン基板を得ることができ、IC やシリコン太陽電池の基材として用いることが可能である。 30

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 4 】

以下、本発明に係る基板製造方法及び基板製造装置の実施の形態を、図面を参照しつつ説明する。図 1 に、第 1 の実施の形態に係る基板製造装置の概略構成を示す。図 1 において、1 はレーザー光発振装置、2 は加工用のレーザー光、3 はビームスプリッター、4 はビーム整形光学系、5 はビームスプリッター、6 は集光レンズ、7 は柱形のインゴット、8 は加工領域、9 は X ステージ、10 は Y ステージ、11 は Z ステージ、12 は傾斜ステージ、13 は CCD (Charge Coupled Device) カメラ、14 は He - Ne レーザー光源、15 は調整用のレーザー光、16 は反射部材である。なお、X ステージ 9, Y ステージ 10, Z ステージ 11 の各移動方向は、互いに直交する X 方向, Y 方向, Z 方向である。したがって、後述する加工領域 8 は XY 平面に対して平行に形成される。 40

【 0 0 2 5 】

図 1 に示す基板製造装置は、主要な構成要素として、レーザー光 2 を発振するレーザー光発振装置 1 と、レーザー光 2 をインゴット 7 に対して集光させる集光レンズ 6 と、レーザー光 2 に対するインゴット 7 の相対位置を変化させる X, Y ステージ 9, 10 と、集光レンズ 6 に対するインゴット 7 の相対位置を変化させる Z ステージ 11 と、を備えている。X, Y ステージ 9, 10 は、第 1 移動手段として X, Y 方向へ移動可能に構成されており、X, Y 方向への移動によってレーザー光 2 をインゴット 7 に対して相対的に走査させる。したがって、集光レンズ 6 でインゴット 7 の内部に集光点が合わされたレーザー光 2 を、X, Y ステージ 9, 10 で X, Y 方向に走査させることにより、インゴット 7 の内部に多光子吸収による面状の加工領域 8 を形成することができる。Z ステージ 11 は、第 2 移動手段として Z 方向へ移動可能に構成されており、Z 方向への移動によってインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を段階的に大きくする。したがって、その距離 Z が大きくなる毎に上記面状の加工領域 8 を形成することにより、インゴット 7 の内部に複数の面状の加工領域 8 を形成することができる。

10

【0026】

また、図 1 に示す基板製造装置は、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z が一定になるように(つまりインゴット 7 の表面が X Y 平面に対して平行な状態になるように)、集光レンズ 6 に対するインゴット 7 の表面の相対的な傾きを調整する調整手段を備えている。その調整手段は、傾斜ステージ 12, C C D カメラ 13, H e - N e レーザー光源 14 等で構成されている。H e - N e レーザー光源 14 は、レーザー光 15 を放射するレーザー装置である。傾斜ステージ 12 はインゴット 7 の傾き角度を変化させるために傾斜可能(矢印 R)に構成されており、C C D カメラ 13 はインゴット 7 で反射したレーザー光 15 をモニタするための受光装置である。なお、インゴット 7 の表面状態に応じて、インゴット 7 の表面の少なくとも 3 点で形成される平面から集光レンズ 6 までの距離 Z が一定になるように(つまりインゴット 7 の表面の少なくとも 3 点で形成される平面が X Y 平面に対して平行な状態になるように)、集光レンズ 6 に対するインゴット 7 の表面の相対的な傾きを調整するように構成してもよい。また、Z ステージと連動したオートフォーカス機能を設け、Z ステージまたは集光レンズの位置を調整することにより、集光レンズ 6 とインゴット 7 表面間の距離を一定に保つようにしてもよい。

20

【0027】

次に、上記基板製造装置を使用して行う基板製造方法を説明する。まず、製造する基板の材料となるインゴット 7 を、傾斜ステージ 12 上にセットする。この傾斜ステージ 12 は、X, Y, Z ステージ 9, 10, 11 上に搭載されている。上述したように、傾斜ステージ 12 は傾斜可能に構成されており、X, Y, Z ステージ 9, 10, 11 は、X, Y, Z 方向へそれぞれ移動可能に構成されている。したがってインゴット 7 は、X, Y, Z 方向への位置調整と傾斜調整とが可能である。なお、各ステージ 9 ~ 12 の移動によってインゴット 7 にブレが発生しないように、傾斜ステージ 12 に対するインゴット 7 の固定を確実にしておく必要がある。

