

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4754801号
(P4754801)

(45) 発行日 平成23年8月24日(2011.8.24)

(24) 登録日 平成23年6月3日(2011.6.3)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/301 (2006.01)	HO 1 L 21/78 B
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 D
B 2 3 K 26/06 (2006.01)	B 2 3 K 26/06 A
B 2 3 K 26/40 (2006.01)	B 2 3 K 26/40
HO 1 L 21/302 (2006.01)	HO 1 L 21/302 2 O 1 B
請求項の数 5 (全 20 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2004-299193 (P2004-299193)
 (22) 出願日 平成16年10月13日(2004.10.13)
 (65) 公開番号 特開2006-114627 (P2006-114627A)
 (43) 公開日 平成18年4月27日(2006.4.27)
 審査請求日 平成19年10月9日(2007.10.9)

(73) 特許権者 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100092657
 弁理士 寺崎 史朗
 (74) 代理人 100124291
 弁理士 石田 悟
 (72) 発明者 久野 耕司
 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜
 松ホトニクス株式会社内
 (72) 発明者 鈴木 達也
 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜
 松ホトニクス株式会社内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

板状の加工対象物に加工用レーザー光を照射することにより、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる改質領域を前記加工対象物の内部に形成するレーザー加工方法であって、

前記加工対象物における前記加工用レーザー光の入射面が、凹領域面及び凸領域面を備え、前記凹領域面と前記凸領域面との間に段差を有する凹凸面であり、前記切断予定ラインが前記入射面の前記凹領域面及び前記凸領域面に渡っている場合において、

前記切断予定ラインにおける前記凹領域面上の部分に沿って前記加工用レーザー光を照射する際に、前記凹領域面から所定距離内側に前記加工用レーザー光の集光点を合わせて、前記切断予定ラインに沿って第1の改質領域を形成する第1の工程と、

前記切断予定ラインにおける前記凸領域面上の部分に沿って前記加工用レーザー光を照射する際に、前記凸領域面から所定距離内側に前記加工用レーザー光の集光点を合わせて、前記切断予定ラインに沿って第2の改質領域を形成する第2の工程と、
 を含み、

前記第1の工程では、前記切断予定ラインにおける前記凸領域面上の部分に沿って前記加工用レーザー光を照射する際に、前記加工対象物の外部に前記集光点を合わせ、

前記第2の工程では、前記切断予定ラインにおける前記凹領域面上の部分に沿って前記加工用レーザー光を照射する際に、前記加工対象物の外部に前記集光点を合わせることを特徴とするレーザー加工方法。

【請求項 2】

前記第 1 の工程では、前記切断予定ラインにおける前記凹領域面上の部分に沿って前記加工用レーザ光を照射する際に、前記凹領域面から所定距離内側に前記加工用レーザ光の集光点が位置するように前記加工用レーザ光の照射条件を変化させ、前記切断予定ラインにおける前記凸領域面上の部分に沿って前記加工用レーザ光を照射する際に、前記加工用レーザ光の照射条件を固定し、

前記第 2 の工程では、前記切断予定ラインにおける前記凸領域面上の部分に沿って前記加工用レーザ光を照射する際に、前記凸領域面から所定距離内側に前記加工用レーザ光の集光点が位置するように前記加工用レーザ光の照射条件を変化させ、前記切断予定ラインにおける前記凹領域面上の部分に沿って前記加工用レーザ光を照射する際に、前記加工用レーザ光の照射条件を固定することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ加工方法。

10

【請求項 3】

前記第 1 及び前記第 2 の工程における前記加工用レーザ光の照射条件の変化とは、前記入射面から一定距離内側に前記加工用レーザ光の集光点が位置するように、前記入射面の変位に合わせて前記加工用レーザ光を集光するレンズの位置を調整することであり、

前記第 1 及び前記第 2 の工程における前記加工用レーザ光の照射条件の固定とは、前記レンズの位置を固定することであることを特徴とする請求項 2 に記載のレーザ加工方法。

【請求項 4】

前記第 1 及び前記第 2 の工程において前記加工対象物の内部に前記集光点を合わせるときには、前記加工用レーザ光をパルス発振させ、

20

前記第 1 及び前記第 2 の工程において前記加工対象物の外部に前記集光点を合わせるときには、前記加工用レーザ光を連続発振させることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

【請求項 5】

前記第 1 及び前記第 2 の改質領域を形成した後、前記加工対象物を前記切断予定ラインに沿って切断することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、板状の加工対象物を切断するために使用されるレーザ加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザ加工によって加工対象物を切断する方法として下記非特許文献 1 に記載のものがある。この非特許文献 1 に記載のレーザ加工方法はシリコンウェハを切断するものであって、シリコンが透過する 1 μm 近辺の波長のレーザ光を使用し、そのレーザ光をウェハ内部で集光して改質層を連続的に形成し、それをきっかけとして切断する方法である。

【非特許文献 1】荒井一尚、「半導体ウェハにおけるレーザダイシング加工」、砥粒加工学会誌、Vol. 47、No. 5、2003 MAY. 229 - 231

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上述のようなレーザ加工方法を用いて、加工用レーザ光の入射面が凹凸面である板状の加工対象物の内部に改質領域を形成すると、入射面から所定距離内側に改質領域が高精度に形成されない場合がある。このような場合、加工対象物の切断精度は低下してしまう。

【0004】

そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、加工用レーザ光の入射面が凹凸面である板状の加工対象物の高精度な切断を可能にするレーザ加工方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【0005】

上述の課題を解決するため、本発明のレーザ加工方法は、板状の加工対象物に加工用レーザ光を照射することにより、加工対象物の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる改質領域を加工対象物の内部に形成するレーザ加工方法であって、加工対象物における加工用レーザ光の入射面が、凹領域面及び凸領域面を備え、凹領域面と凸領域面との間に段差を有する凹凸面であり、切断予定ラインが入射面の凹領域面及び凸領域面に渡っている場合において、切断予定ラインにおける凹領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、凹領域面から所定距離内側に加工用レーザ光の集光点を合わせて、切断予定ラインに沿って第1の改質領域を形成する第1の工程と、切断予定ラインにおける凸領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、凸領域面から所定距離内側に加工用レーザ光の集光点を合わせて、切断予定ラインに沿って第2の改質領域を形成する第2の工程とを含み、第1の工程では、切断予定ラインにおける凸領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工対象物の外部に集光点を合わせ、第2の工程では、切断予定ラインにおける凹領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工対象物の外部に集光点を合わせることを特徴とする。

