

(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2010-188370

(P2010-188370A)

(43) 公開日 平成22年9月2日(2010.9.2)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 D	4 E 0 6 8
B 2 3 K 26/06 (2006.01)	B 2 3 K 26/06 Z	
	B 2 3 K 26/06 J	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2009-34144 (P2009-34144)
 (22) 出願日 平成21年2月17日 (2009.2.17)

(71) 出願人 000000011
 アイシン精機株式会社
 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地
 (74) 代理人 100081776
 弁理士 大川 宏
 (72) 発明者 渥美 貴文
 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機株式会社内
 (72) 発明者 池田 優二
 神奈川県相模原市清新5-17-7-101
 Fターム(参考) 4E068 AE01 CB08 CD03 CD08 DA10 DB12

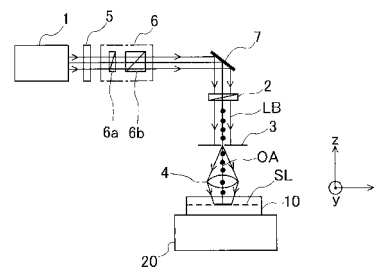
(54) 【発明の名称】 レーザ加工装置及びレーザ加工方法

(57) 【要約】

【課題】 切断面の平坦度が高く、加工速度の速いレーザ加工装置及び加工方法を提供すること。

【解決手段】 レーザ光LBを出射するレーザ光源1と、レーザ光LBを切断予定ラインSLに平行な方向に回折させる回折を利用した光学素子3と、回折を利用した光学素子3で回折されたレーザ光LBを加工対象物10の内部に集光する集光レンズ4と、を有することを特徴とするレーザ加工装置。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

加工対象物にレーザ光を集光照射することにより、前記加工対象物の割断予定ラインに沿って、割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加工装置であって、

前記レーザ光を出射するレーザ光源と、

前記レーザ光源から出射された前記レーザ光を前記割断予定ラインに平行な方向に回折させる回折を利用した光学素子と、

前記回折を利用した光学素子で回折された前記レーザ光を前記加工対象物の内部に集光する集光レンズと、を有することを特徴とするレーザ加工装置。

10

【請求項 2】

前記レーザ光を、前記割断予定ラインと光軸を含む面と直交する方向に偏光させる偏光素子を有する請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 3】

前記回折を利用した光学素子は、前記割断予定ラインと前記光軸を含む面と直交する方向に延在するスリットを形成する一対のナイフエッジを備える請求項 1 または 2 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 4】

前記回折を利用した光学素子の回折角を α 、前記集光レンズの入射瞳径を D 、としたとき、前記回折を利用した光学素子と前記集光レンズとの間隔が $D / 2 \times \alpha$ 以下である請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載のレーザ加工装置。

20

【請求項 5】

加工対象物にレーザ光を集光照射することにより、前記加工対象物の割断予定ラインに沿って、割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加工方法であって、

前記レーザ光を回折を利用した光学素子で前記割断予定ラインに平行な方向に回折させる回折ステップと、

前記回折ステップで回折されたレーザ光を集光レンズで前記加工対象物の内部に集光照射する集光照射ステップと、を有することを特徴とするレーザ加工方法。

30

【請求項 6】

前記レーザ光を、前記割断予定ラインと光軸を含む面と直交する方向に偏光させる偏光ステップを有する請求項 5 に記載のレーザ加工方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、レーザ光を加工対象物の割断予定ラインに沿って集光照射して割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及びレーザ加工装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

40

従来、半導体基板とか、圧電セラミック基板とか、ガラス基板等の硬脆材料板体を割断するにあたり、加工対象板体の内部に割断予定ラインに沿って板体に透明な波長を有する短光パルスレーザ光を集光照射し、内部に微小クラックが群生した微細溶融痕（改質領域）を生成させ、その後応力を加えて、その微細溶融痕を起点に板体の厚さ方向に向かって生じるクラックを利用して割断していた（例えば、特許文献 1 参照。）。

【0003】

また、レーザ光のビーム径を逆望遠鏡で拡大して指向性を高め、スリットで割断予定ラインに平行なシート状ビームに整形して集光レンズで集光照射する加工方法も知られている（例えば、特許文献 2 参照。）。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-271563号公報

【特許文献2】特開2007-75886号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、この従来のレーザ加工方法では、レーザ光が円形スポットに集光されるため、クラックを発生させて成長させる内部応力が等方的に働く。そのため、クラックが割断予定ラインに沿う方向以外にも発生、成長してしまい、クラックの発生、成長を割断予定ライン方向に集中させることができない。その結果、割断面の平坦度が損なわれる。また、円形スポットを割断予定ラインに沿って照射する際、単位長さ当たりの照射スポットの数が多くなり、加工速度が遅いという問題もある。