30

【0028】

傾斜ステージ 12 上にインゴット 7 をセットしたら、集光レンズ 6 に対するインゴット 7 の表面の相対的な傾きを、前述した調整手段を使用して調整する。ここでまず、ビームスプリッター 3 等を用いて、H e - N e レーザー光源 14 とレーザー光発振装置 1 とを光軸が一致するように調整しておく。この調整が完了したら、H e - N e レーザー光源 14 からレーザー光 15 を発振させる。レーザー光 15 は、反射部材 16, ビームスプリッター 3 で反射され、ビーム整形光学系 4 を透過することにより所定サイズの平行光となる。そして、ビームスプリッター 5 で反射された後、集光レンズ 6 を通過することによってインゴット 7 の表面に照射される。インゴット 7 で反射されたレーザー光 15 は、集光レンズ 6 とビームスプリッター 5 を透過して、C C D カメラ 13 に入射する。

40

【0029】

レーザー光 15 が C C D カメラ 13 に入射することにより、インゴット 7 の表面でのレーザー光 15 のスポット状態が C C D カメラ 13 で観察可能となる。Z ステージ 11 の移

50

動と傾斜ステージ 12 の傾き調整を行うことにより、レーザー光 15 のスポット径が所定位置で最も小さくなるようにする(このときインゴット 7 の表面に集光レンズ 6 の焦点が合った状態とする)。その結果、集光レンズ 6 とインゴット 7 との間隔が集光レンズ 6 のワーキングディスタンスと一致するように設定され、また、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z が一定になる(このときインゴット 7 の表面が XY 平面に対して平行な状態になる)。なお、上記調整手段を用いた調整は手動操作により行ってもよく、自動操作により行ってもよい。

【0030】

次に、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z が初期値 Z_0 となるように、 Z ステージ 11 を上昇させる。本実施の形態では、これを Z ステージ 11 を上昇させることにより行うが、集光レンズ 6 を下降させることにより行ってもよい。また、初期値 Z_0 は理想的には 0 であるが、集光レンズ 6 とインゴット 7 の表面との接触を防ぐ必要があるため、インゴット 7 の表面の平面度や Z ステージ 11 の Z 方向への移動による上下方向のブレ等を考慮した数値に設定する必要がある。

【0031】

Z ステージ 11 を所定の場所に移動させた後、レーザー光発振装置 1 からレーザー光 2 を発振させる。レーザー光 2 はビームスプリッター 3 を透過した後、ビーム整形光学系 4 に入射する。このビーム整形光学系 4 は、ビームエキスパンダー、DOE (Diffractive Optical Element) 等の光学素子で構成され、レーザー光 2 のビーム径や面内強度分布等を調整するために、必要に応じて配置される。ビーム整形光学系 4 を通過することにより所定サイズの平行光となったレーザー光 2 は、ビームスプリッター 5 で反射された後、集光レンズ 6 に入射する。

【0032】

レーザー光 2 は、集光レンズ 6 を通過することによって、インゴット 7 内部の所定の位置に集光される。レーザー光 2 の集光点付近は多光子吸収によって局所的に加熱され、原子間の結合が切断されやすい状態に加工される。例えばインゴット 7 がシリコンから成る場合には、シリコン結合が切断されやすい状態に加工される。レーザー光 2 の集光点をインゴット 7 内部に持つためには、レーザー光 2 がインゴット 7 の材料に対して半透明から透明である必要があり、また、集光性を良好にするような条件を採用することが望ましい。例えばインゴット 7 がシリコンから成る場合、レーザー光 2 の波長が 800 nm 以上であることが望ましく、集光性を考慮するとレーザー光 2 の波長が 2 μ m 以下であることが望ましい。集光性は集光レンズ 6 にも依存する。したがって集光レンズ 6 としては、高 NA (numerical aperture) であって集光特性が良好なレンズ、例えば赤外用の高倍率対物レンズを用いることが望ましい。また、レーザー光 2 をパルスレーザー光とし、そのパルス幅を 1 μ s 以下とするのが望ましい。この条件を満たすことにより、加工に必要なエネルギーを得ることができる。