10

【0006】

本発明のレーザ加工方法では、加工対象物における加工用レーザ光の入射面の凹領域面及び凸領域面から所定距離内側に、それぞれ第1及び第2の改質領域を別の工程で形成する。このため、切断予定ラインが入射面の凹領域面及び凸領域面に渡っている場合であっても、第1の工程では凹領域面から所定距離内側に第1の改質領域を高精度に形成でき、第2の工程では凸領域面から所定距離内側に第2の改質領域を高精度に形成できる。したがって、本発明のレーザ加工方法によれば、加工用レーザ光の入射面が凹凸面である板状の加工対象物の高精度な切断が可能となる。

20

【0007】

なお、凹領域面と第1の改質領域との間の所定距離と、凸領域面と第2の改質領域との間の所定距離とは同じでもよいし、互いに異なってもよい。また、第1の工程及び第2の工程を実施する順序は特に限定されない。例えば、第1の工程を実施した後に第2の工程を実施してもよいし、第2の工程を実施した後に第1の工程を実施してもよい。

【0008】

また、第1の工程では、切断予定ラインにおける凹領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、凹領域面から所定距離内側に加工用レーザ光の集光点が位置するように加工用レーザ光の照射条件を変化させ、切断予定ラインにおける凸領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工用レーザ光の照射条件を固定し、第2の工程では、切断予定ラインにおける凸領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、凸領域面から所定距離内側に加工用レーザ光の集光点が位置するように加工用レーザ光の照射条件を変化させ、切断予定ラインにおける凹領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工用レーザ光の照射条件を固定することが好ましい。

30

【0009】

これにより、第1の工程において切断予定ラインにおける凹領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工用レーザ光の集光点の位置を、加工対象物の厚さ方向における入射面の変位（例えば、入射面の凹凸やうねり等）に追従させることができる。また、第1の工程において切断予定ラインにおける凸領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工用レーザ光の集光点を確実に加工対象物の外部に位置させることができる。同様に、第2の工程において切断予定ラインにおける凸領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工用レーザ光の集光点の位置を、加工対象物の厚さ方向における入射面の変位（例えば、入射面の凹凸やうねり等）に追従させることができる。また、第2の工程において切断予定ラインにおける凹領域面上の部分に沿って加工用レーザ光を照射する際に、加工用レーザ光の集光点を確実に加工対象物の外部に位置させることができる。

40

【0010】

50

また、第1及び第2の改質領域を形成した後、加工対象物を切断予定ラインに沿って切断することが好ましい。これにより、加工対象物を切断予定ラインに沿って高精度に切断することができる。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、加工用レーザ光の入射面が凹凸面である板状の加工対象物の高精度な切断を可能にするレーザ加工方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。本実施形態のレーザ加工方法では、加工対象物の内部に改質領域を形成するために多光子吸収という現象を利用する。そこで、最初に、多光子吸収により改質領域を形成するためのレーザ加工方法について説明する。

【0013】

材料の吸収のバンドギャップ E_G よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_G$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E_G$ の条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 (W/cm^2) で決まり、例えばピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の1パルス当たりのエネルギー) \div (レーザ光のビームスポット断面積 \times パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

【0014】

このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工方法の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1に示すように、ウェハ状(板状)の加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断するための切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である。本実施形態に係るレーザ加工方法では、図2に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射して改質領域7を形成する。なお、集光点Pとは、レーザ光Lが集光する箇所のことである。また、切断予定ライン5は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、仮想線に限らず加工対象物1に実際に引かれた線であってもよい。

【0015】

そして、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って(すなわち、図1の矢印A方向に)相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように、改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に形成され、この改質領域7が切断起点領域8となる。ここで、切断起点領域8とは、加工対象物1が切断される際に切断(割れ)の起点となる領域を意味する。この切断起点領域8は、改質領域7が連続的に形成されることで形成される場合もあるし、改質領域7が断続的に形成されることで形成される場合もある。

【0016】

本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するものではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

【0017】

加工対象物1の内部に切断起点領域8を形成すると、この切断起点領域8を起点として割れが発生し易くなるため、図6に示すように、比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5を大きく外れる不必

10

20

30

40

50

要な割れを発生させることなく、加工対象物 1 を高精度に切断することが可能になる。

【 0 0 1 8 】

この切断起点領域 8 を起点とした加工対象物 1 の切断には、次の 2 通りが考えられる。1 つは、切断起点領域 8 形成後、加工対象物 1 に人為的な力が印加されることにより、切断起点領域 8 を起点として加工対象物 1 が割れ、加工対象物 1 が切断される場合である。これは、例えば加工対象物 1 の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されることは、例えば、加工対象物 1 の切断起点領域 8 に沿って加工対象物 1 に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物 1 に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の 1 つは、切断起点領域 8 を形成することにより、切断起点領域 8 を起点として加工対象物 1 の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物 1 が切断される場合である。これは、例えば加工対象物 1 の厚さが小さい場合には、1 列の改質領域 7 により切断起点領域 8 が形成されることで可能となり、加工対象物 1 の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域 7 により切断起点領域 8 が形成されることで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断起点領域 8 が形成されていない部位に対応する部分の表面 3 上にまで割れが先走ることがなく、切断起点領域 8 を形成した部位に対応する部分のみを割断することができるので、割断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物 1 の厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい割断方法は大変有効である。

10

【 0 0 1 9 】

さて、本実施形態に係るレーザ加工方法において、多光子吸収により形成される改質領域としては、次の (1) ~ (3) の場合がある。

20

【 0 0 2 0 】

(1) 改質領域が 1 つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

加工対象物（例えばガラスや LiTaO_3 からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上で且つパルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下の条件でレーザ光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm^2) である。パルス幅は例えば $1 \text{ns} \sim 200 \text{ns}$ が好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第 45 回レーザ熱加工研究会論文集（1998 年、12 月）の第 23 頁～第 28 頁の「固体レーザ高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

30

【 0 0 2 1 】

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は下記の通りである。

【 0 0 2 2 】

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ $700 \mu\text{m}$ ）

(B) レーザ

40

光源：半導体レーザ励起 Nd : YAG レーザ

波長： 1064nm

レーザ光スポット断面積： $3.14 \times 10^{-8} \text{cm}^2$

発振形態：Q スイッチパルス

繰り返し周波数： 100kHz

パルス幅： 30ns

出力：出力 $< 1 \text{mJ}$ / パルス

レーザ光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

50

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D)加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm/秒