10

【0006】

また、従来の割断予定ラインに平行なシート状ビームを集光照射する方法では、集光点におけるレーザビームの断面形状を、割断予定ラインに垂直な方向の最大長さが割断予定ラインに平行な方向の最大長さより短い形状とする。そのため、割断面にツイストハックルが現れるのを抑制し、割断面の平坦度を向上させることができる。しかしながら、この方法による集光点における断面形状の割断予定ラインに平行な方向の最大長さは、通常の円形ビームを集光した場合の円形集光スポットの直径と同じであり、依然として単位長さ当たりの照射スポットの数を多くしなければならない。その結果、加工速度が遅いという問題が依然として残る。

20

【0007】

本発明は、上記の問題に鑑みてなされたものであり、割断面の平坦度が高く、加工速度の速いレーザ加工装置及び加工方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記の課題を解決するためになされた本発明のレーザ加工装置は、加工対象物にレーザ光を集光照射することにより、前記加工対象物の割断予定ラインに沿って、割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加工装置であって、前記レーザ光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射された前記レーザ光を前記割断予定ラインに平行な方向に回折させる回折を利用した光学素子と、前記回折を利用した光学素子で回折された前記レーザ光を前記加工対象物の内部に集光する集光レンズと、を有することを特徴とする。

30

【0009】

上記のレーザ加工装置において、前記レーザ光を、前記割断予定ラインと光軸を含む面と直交する方向に偏光させる偏光素子を有するようにするとよい。

【0010】

また、前記回折を利用した光学素子は、前記割断予定ラインと前記光軸を含む面と直交する方向に延在するスリットを形成する一対のナイフエッジを備えたとよい。

40

【0011】

また、前記回折を利用した光学素子の回折角を α 、前記集光レンズの入射瞳径を D 、としたとき、前記回折を利用した光学素子と前記集光レンズとの間隔が $D / 2 \sin \alpha$ 以下であるとよい。

【0012】

上記の課題を解決するためになされた本発明のレーザ加工方法は、加工対象物にレーザ光を集光照射することにより、前記加工対象物の割断予定ラインに沿って、割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加工方法であって、前記レーザ光を回折を利用した光学素子で前記割断予定ラインに平行な方向に回折させる回折ステップと、前記回折ステップで回折されたレーザ光を集光レンズで前記加工対象物の内部に集光

50

照射する集光照射ステップと、を有することを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

上記のレーザ加工方法において、さらに、前記レーザ光を、前記割断予定ラインと光軸を含む面と直交する方向に偏光させる偏光ステップを有するとよい。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

割断予定ラインに沿った方向に回折角をもつ回折を利用した光学素子を通過した光をレンズで集光すると、そのレンズの焦平面にフラウンホーファー回折パターンができる。その回折パターンは、レーザ光が割断予定ラインに平行な方向に回折しているので、割断予定ラインに平行な方向の最大長さを通常の円形ビームを集光した場合の円形集光スポットの直径より大きくすることができる。その結果、単位長さ当たりの照射スポットの数を少なくでき、加工速度を早くすることができる。

【 0 0 1 5 】

レーザ光が割断予定ラインと光軸を含む面と直交する方向に偏光していると、割断予定ラインと光軸を含む面と平行方向（厚さ方向）にクラックが多く発生する。その結果、小さい割断荷重で割断することができる。

【 0 0 1 6 】

回折を利用した光学素子の回折角を α 、前記集光レンズの入射瞳径を D 、としたとき、回折を利用した光学素子と集光レンズとの間隔が $D / 2 \sin \alpha$ 以下であると、回折したレーザ光が入射瞳径から外れることがなく、効率よく集光することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 本発明に係るレーザ加工装置の $x - z$ 平面視図である。

【 図 2 】 図 1 の要部斜視図である。

【 図 3 】 図 1 の要部拡大視図である。

【 図 4 】 集光領域の $x - y$ 平面視図である。

【 図 5 】 実施例 1 のバーンパターン観察写真である。

【 図 6 】 比較例 1 のバーンパターン観察写真である。

【 図 7 】 ブレーキング装置の模式図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 8 】

本発明を実施するための最良の形態を図面を参照して説明する。

【 0 0 1 9 】

図 1 は、本発明に係るレーザ加工装置の $x - z$ 平面視図、図 2 は、図 1 の要部斜視図である。図 3 は、図 1 の要部拡大視図、図 4 は、集光領域の $x - y$ 平面視図である。