【0033】

次に、 X 、 Y ステージ 9、10 を X 、 Y 方向に移動させることにより、レーザー光 2 でインゴット 7 を相対的に走査すると、インゴット 7 の内部に多光子吸収による面状の加工領域 8 が形成される。本実施の形態では上記 XY 走査において集光レンズ 6 は移動しないが、インゴット 7 の位置固定状態において集光レンズ 6 を X 、 Y 方向に移動させてもよく、集光レンズ 6 とインゴット 7 の双方を X 、 Y 方向に移動させてもよい。また、 X 、 Y ステージ 9、10 の代わりに回転ステージを用い、集光レンズ 6 をインゴット 7 の中心から外周に向けて移動させてもよく、あるいは集光レンズ 6 を外周から中心に向けて移動させてもよい。

【0034】

上記のようにして面状の加工領域 8 を 1 面形成したら、次に Z ステージ 11 を下降させることによって、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を所定量 Z_1 だけ大きくする。そして再び、 X 、 Y ステージ 9、10 を X 、 Y 方向に移動させることにより、レーザー光 2 でインゴット 7 を相対的に走査する。この第 2 の XY 走査により、第 2 の面

状の加工領域 8 が形成される。その後も同様に、Z ステージ 11 を所定量 Z1 ずつ下降させて X Y 走査を行う。つまり、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を段階的に大きくすることにより、インゴット 7 の内部に複数の面状の加工領域 8 を形成する。インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z の値は、最大でも集光レンズ 6 のワーキングディスタンスよりも小さくする必要があるので、ワーキングディスタンスの大きい集光レンズ 6 を用いる方が好ましい。

【0035】

本実施の形態では、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を段階的に大きくすることにより、インゴット 7 の内部に複数の面状の加工領域 8 を形成しているが、これとは逆に、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を段階的に小さくした場合でも、インゴット 7 の内部に複数の面状の加工領域 8 を形成することは可能である。しかしその場合、既に形成されている面状の加工領域 8 をレーザー光 2 が通過することになるため、レーザー光 2 が不作為に屈折したり散乱したりして、形成される面状の加工領域 8 の状態が不均一になってしまう。

10

【0036】

インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を段階的に大きくする毎にレーザー光 2 のエネルギーを大きくするか、又はレーザー光 2 のエネルギーを一定の大きさに保ちながらインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を段階的に大きくすることが好ましい。例えば、距離 Z を段階的に大きくする毎にレーザー光 2 のパルスエネルギーを大きくすると、インゴット 7 の表面から近い面状の加工領域 8 ほどインゴット 7 を構成する原子間の結合を大きなエネルギーで切断することになる。その結果、加工領域 8 を剥離面としインゴット 7 の一部を基板として剥離しやすくなる。つまり、後で述べる枚葉にウエハを得る方法を用いる場合、剥離が行いやすくなる。レーザー光 2 のパルスエネルギーを距離 Z によらず同じにした場合でも、レーザー光 2 がインゴット 7 を通過する距離が長くなるほどレーザー光 2 の減衰が大きくなるため、インゴット 7 の表面から近い面状の加工領域 8 ほどインゴット 7 を構成する原子間の結合を大きなエネルギーで切断することになる。したがって、上記と同様に剥離が行いやすくなる。

20

【0037】

上記のようにして複数の面状の加工領域 8 を形成した後、面状の加工領域 8 を剥離面としインゴット 7 の一部を基板として剥離すると、1 つのインゴット 7 から複数の基板を得ることができる。インゴット 7 の一部をウエハ状の基板として剥離するには、インゴット 7 の表面を真空チャック、静電チャック、ベルヌーイ法等を用いて保持し、面状の加工領域 8 を剥離面として枚葉にウエハを剥離すればよい。この方法を用いてウエハを得る場合、前述したようにレーザー光 2 のパルスエネルギー制御を行えば、インゴット 7 の上から順番に 1 枚ずつ剥離することが可能である。

30

【0038】

面状の加工領域 8 での劈開又は加工領域の溶解により基板の剥離を行ってもよい。例えば、面状の加工領域 8 に対するウォータージェットや高圧気体の吹き付け等より、加工領域 8 での劈開により基板の剥離を行ってもよい。また例えば、アルカリ溶液中にインゴット 7 を浸し、加工領域 8 のエッチング速度が未加工領域に比べて速いことを利用して加工領域 8 を溶かすことにより、インゴット 7 から複数の基板を得る方法を用いてもよい。このとき、アルカリ溶液の滲入を促進するために、インゴット 7 の任意点において面状の加工領域 8 に対し垂直に貫通孔を形成してもよい。