【0023】

なお、レーザー光品質がTEM₀₀とは、集光性が高くレーザー光の波長程度まで集光可能を意味する。

【0024】

図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザー光がパルスレーザー光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザー光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分(クラックスポット)の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が100倍、開口数(NA)が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が50倍、開口数(NA)が0.55の場合である。ピークパワー密度が10¹¹(W/cm²)程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなること分かる。

10

【0025】

次に、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて、図8～図11を参照して説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は1つ又は複数のクラックを含む領域である。このように形成されたクラック領域9が切断起点領域となる。図9に示すように、クラック領域9を起点として(すなわち、切断起点領域を起点として)クラックがさらに成長し、図10に示すように、クラックが加工対象物1の表面3と裏面21とに到達し、図11に示すように、加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物1の表面3と裏面21とに到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物1に力が印加されることにより成長する場合もある。

20

【0026】

(2)改質領域が溶融処理領域の場合

加工対象物(例えばシリコンのような半導体材料)の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が1×10⁸(W/cm²)以上で且つパルス幅が1μs以下の条件でレーザー光を照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に溶融処理領域が形成される。溶融処理領域とは一旦溶融後再固化した領域や、まさに溶融状態の領域や、溶融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、溶融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、溶融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば1×10¹²(W/cm²)である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。

30

40

【0027】

本発明者は、シリコンウェハの内部で溶融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次の通りである。

【0028】

(A)加工対象物：シリコンウェハ(厚さ350μm、外径4インチ)

(B)レーザー

光源：半導体レーザー励起Nd:YAGレーザー

波長：1064nm

レーザー光スポット断面積：3.14×10⁻⁸cm²

50

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100kHz

パルス幅：30ns

出力：20μJ/パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C)集光用レンズ

倍率：50倍

N.A.：0.55

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D)加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm/秒

【0029】

図12は、上記条件でのレーザー加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に熔融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域13の厚さ方向の大きさは100μm程度である。

【0030】

熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザー光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さtが50μm、100μm、200μm、500μm、1000μmの各々について上記関係を示した。

【0031】

例えば、Nd:YAGレーザーの波長である1064nmにおいて、シリコン基板の厚さが500μm以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザー光が80%以上透過することが分かる。図12に示すシリコンウェハ11の厚さは350μmであるので、多光子吸収による熔融処理領域13はシリコンウェハ11の中心付近、つまり表面から175μmの部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200μmのシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザー光がシリコンウェハ11の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ11の内部でレーザー光が吸収されて、熔融処理領域13がシリコンウェハ11の内部に形成(つまりレーザー光による通常の加熱で熔融処理領域が形成)されたものではなく、熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第66集(2000年4月)の第72頁~第73頁の「ピコ秒パルスレーザーによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

【0032】

なお、シリコンウェハは、熔融処理領域によって形成される切断起点領域を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。そして、切断起点領域からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合には、切断起点領域を形成する熔融処理領域が溶融している状態から割れが成長する場合と、切断起点領域を形成する熔融処理領域が溶融している状態から再固化する際に割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も熔融処理領域はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、図12のように内部にのみ熔融処理領域が形成されている。このように、加工対象物の内部に熔融処理領域によって切断起点領域を形成すると、割断時、切断起点領域ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、割断制御が容易となる。

【0033】

(3)改質領域が屈折率変化領域の場合

10

20

30

40

50

加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上で且つパルス幅が $1 ns$ 以下の条件でレーザー光を照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm^2) である。パルス幅は例えば $1 ns$ 以下が好ましく、 $1 ps$ 以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

10

【0034】

以上、多光子吸収により形成される改質領域として(1)～(3)の場合を説明したが、ウェハ状の加工対象物の結晶構造やその劈開性を考慮して切断起点領域を次のように形成すれば、その切断起点領域を起点として、より一層小さな力で、しかも精度良く加工対象物を切断することが可能になる。

【0035】

すなわち、シリコンなどのダイヤモンド構造の単結晶半導体からなる基板の場合は、(111)面(第1劈開面)や(110)面(第2劈開面)に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。また、GaAsなどの閃亜鉛鉱型構造のIII-V族化合物半導体からなる基板の場合は、(110)面に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。さらに、サファイア(Al_2O_3)などの六方晶系の結晶構造を有する基板の場合は、(0001)面(C面)を主面として(1120)面(A面)或いは(1100)面(M面)に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。

20

【0036】

なお、上述した切断起点領域を形成すべき方向(例えば、単結晶シリコン基板における(111)面に沿った方向)、或いは切断起点領域を形成すべき方向に直交する方向に沿って基板にオリエンテーションフラットを形成すれば、そのオリエンテーションフラットを基準とすることで、切断起点領域を形成すべき方向に沿った切断起点領域を容易且つ正確に基板に形成することが可能になる。

【0037】

次に、本発明の好適な実施形態について説明する。図14は、本実施形態のレーザー加工方法における加工対象物の一例を模式的に示す平面図である。図15は、図14中のXV-XV矢印に沿った断面図である。

30

【0038】

本実施形態において、加工対象物1は、凸部4aと凸部4a、4a間に位置する凹部4bとを有する基板4からなる。このような加工対象物1としては、例えば、MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)が挙げられる。基板4の厚さdは、凸部4aが存在する位置において例えば $300 \mu m$ であり、凹部4bが存在する位置において例えば $100 \mu m$ である。基板4としては、例えばシリコンウェハ等が挙げられる。加工対象物1では、基板4の凸部4a及び凹部4b側の表面がレーザー光L(加工用レーザー光)の入射面rとなっている。入射面rは、凸部4aの頂面である凸領域面r1と、凹部4bの底面である凹領域面r2とを備えた凹凸面である。凸領域面r1は、例えば断面矩形の凸部4aの頂面に相当する。凹領域面r2は、例えば断面矩形の凹部4bの底面に相当する。凹領域面r2と凸領域面r1との間には、加工対象物1の厚さ方向における段差r3が設けられている。凸部4aの高さ(段差r3の高さ)Hは、例えば $200 \mu m$ である。

40

【0039】

なお、凹部4bはシリコンウェハ等の加工対象物1をエッチングすることにより形成されるとしてもよい。また、凸部4aの構成材料は、基板4における凸部4a以外の部分の構成材料と同じであっても異なってもよい。例えば、凸部4aがシリコン酸化物からなり、基板4における凸部4a以外の部分はシリコンからなるとしてもよい。