40

【0039】

次に、加工可能なインゴット 7 の厚さ Z_{max} 及びウエハ厚 t を説明する。レーザー光 2 の入射角 s_0 と屈折角 s_1 との間には以下の式 (F1)、(F2) で表される関係があり、レーザー光 2 のビーム半径については以下の式 (F3) で表される関係がある。

$$\sin(s_0) = NA \quad \dots (F1)$$

$$\sin(s_0) / \sin(s_1) = n \quad \dots (F2)$$

$$r_0 = WD \times t \tan(s_0) \quad \dots (F3)$$

50

ただし、

s 0 : インゴット表面に対するレーザー光の入射角、

s 1 : インゴット表面でのレーザー光の屈折角、

n : インゴットの屈折率、

r 0 : 集光レンズから出射直後のビーム半径、

NA : 集光レンズの開口数、

WD : 集光レンズのワーキングディスタンス、
である。

【0040】

インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zが0のとき、集光点の位置は最も深くなるので、加工可能なインゴット7の厚さZmaxは以下の式(i)で表される。1つのインゴット7から多数枚のインゴット7を有効に得るために、インゴット7の厚さはZmax近傍であることが望ましい。これより薄くても厚くても加工は可能であるが、厚い場合にはインゴット7下部に未加工領域が形成される。したがって、インゴットの厚さを以下の式(i)で表される厚さ以下とすることが望ましい。

$$Z_{\max} = WD \{ (n^2 - NA^2) / (1 - NA^2) \} \dots (i)$$

ただし、

Zmax : インゴットの厚さ、

n : インゴットの屈折率、

WD : 集光レンズのワーキングディスタンス、

NA : 集光レンズの開口数、

である。

【0041】

また、ウエハ厚tは以下の式(F4)で表される。加工領域8の厚さt1は、インゴット7の屈折率n、開口数NA及びレーザー光2のパルスエネルギーに依存し、屈折率n及びレーザー光2のパルスエネルギーが大きいほど大きくなり、開口数NAが大きいほど小さくなる。

$$t = Z_1 \times \{ (n^2 - NA^2) / (1 - NA^2) \} - t_1 \dots (F4)$$

ただし、

t : ウエハ厚、

Z1 : インゴットの表面から集光レンズまでの距離の段階的な増大量、

n : インゴットの屈折率、

NA : 集光レンズの開口数、

t1 : 面状の加工領域の厚さ、

である。

【0042】

図2に、第2の実施の形態に係る基板製造装置の概略構成を示す。この基板製造装置は、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zを一定にするための傾き調整手段を備えていないが、それ以外は第1の実施の形態と同様の構成になっている。したがって、第1の実施の形態と同様の構成により同様の作用効果が得られる。以下に、第2の実施の形態に係る基板製造方法を説明する。なお、第1の実施の形態と同一の部分や相当する部分には同一の符号を付して重複説明を適宜省略する。

【0043】

まず、製造する基板の材料となるインゴット7を、Zステージ11上にセットする。そして、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zが初期値Z0となるように、Zステージ11を上昇させる。Zステージ11を所定の場所に移動させた後、レーザー光発振装置1からレーザー光2を発振させる。レーザー光2はビーム整形光学系4を通過し、反射部材17で反射された後、集光レンズ6に入射する。そして、集光レンズ6を通過することによって、インゴット7内部の所定の位置に集光される。レーザー光2の集光点付近は多光子吸収によって局所的に加熱され、例えばインゴット7がシリコンから成る場合

10

20

30

40

50

には、シリコン結合が切断されやすい状態に加工される。

【0044】

次に、X、Yステージ9、10をX、Y方向に移動させることにより、レーザー光2でインゴット7を相対的に走査すると、インゴット7の内部に多光子吸収による面状の加工領域8が形成される。上記のようにして面状の加工領域8を1面形成したら、次にZステージ11を下降させることによって、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zを所定量Z1だけ大きくする。そして再び、X、Yステージ9、10をX、Y方向に移動させることにより、レーザー光2でインゴット7を相対的に走査する。この第2のXY走査により、第2の面状の加工領域8が形成される。その後も同様に、Zステージ11を所定量Z1ずつ下降させてXY走査を行う。つまり、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zを段階的に大きくすることにより、インゴット7の内部に複数の面状の加工領域8を形成する。このようにして複数の面状の加工領域8を形成した後、面状の加工領域8を剥離面としインゴット7の一部を基板として剥離すると、1つのインゴット7から複数の基板を得ることができる。

10

【0045】

第2の実施の形態(図2)の場合、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zが一定になるようにするための、インゴット7の傾きを調整する調整手段が設けられていない。このため、インゴット7の表面のうねりやステージ9～11の傾きの影響を受けて、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zが不均一になる。これは面状の加工領域8に反りを発生させる原因となる。また、インゴット7がシリコンから成る場合、その屈折率が大きいため、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zのバラツキの約5倍の大きさの反りやうねりが面状の加工領域8に発生することになる。しかしながら、この反りやうねりは面状の加工領域8全てに発生するため、得られる基板の厚さは均一である。また、前記調整手段を用いた調整を行わない構成であるため、高速に加工を行うことが可能になるという利点がある。

20

【実施例】

【0046】

以下、本発明を実施した基板製造方法及び基板製造装置を、データを挙げて更に具体的に説明する。ここで挙げる実施例1、2は、前記第1の実施の形態(図1)に対応する構成を数値実施例として具体化したものであり、実施例3は前記第2の実施の形態(図2)に対応する構成を数値実施例として具体化したものである。

30

【0047】

《実施例1》

実施例1の製造工程を図3を参照しながら説明する。図3は、第1の実施の形態に係る基板製造装置(図1)を用いて基板を製造する実施例1の製造工程を示している。ここで使用する基板製造装置とインゴット7の仕様を以下に示す。当然のことながら数値は下記のものに限定されるものではない。

[レーザー光発振装置1]

Nd-YAGレーザー、波長 = 1064nm、パルス幅 = 140ns、平均出力 = 1W、繰り返し周波数 = 500kHz

40

[集光レンズ6]

倍率 = 100倍、NA = 0.70、WD = 6.5mm

[X、Yステージ9、10]

XYステージ走査速度：500mm/s

[インゴット7]

材料：シリコン、大きさ = 100mm、厚さ = 1.7mm

【0048】

最初に、シリコンインゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zを、Zステージ11の移動によってワーキングディスタンスWD：6.5mmにし、He-Neレーザー光15のスポット径が所定位置で最も小さくなるように、傾斜ステージ12の傾き調整を行

50

う。これにより、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を一定にする {図 3 (A)}。傾斜ステージ 1 2 を調整した後、 Z ステージ 1 1 を上昇させ、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を初期値 $Z_0 : 6.2 \text{ mm}$ にする {図 3 (B)}。この状態でレーザー光発振装置 1 から発振したレーザー光 2 を上記条件でシリコンインゴット 7 に照射する。この条件の場合、シリコンインゴット 7 の表面から深さ約 1.5 mm の位置に焦点が合い、その集光点付近に多光子吸収による改質領域 (加工領域) 8 が形成される。X, Y ステージ 9, 10 で XY 走査を行うことによりインゴット全面にレーザー光 2 を照射すると、多光子吸収による厚さ $50 \mu\text{m}$ 程度の面状の加工領域 8 が形成される {図 3 (C)}。

【0049】

10

次に Z ステージ 1 1 を $30 \mu\text{m}$ 下降させ、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を 6.23 mm にする。 Z ステージ 1 1 が $30 \mu\text{m}$ 下降することにより、集光点の位置が $150 \mu\text{m}$ 程度上昇する。その後、X, Y ステージ 9, 10 で XY 走査を行うことによりインゴット全面にレーザー光 2 を照射すると、最初に形成した面状の加工領域 8 から $150 \mu\text{m}$ 程度上の位置に、厚さ $50 \mu\text{m}$ 程度の面状の加工領域 8 が形成される {図 3 (D)}。このように、 Z ステージ 1 1 の下降、XY ステージ 9, 10 での XY 走査を繰り返し、複数の面状の加工領域 8 をシリコンインゴット 7 の内部に形成する {図 3 (E)}。本実施例の場合、 1.7 mm の厚さのインゴット 1 個で 10 箇所程度の面状の加工領域 8 を形成することが可能である。最後に、面状の加工領域 8 を剥離面とする剥離処理を行って、シリコンインゴット 7 から複数のシリコン基板を得る。剥離の方法は前述した通りである。