50

【0040】

入射面 r には、凹領域面 r_2 及び凸領域面 r_1 に渡って、格子状にダイシングストリートが形成され、そのダイシングストリート上に仮想線として切断予定ライン 5 が設定されている。切断予定ライン 5 は、凸領域面 r_1 上の部分 5 1 a と凹領域面 r_2 上の部分 5 1 b とからなる。なお、切断予定ライン 5 は切断箇所を想定するためのものであり、加工対象物 1 上にダイシングストリートが形成されていなくてもよい。切断予定ライン 5 は、例えば、基板 4 のオリエンテーションフラット 6 と平行な線及び垂直な線から構成される。

【0041】

続いて、以上のように構成される加工対象物 1 を切断するための本実施形態に係るレーザー加工方法の一例について説明する。図 1 6 ~ 図 1 9 は、本実施形態のレーザー加工方法の各工程又は各工程後における加工対象物の部分断面図である。

10

【0042】

(第1の工程)

第1の工程では、図 1 6 (a) に示されるように、切断予定ライン 5 における凸領域面 r_1 上の部分 5 1 a に沿ってレーザー光 L を照射する際に、基板 4 の外部に集光点 P を合わせてレーザー光 L を照射する。集光点 P は、例えば、基板 4 の入射面 r とは反対側の面の下方に位置している。この場合、基板 4 の内部に改質領域は形成されない。

【0043】

一方、図 1 6 (b) に示されるように、切断予定ライン 5 における凹領域面 r_2 上の部分 5 1 b に沿ってレーザー光 L を照射する際には、基板 4 の内部に集光点 P を合わせてレーザー光 L を照射する。これにより、図 1 7 に示されるように、切断予定ライン 5 における凹領域面 r_2 上の部分 5 1 b に沿って、切断の起点となる改質領域 7 1 (第1の改質領域) が基板 4 の内部に形成される。改質領域 7 1 は、加工対象物 1 の厚さ方向において凹領域面 r_2 から距離 d_1 内側に形成される。

20

【0044】

なお、図 1 6 (a) 及び図 1 6 (b) に示されるように、レーザー光 L は、例えば、ピエゾ素子等からなるアクチュエータ 3 2 により保持された対物レンズ 3 0 によって集光される。アクチュエータ 3 2 には、アクチュエータ 3 2 を制御するためのコントローラ 3 9 が接続されている。このアクチュエータ 3 2 の伸縮量をコントローラ 3 9 によって調整することにより、加工対象物 1 の厚さ方向における集光点 P の位置を調整することができる。これにより、集光点 P の位置を、加工対象物 1 の内部から外部に、又は、加工対象物 1 の外部から内部に自由に移動させることができる。なお、集光点 P の位置は、対物レンズ 3 0 から出射されるレーザー光 L の出射角、基板 4 の厚さ d 及び基板 4 の構成材料の屈折率にも依存する。

30

【0045】

ここで、図 1 6 (a) に示されるように切断予定ライン 5 における凸領域面 r_1 上の部分 5 1 a に沿ってレーザー光 L を照射する際には、レーザー光 L の照射条件を固定することが好ましい。また、図 1 6 (b) に示されるように切断予定ライン 5 における凹領域面 r_2 上の部分 5 1 b に沿ってレーザー光 L を照射する際には、凹領域面 r_2 から距離 d_1 内側にレーザー光 L の集光点 P が位置するようにレーザー光 L の照射条件を変化させることが好ましい。レーザー光 L の照射条件としては、例えば加工対象物 1 の厚さ方向における対物レンズ 3 0 の位置が挙げられる。この対物レンズ 3 0 の位置は、アクチュエータ 3 2 の伸縮量をコントローラ 3 9 により制御することで調整される。

40

【0046】

具体的には、例えば、図 1 6 (a) に示されるように切断予定ライン 5 における凸領域面 r_1 上の部分 5 1 a に沿ってレーザー光 L を照射する際に、アクチュエータ 3 2 の伸縮を停止させ加工対象物 1 の厚さ方向における対物レンズ 3 0 の位置を一定位置に固定し、レーザー光 L の集光点 P の位置を、確実に加工対象物 1 の外部に位置させる。また、例えば、図 1 6 (b) に示されるように切断予定ライン 5 における凹領域面 r_2 上の部分 5 1 b に沿ってレーザー光 L を照射する際には、対物レンズ 3 0 の位置を、凹領域面 r_2 の微細な凹凸や

50

うねり（いずれも数 μm ～数十 μm ）に追従するように変位させる。これにより、切断予定ライン5における凹領域面 r_2 上の部分51bに沿って、凹領域面 r_2 から距離 d_1 内側の一定位置に改質領域71を形成することができる。つまり、凹領域面 r_2 の内側には、加工対象物1の厚さ方向における入射面 r の変位に追従するように改質領域71が形成される。

【0047】

上述のように、凹領域面 r_2 と凸領域面 r_1 との間、すなわち段差 r_3 の位置において、レーザ光Lの照射条件を、固定した状態から変化させた状態に、又は、変化させた状態から固定した状態に切り替えることが好ましい。これにより、切断予定ライン5における凸領域面 r_1 上の部分51aに沿ってレーザ光Lを照射する際に、加工対象物1の外部に集光点Pを確実に合わせることが容易になる。これは、凸部4aの高さ H が $100\mu\text{m}$ 以上と大きい場合に特に有効である。また、入射面 r に微細な凹凸やうねり（いずれも数 μm ～数十 μm ）がある場合、改質領域が入射面 r から一定距離内側の位置に形成されるように入射面 r の変位に合わせて対物レンズ30の位置を調整（オートフォーカス機構）することができる。しかしながら、凸部4aの長さ H が大きいとアクチュエータ32の駆動量や駆動時間が大きくなるため、段差 r_3 に追従して対物レンズ30を駆動することが困難となる。これに対して、本実施形態の第1の工程では、凹領域面 r_2 では集光点Pの位置が加工対象物1の内部（更に望ましくは改質領域71が形成される位置付近）となるように、且つ、凸領域面 r_1 では集光点Pの位置が加工対象物1の外部となるように、対物レンズ30の位置が設定され、この位置が、レーザ光Lが凸領域面 r_1 を通過する時の対物レンズ30の固定位置であり、且つ、アクチュエータ32により入射面 r の微細な凹凸やうねりに追従させて凹領域面 r_2 から一定距離内側の位置に改質領域71を形成するために対物レンズ30を駆動させるための基準位置となる。このため、対物レンズ30を凹領域面 r_2 上から凸領域面 r_1 上に移動する場合、又は、対物レンズ30を凸領域面 r_1 上から凹領域面 r_2 上に移動する場合のいずれであっても、段差 r_3 の位置において対物レンズ30を変動させる状態から固定した状態、もしくは固定した状態から変動させる状態へと変化させる際に、 H が大きくても対物レンズ30の位置を大きく移動させる必要がない。よって、対物レンズ30が段差 r_3 上を通過する際に、対物レンズ30をスムーズに移動させることができるので、加工対象物1の内部の正確な位置に改質領域71を形成することができる。

【0048】

なお、本実施形態では、第1の工程において1列の改質領域71を形成するとしたが、改質領域の列数はこれに限定されない。例えば、改質領域は2列以上形成されるとしてもよい。

【0049】

（第2の工程）

第2の工程では、図18(a)に示されるように切断予定ライン5における凸領域面 r_1 上の部分51aに沿ってレーザ光Lを照射する際に、基板4の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射する。これにより、切断予定ライン5における凸領域面 r_1 上の部分51aに沿って、切断の起点となる改質領域72（第2の改質領域）が基板4の内部に形成される。改質領域72は、加工対象物1の厚さ方向において凸領域面 r_1 から距離 d_2 内側に形成される。

【0050】

一方、図18(b)に示されるように切断予定ライン5における凹領域面 r_2 上の部分51bに沿ってレーザ光Lを照射する際には、基板4の外部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射する。集光点Pは、例えば、基板4の入射面 r の上方に位置している。この場合、基板4の内部に改質領域は形成されない。

【0051】

ここで、図18(a)に示されるように切断予定ライン5における凸領域面 r_1 上の部分51aに沿ってレーザ光Lを照射する際には、凸領域面 r_1 から距離 d_2 内側にレーザ光

10

20

30

40

50

Lの集光点Pが位置するようにレーザ光Lの照射条件を変化させることが好ましい。また、図18(b)に示されるように切断予定ライン5における凹領域面r2上の部分51bに沿ってレーザ光Lを照射する際には、レーザ光Lの照射条件を固定することが好ましい。レーザ光Lの照射条件としては、例えば加工対象物1の厚さ方向における対物レンズ30の位置が挙げられる。この対物レンズ30の位置は、アクチュエータ32の伸縮量をコントローラ39により制御することで調整される。

【0052】

具体的には、例えば、図18(a)に示されるように切断予定ライン5における凸領域面r1上の部分51aに沿ってレーザ光Lを照射する際には、対物レンズ30の位置を、凸領域面r1の微細な凹凸やうねり(いずれも数 μm ~数十 μm)に追従するように変位させる。これにより、切断予定ライン5における凸領域面r1上の部分51aに沿って、凸領域面r1から距離d2内側の一定位置に改質領域72を形成することができる。つまり、凸領域面r1の内側には、加工対象物1の厚さ方向における入射面rの変位に追従するように改質領域72が形成される。また、例えば、図18(b)に示されるように切断予定ライン5における凹領域面r2上の部分51bに沿ってレーザ光Lを照射する際に、アクチュエータ32の伸縮を停止させ加工対象物1の厚さ方向における対物レンズ30の位置を一定位置に固定し、レーザ光Lの集光点Pの位置を、確実に加工対象物1の外部に位置させる。

【0053】

上述のように、凹領域面r2と凸領域面r1との間、すなわち段差r3の位置において、レーザ光Lの照射条件を、変化させた状態から固定した状態に、又は、固定した状態から変化させた状態に切り替えることが好ましい。これにより、切断予定ライン5における凹領域面r2上の部分51bに沿ってレーザ光Lを照射する際に、加工対象物1の外部に集光点Pを確実に合わせることが容易になる。これは、凸部4aの高さHが100 μm 以上と大きい場合に特に有効である。また、入射面rに微細な凹凸やうねり(いずれも数 μm ~数十 μm)がある場合、改質領域が入射面rから一定距離内側の位置に形成されるように入射面rの変位に合わせて対物レンズ30の位置を調整(オートフォーカス機構)することができる。しかしながら、凸部4aの高さHが大きいとアクチュエータ32の駆動量や駆動時間が大きくなるため、段差r3に追従して対物レンズ30を駆動することが困難となる。これに対して、本実施形態の第2の工程では、凸領域面r1では集光点Pの位置が加工対象物1の内部(更に望ましくは改質領域72が形成される位置付近)となるように、且つ、凹領域面r2では集光点Pの位置が加工対象物1の外部となるように、対物レンズ30の位置が設定され、この位置が、レーザ光Lが凹領域面r2を通過する時の対物レンズ30の固定位置であり、且つ、アクチュエータ32により入射面rの微細な凹凸やうねりに追従させて凸領域面r1から一定距離内側の位置に改質領域72を形成するために対物レンズ30を駆動させるための基準位置となる。このため、対物レンズ30を凹領域面r2上から凸領域面r1上に移動する場合、又は、対物レンズ30を凸領域面r1上から凹領域面r2上に移動する場合のいずれであっても、段差r3の位置において対物レンズ30を変動させる状態から固定した状態、もしくは固定した状態から変動させる状態へと変化させる際に、Hが大きくても対物レンズ30の位置を大きく移動させる必要がない。よって、対物レンズ30が段差r3上を通過する際に、対物レンズ30をスムーズに移動させることができるので、加工対象物1の内部の正確な位置に改質領域72を形成することができる。

【0054】

次に、図19に示されるように、改質領域72の形成方法と同様の方法で、改質領域73~77を入射面r側に向けて順に形成する。改質領域73~77は、切断予定ライン5における凸領域面r1上の部分51aに沿って形成されている。改質領域72~77は、加工対象物1の厚さ方向において互いに離間して配置されている。

【0055】

なお、本実施形態では、第2の工程において6列の改質領域72~77を形成するとし

10

20

30

40

50

たが、改質領域の列数はこれに限定されない。例えば、改質領域は1列だけ形成されるとしてもよいし、2列以上形成されるとしてもよい。改質領域の列数は、凸部4aの高さHに応じて適宜設定されることが好ましい。

【0056】

また、改質領域71～77は、上述の改質領域7と同様に、連続的に形成された改質領域からなるとしてもよいし、所定の間隔をおいて断続的に形成された改質領域からなるとしてもよい。

【0057】

(切断工程)