20

【0050】

本実施例で用いている波長 1064 nm の Nd - YAG レーザーは、一般的に用いられているものである。しかし、シリコンは 1064 nm の光をわずかながら吸収し、図 4 のグラフに示すように、 1064 nm の光が厚さ 1.5 mm のシリコン基板を通過すると入射前後で 10% 程度に減衰する。したがって、シリコンインゴットに対して波長 1064 nm のレーザー光を用いる場合には、シリコンインゴットを 1.5 mm 以下の厚さにすることが望ましい。

【0051】

《実施例 2》

30

前述の実施例 1 では、レーザーとして一般的な Nd - YAG レーザーを用いている。したがって装置価格が安価であり、レーザーが入手しやすいという利点もある。その反面、シリコンは 1064 nm の光に対して吸収があるため (図 4)、インゴット 1 個から得られる基板の枚数が少ないという問題がある。そこで、実施例 2 では、シリコンに対してほぼ透明な波長 1340 nm の Nd - VAN レーザーを用いて、シリコンインゴットの加工を行う構成を採用している。

【0052】

実施例 2 の製造工程を図 5 を参照しながら説明する。図 5 は、第 1 の実施の形態に係る基板製造装置 (図 1) を用いて基板を製造する実施例 2 の製造工程を示している。ここで使用する基板製造装置とインゴット 7 の仕様を以下に示す。当然のことながら数値は下記のものに限定されるものではない。また比較のために、用いる集光レンズ 6, ステージ 9 ~ 12 の仕様は実施例 1 と同様にしている。

40

【0053】

[レーザー光発振装置 1]

Nd - VAN レーザー, 波長 = 1340 nm , パルス幅 = 10 ps , 平均出力 = 0.5 W , 繰り返し周波数 = 1 MHz

[集光レンズ 6]

倍率 = 100 倍, NA = 0.70 , WD = 6.5 mm

[X, Y ステージ 9, 10]

XY ステージ走査速度 : 500 mm/s

50

[インゴット 7]

材料：シリコン，大きさ = 100 mm，厚さ = 30 mm

【0054】

最初に、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を、 Z ステージ 11 の移動によってワーキングディスタンス WD : 6.5 mm にし、He-Ne レーザー光 15 のスポット径が所定位置で最も小さくなるように、傾斜ステージ 12 の傾き調整を行う。これにより、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を一定にする {図 5 (A)}。傾斜ステージ 12 を調整した後、 Z ステージ 11 を上昇させ、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を初期値 Z_0 : 0.5 mm にする {図 5 (B)}。この距離 Z_0 が小さければ小さいほど作製される基板の枚数が増えるが、 Z ステージ 11 のブレ等に起因するシリコンインゴット 7 と集光レンズ 6 との衝突を避ける必要があるため、本実施例では 0.5 mm とする。この状態でレーザー光発振装置 1 から発振したレーザー光 2 を上記条件でシリコンインゴット 7 に照射する。この条件の場合、シリコンインゴット 7 の表面から深さ約 30 mm の位置に焦点が合い、その集光点付近に多光子吸収による改質領域 (加工領域) 8 が形成される。X, Y ステージ 9, 10 で XY 走査を行うことによりインゴット全面にレーザー光 2 を照射すると、多光子吸収による厚さ 50 μ m 程度の面状の加工領域 8 が形成される {図 5 (C)}。

【0055】

次に Z ステージ 11 を 30 μ m 下降させ、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を 0.53 mm にする。 Z ステージ 11 が 30 μ m 下降することにより、集光点の位置が 150 μ m 程度上昇する。その後、X, Y ステージ 9, 10 で XY 走査を行うことによりインゴット全面にレーザー光 2 を照射すると、最初に形成した面状の加工領域 8 から 150 μ m 程度上の位置に、厚さ 50 μ m 程度の面状の加工領域 8 が形成される。このように、 Z ステージ 11 の下降、XY ステージ 9, 10 での XY 走査を繰り返し、複数の面状の加工領域 8 をシリコンインゴット 7 の内部に形成する {図 5 (D)}。本実施例の場合、30 mm の厚さのインゴット 1 個で 200 箇所程度の面状の加工領域 8 を形成することが可能である。最後に、面状の加工領域 8 を剥離面とする剥離処理を行って、シリコンインゴット 7 から複数のシリコン基板を得る。剥離の方法は前述した通りである。