改質領域71～77を形成した後、エキスパンドテープ(図示せず)等の拡張フィルムを加工対象物1に貼り付け、エキスパンド装置(図示せず)により拡張フィルムを拡張することで、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って切断し、加工切片同士を離間する。なお、改質領域71～77を形成する前に拡張フィルムを加工対象物1に貼り付けてもよい。また、切断工程においては、拡張フィルムの拡張に限らず、他の応力印加手段を用いて加工対象物1を切断するとしてもよい。また、例えば、形成した改質領域を起点とした亀裂が加工対象物1の入射面r及び入射面rとは反対側の面に延びて既に切断が完了している場合、エキスパンドテープ等の拡張フィルムの拡張により加工切片同士の間隔を広げないように、隣り合う加工切片は分離される。このようにして、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って高精度に切断することができる。

【0058】

以上説明したように、本実施形態のレーザ加工方法では、入射面rの凹領域面r2及び凸領域面r1における加工対象物1の内部に、それぞれ改質領域71, 72を別の工程で形成する。このため、切断予定ライン5が入射面rの凹領域面r2及び凸領域面r1に渡っている場合に、第1の工程では凹領域面r2から距離d1内側に改質領域71を高精度に形成でき、第2の工程では凸領域面r1から距離d2内側に改質領域72を高精度に形成できる。したがって、本実施形態のレーザ加工方法によれば、レーザ光Lの入射面rが凹凸面である加工対象物1の高精度な切断が可能となる。

【0059】

また、測定用レーザ光を入射面rに照射し、測定用レーザ光の反射光から段差r3の位置を判断することもできる。具体的には、例えば非点収差法に用いられる4分割位置検出素子により反射光の非点信号又は全光量信号を検出する。反射光の非点信号又は全光量信号に基づいて段差r3の位置を判断することができる。例えば、反射光の非点信号が所定の閾値を超えた場合、又は、反射光の全光量信号が所定の閾値を超えた場合に、段差r3の位置に到達したことを判断することができる。なお、測定用レーザ光の集光点が入射面rに位置する場合に、反射光の非点信号はほぼゼロになり、反射光の全光量信号は最大となる。

【0060】

段差r3の位置が分かると、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って移動させる際に、レーザ光Lの集光点Pの位置を、加工対象物1の内部から外部に、又は、加工対象物1の外部から内部に移動させるタイミングを決定できる。また、アクチュエータ32によって対物レンズ30の位置を加工対象物1の厚さ方向に変化させるタイミングや固定するタイミングを決定できる。

【0061】

以上、本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されない。

【0062】

例えば、第1及び第2の工程の実施順序は特に限定されない。例えば、第2の工程の後に第1の工程を実施するとしてもよい。改質領域72～77を形成した後に改質領域71を形成するとしてもよい。

【0063】

10

20

30

40

50

また、第1及び第2の工程のいずれにおいても、レーザー光Lの移動する方向は特に限定されない。例えば、切断予定ライン5における凸領域面r1上の部分51aに沿ってレーザー光Lを照射した後に、切断予定ライン5における凹領域面r2上の部分51bに沿ってレーザー光Lを照射するとしてもよいし、切断予定ライン5における凹領域面r2上の部分51bに沿ってレーザー光Lを照射した後に、切断予定ライン5における凸領域面r1上の部分51aに沿ってレーザー光Lを照射するとしてもよい。

【0064】

また、第1及び第2の工程のいずれにおいても、段差r3の位置において集光点Pの位置を、加工対象物1の内部から外部に、又は、加工対象物1の外部から内部に移動させる際に、例えば、対物レンズ30を加工対象物1の厚さ方向に大きく移動させるとしてもよい。これは、凸部4aの高さHが小さい場合に特に有効である。

10

【0065】

また、第1及び第2の工程のいずれにおいても、集光点Pの位置が加工対象物1の内部に位置する場合には改質領域が形成され易いエネルギーを有するレーザー光Lを用い、集光点Pの位置が加工対象物1の外部に位置する場合には改質領域を形成し難いエネルギーを有するレーザー光Lを用いるとしてもよい。これにより、加工対象物1の内部のうち改質領域が形成される部分以外の部分において、レーザー光Lによるダメージを更に低減することが可能となる。例えばレーザー光Lをパルス発振させることにより、改質領域が形成され易いエネルギーを有するレーザー光Lが得られる。また、例えばレーザー光Lを連続発振させることにより、改質領域を形成し難いエネルギーを有するレーザー光Lが得られる。

20

【0066】

また、改質領域71～77を形成する順序は特に限定されない。例えば、改質領域77, 76, 75, 74, 73, 72, 71を順に形成するとしてもよい。なお、改質領域72～77を入射面r側に向けて順に形成する場合には、レーザー光Lが、既に形成された改質領域により遮断されることを防止できる。

【0067】

また、改質領域71～77は、加工対象物1の内部で生じる多光子吸収により形成されることに限定されない。改質領域71～77は、多光子吸収と同等の光吸収を加工対象物1の内部で生じさせることにより形成されるとしてもよい。

【0068】

また、凹領域面r2と改質領域71との間の距離d1と、凸領域面r1と改質領域72との間の距離d2とは同じでもよいし、互いに異なってもよい。

30

【0069】

また、入射面rにおける段差r3の位置は、例えば、予め段差計により測定されるとしてもよい。また、加工対象物1の設計値から段差r3の位置を算出することもできる。段差r3の位置が分かった後、加工対象物1が載置されるステージのスケール座標をレーザー光Lの制御装置に取り込んで、段差r3の位置において、レーザー光Lの集光点Pを加工対象物1の内部から外部に移動させるとしてもよいし、レーザー光Lの集光点Pを加工対象物1の外部から内部に移動させるとしてもよい。また、段差r3の位置において、レーザー光Lの照射条件を変化させた状態から固定した状態に切り替えるとしてもよいし、レーザー光Lの照射条件を固定した状態から変化させた状態に切り替えるとしてもよい。

40

【0070】

また、切断予定ライン5に沿って改質領域71～77を形成しながら測定用レーザー光を入射面rに照射してその反射光を測定し、反射光の変化から段差r3の位置を判断するとしてもよい。

【0071】

また、本実施形態においては、加工対象物1としてシリコン製の半導体ウェハを用いているが、半導体ウェハの材料はこれに限られるものではない。半導体ウェハの材料としては、例えば、シリコン以外のIV族元素半導体、SiCのようなIV族元素を含む化合物半導体、III-V族元素を含む化合物半導体、II-VI族元素を含む化合物半導体、更に種々の