【0056】

《実施例 3》

実施例 3 は、インゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を一定にするための傾き調整手段を備えていないタイプの基板製造装置 (図 2) に係るものである。ここで使用する基板製造装置とインゴット 7 の仕様を以下に示す。当然のことながら数値は下記のものに限定されるものではない。また比較のために、用いる集光レンズ 6, ステージ 9 ~ 11 の仕様は実施例 2 と同様にしており、以下の説明では図 5 を参照することにする。

【0057】

[レーザー光発振装置 1]

Nd-VAN レーザー，波長 = 1340 nm，パルス幅 = 10 ps，平均出力 = 0.5 W，繰り返し周波数 = 1 MHz

[集光レンズ 6]

倍率 = 100 倍，NA = 0.70，WD = 6.5 mm

[X, Y ステージ 9, 10]

XY ステージ走査速度 : 100 mm / s

[インゴット 7]

材料：シリコン，大きさ = 500 mm，厚さ = 30 mm

【0058】

まず Z ステージ 11 を上昇させ、シリコンインゴット 7 の表面から集光レンズ 6 までの距離 Z を初期値 Z_0 : 約 0.5 mm となるように設定する {図 5 (B)}。この状態でレーザー光発振装置 1 から発振したレーザー光 2 を上記条件でシリコンインゴット 7 に照射する。この条件の場合、シリコンインゴット 7 の表面から深さ約 30 mm の位置に焦点が合い

、その集光点付近に多光子吸収による改質領域(加工領域)8が形成される。X,Yステージ9,10でXY走査を行うことによりインゴット全面にレーザー光2を照射すると、多光子吸収による厚さ50 μ m程度の面状の加工領域8が形成される{図5(C)}。

【0059】

次にZステージ11を30 μ m下降させ、シリコンインゴット7の表面から集光レンズ6までの距離Zを0.53mmにする。Zステージ11が30 μ m下降することにより、集光点の位置が150 μ m程度上昇する。その後、X,Yステージ9,10でXY走査を行うことによりインゴット全面にレーザー光2を照射すると、最初に形成した面状の加工領域8から150 μ m程度上の位置に、厚さ50 μ m程度の面状の加工領域8が形成される。このように、Zステージ11の下降、XYステージ9,10でのXY走査を繰り返し、複数の面状の加工領域8をシリコンインゴット7の内部に形成する{図5(D)}。本実施例の場合、30mmの厚さのインゴット1個で200箇所程度の面状の加工領域8を形成することが可能である。最後に、面状の加工領域8を剥離面とする剥離処理を行って、シリコンインゴット7から複数のシリコン基板を得る。剥離の方法は前述した通りである。

10

【0060】

図6に、実施例3により得られるインゴット7の断面構造を模式的に示す。インゴット7がシリコンから成る場合、インゴット7の表面から集光レンズ6までの距離ZのバラツキをZa1とすると、面状の加工領域8のバラツキZa2はバラツキZa1の約5倍となる。しかしながら、このバラツキZa2は面状の加工領域8全てに発生するため、得られる基板の厚さt1は均一である。例えば太陽電池用のシリコンには、実施例3で得られるような反りのあるシリコン基板を適用することも可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図1】第1の実施の形態(実施例1,2)に係る基板製造装置を示す概略構成図。

【図2】第2の実施の形態(実施例3)に係る基板製造装置を示す概略構成図。

【図3】実施例1の製造工程を説明するための模式図。

【図4】シリコンインゴットの厚さとレーザー光(波長1064nm)の透過率との関係を示すグラフ。

【図5】実施例2の製造工程を説明するための模式図。

【図6】実施例3によりインゴット内部に形成される加工領域を模式的に示す断面図。

30

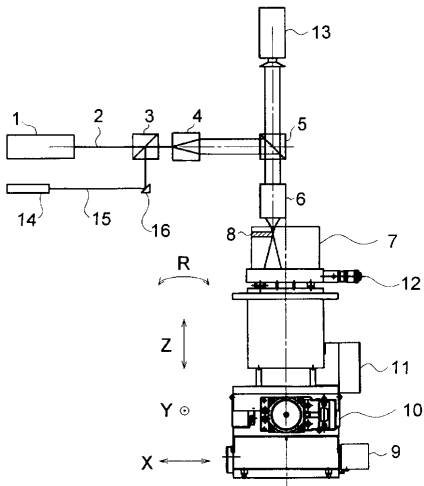
【符号の説明】

【0062】

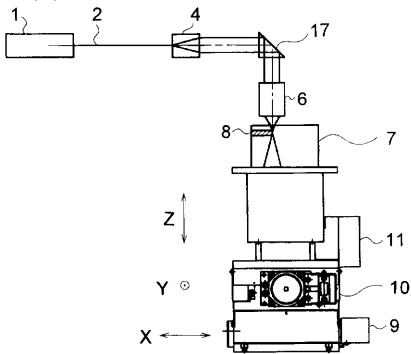
- 1 レーザー光発振装置
- 2 レーザー光
- 6 集光レンズ
- 7 インゴット
- 8 加工領域
- 9 Xステージ
- 10 Yステージ
- 11 Zステージ
- 12 傾斜ステージ
- 13 CCDカメラ
- 14 He-Neレーザー
- 15 レーザー光

40

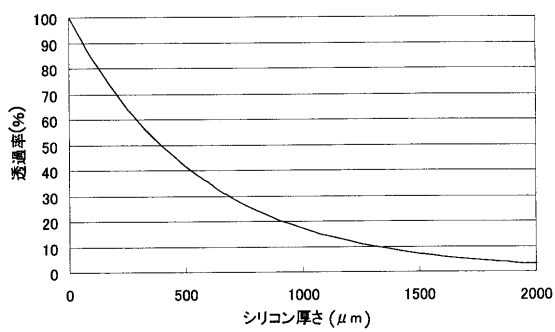
【図 1】



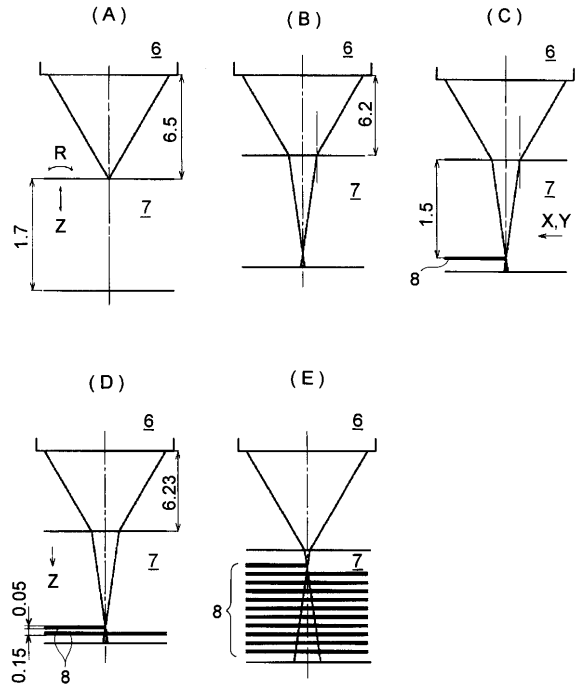
【図 2】



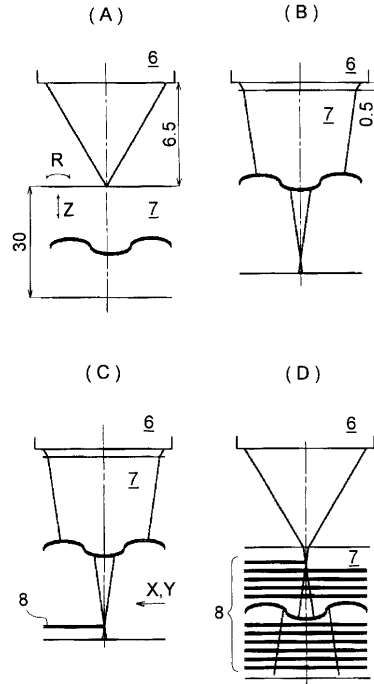
【図 4】



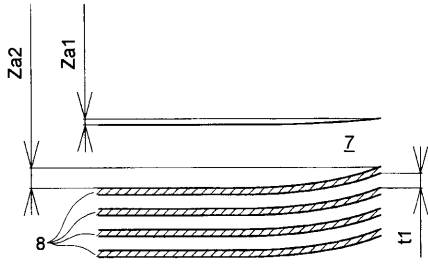
【図 3】



【図 5】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 恒夫

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

(72)発明者 今中 崇雄

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

F ターム(参考) 4E068 AE01 CA02 CA03 CA11 CE03 DA10 DB11