50

ドーパント（不純物）がドーブされた半導体等が挙げられる。さらに、加工対象物 1 は、半導体デバイスと支持基板との間に絶縁層が設けられた S O I（Silicon-on-insulator）ウェハでもよい。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工中の加工対象物の平面図である。

【図2】図1に示す加工対象物のII-II線に沿っての断面図である。

【図3】本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。

10

【図4】図3に示す加工対象物のIV-IV線に沿っての断面図である。

【図5】図3に示す加工対象物のV-V線に沿っての断面図である。

【図6】本実施形態に係るレーザ加工方法により切断された加工対象物の平面図である。

【図7】本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。

【図8】本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物を切断する際のクラック領域形成工程における加工対象物の断面図である。

【図9】本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物を切断する際のクラック成長工程における加工対象物の断面図である。

【図10】本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物を切断する際のクラック成長工程における加工対象物の断面図である。

20

【図11】本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物を切断する際の切断工程における加工対象物の断面図である。

【図12】本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

【図13】本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

【図14】本実施形態のレーザ加工方法における加工対象物の一例を模式的に示す平面図である。

【図15】図14中のXV-XV矢印に沿った断面図である。

30

【図16】本実施形態のレーザ加工方法の第1の工程における加工対象物の部分断面図である。

【図17】本実施形態のレーザ加工方法の第1の工程後における加工対象物の部分断面図である。

【図18】本実施形態のレーザ加工方法の第2の工程における加工対象物の部分断面図である。

【図19】本実施形態のレーザ加工方法の第2の工程後における加工対象物の部分断面図である。

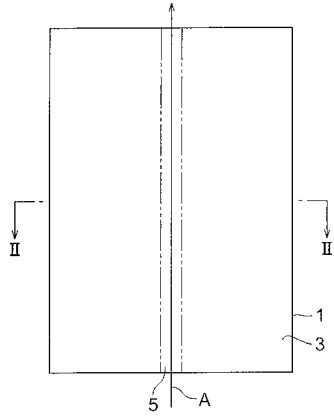
【符号の説明】

【0073】

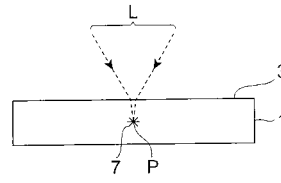
40

1 ... 加工対象物、5 ... 切断予定ライン、5 1 a ... 切断予定ラインにおける凸領域面上の部分、5 1 b ... 切断予定ラインにおける凹領域面上の部分、7 ... 改質領域、7 1 ... 第1の改質領域、7 2 ... 第2の改質領域、r ... 入射面、r 1 ... 入射面の凸領域面、r 2 ... 入射面の凹領域面、L ... 加工用レーザ光、P ... 集光点。

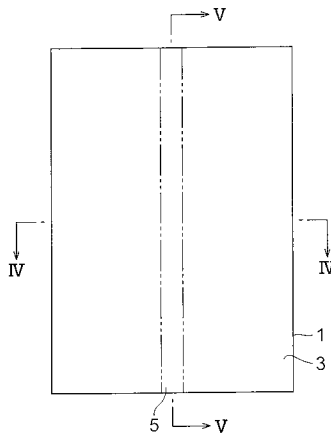
【図 1】



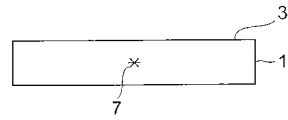
【図 2】



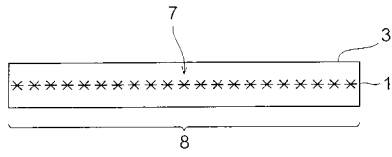
【図 3】



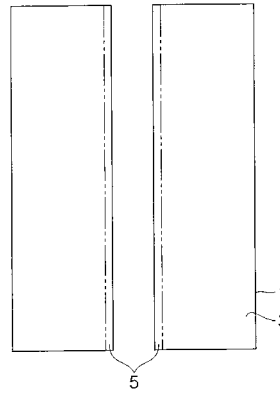
【図 4】



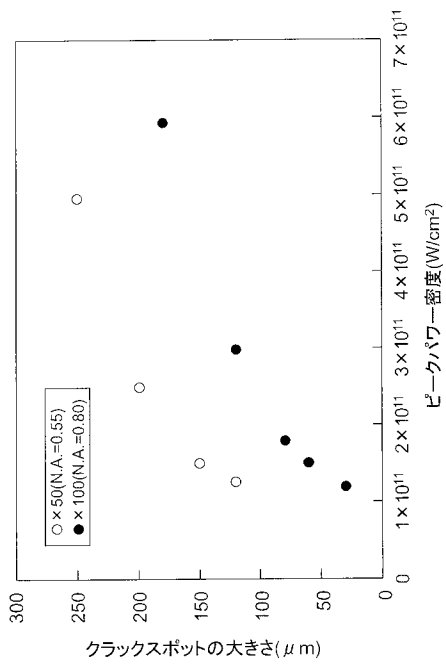
【図5】



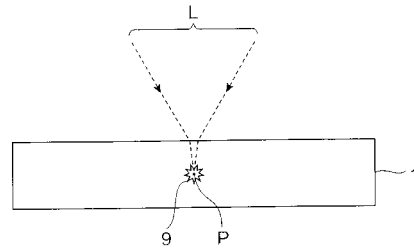
【図6】



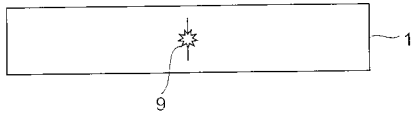
【図7】



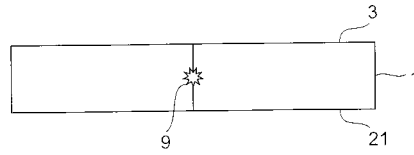
【図8】



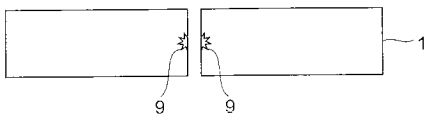
【図 9】



【図 10】



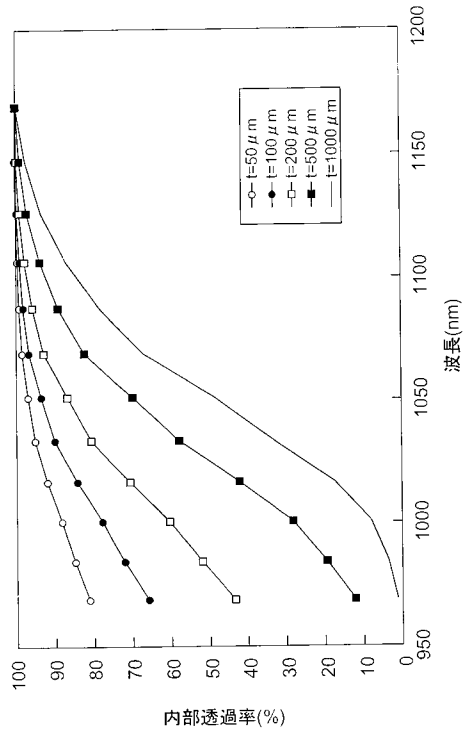
【図 11】



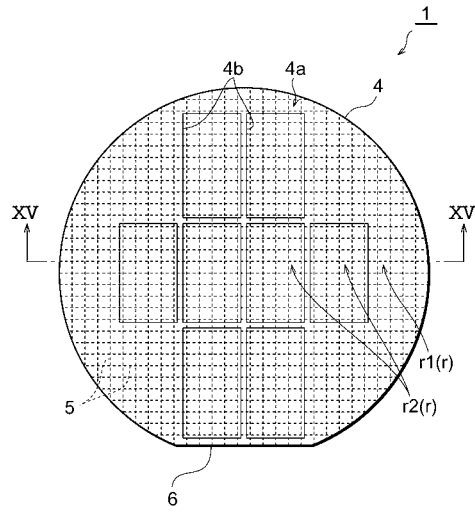
【図 12】



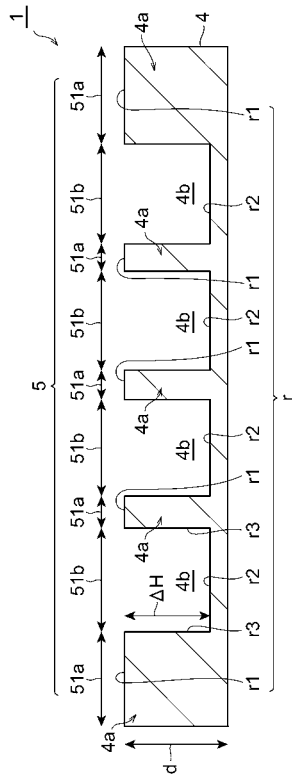
【図13】



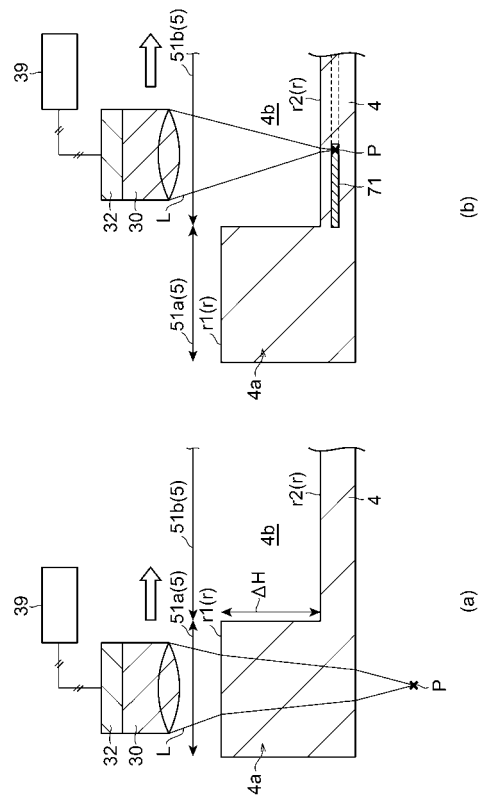
【図14】



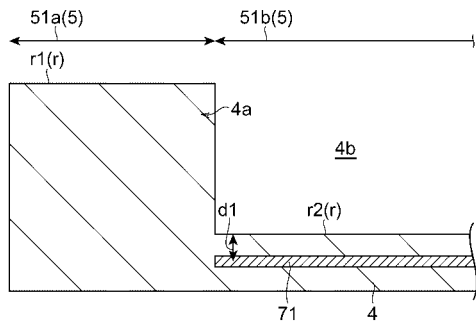
【図15】



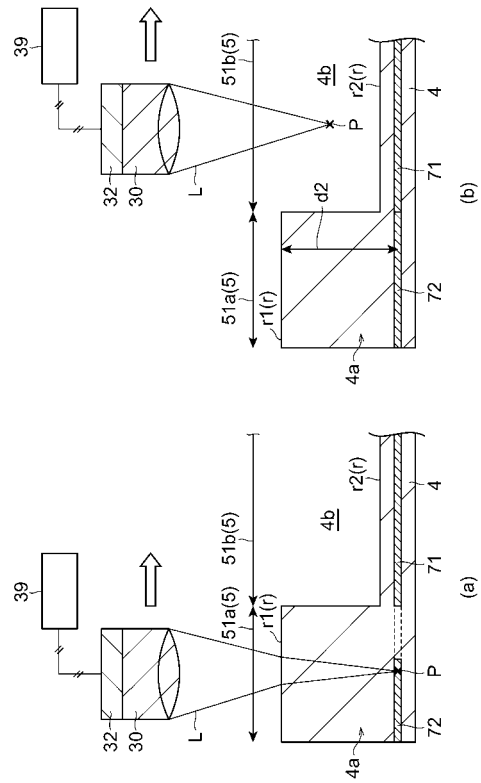
【図16】



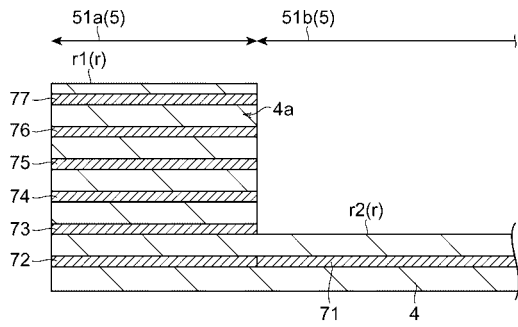
【 図 17 】



【 図 18 】



【 図 19 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B 2 3 K 101/40 (2006.01) B 2 3 K 101:40

審査官 松本 公一

(56)参考文献 特開2002-192371(JP,A)
特開2002-219591(JP,A)
特開2003-266185(JP,A)
特開2006-074025(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 4 2
H 0 1 L 2 1 / 3 0 1