【 0 0 2 0 】

本発明のレーザ加工装置は、図 1 に示すように、短パルスレーザ光を出射するレーザ光源 1 と、短パルスレーザ光を加工対象物 10 の割断予定ライン SL と z 軸に平行な光軸 OA を含む面と直交する方向（ y 軸方向）に偏光させる偏光素子 2 と、短パルスレーザ光を割断予定ライン SL に平行な x 軸方向に回折させる回折を利用した光学素子 3 と、回折を利用した光学素子 3 で回折された短パルスレーザ光を加工対象物 10 の内部に集光する集光レンズ 4 と、を備えている。

【 0 0 2 1 】

レーザ光源 1 は、例えば、モードロックファイバレーザ（米国イムラ社、モデル D 1 0 0 0 ）であり、仕様・性能は以下の通りである。

【 0 0 2 2 】

中心波長	: 1 0 4 5 nm
ビーム径 d_0	: 4 mm
モード	: シングル（ガウシアン）
パルス幅	: 7 0 0 fs

10

20

30

40

50

パルスエネルギー：10 μ J

繰り返し周波数：100 kHz

平均パワー：1000 mW

レーザ光源1から出射された短パルスレーザ光は、シャッタ5が開かれると加工対象物10に向かう。

【0023】

シャッタ5を通過したレーザ光は、次の減衰器6で所定のパワーに減衰される。減衰器6は1/2波長板6aと偏光ビームスプリッタ6bとからなる。

【0024】

減衰器6を通過したレーザ光は、光路折り曲げミラー7でx軸方向からz軸方向に折り曲げられる。

【0025】

偏光素子2は、1/2波長板であり、偏光素子2を通過したレーザ光は、切断予定ラインSLとz軸に平行な光軸OAを含む面と直交する方向(y軸方向)に偏光した直線偏光になる。

【0026】

回折を利用した光学素子3は、図2に示すように、切断予定ラインSLと光軸OAを含む面と直交する方向(y軸方向)に延在する幅wのスリットを形成する一対のナイフエッジである。本実施形態では、厚さ0.1 mmの矩形ステンレス板31、32の一辺31a、32aがy軸方向に平行で、且つ隙間(スリット幅)がw = 1 mmとなるように対向して配置されてスリットを形成している。

【0027】

回折を利用した光学素子3で回折されたレーザ光は、回折を利用した光学素子3からL = 300 mm離れた集光レンズ4で加工対象物10の内部に集光スポットの長軸が加工予定ラインSLに沿うように集光される。

【0028】

集光レンズ3は、例えば、顕微鏡対物レンズ(ミットヨ製 モデルM Plan Apo NIR HR50x/0.65)であり、仕様・性能は下記の通りである。

【0029】

対象光：近赤外光

倍率：50x(焦点距離：4 mm)

開口数：0.65(入射瞳径：5.2 mm)

加工対象物10は、xyz軸移動ステージ20に載置されている。

【0030】

次に、図3及び図4を参照しながら、回折を利用した光学素子3で回折されたレーザ光が集光レンズ4でどのように集光されるかを説明する。

【0031】

回折を利用した光学素子3に入射する波長のレーザ光はシングルモードであるため、ビーム径をd0とすると、広がり角は

$$\theta \approx \lambda / d_0 \quad (1)$$

と表される。

【0032】

また、スリット幅がwの回折を利用した光学素子3によるx軸方向(切断予定ラインSLに平行な方向)の回折角 α は、

$$\alpha \approx 0.688 \lambda / w \quad (2)$$

と表される。

【0033】

レーザ光は、回折を利用した光学素子3でy軸方向には回折されないので、焦点距離fの集光レンズ4で集光したときの集光スポットのy軸方向の径(短軸の長さ)dsは、

$$d_s \approx 2 f \theta \approx 2 f \lambda / d_0 \quad (3)$$

10

20

30

40

50

と表される。

【0034】

一方、レーザ光は、回折を利用した光学素子でx軸方向に回折されるので、集光スポットのx軸方向の径(長軸の長さ)d_lは、

$$d_l = 2 f \sin \theta \approx 1.376 \lambda f / w \quad (4)$$

と表される。

【0035】

加工速度を速くするためには、

$$d_l > d_s \quad (5)$$

を満たす必要がある。(3)~(5)式から、加工速度を速くするためには、

$$w < 0.344 d_0$$

を満たす必要がある。すなわち、スリット幅wをレーザ光のビーム径d₀に0.344を乗じた値より小さくすれば、加工速度が速くなることがわかる。

【0036】

例えば、上記のように、d₀=4mmのレーザ光の場合、w<4.3mmとなり、スリット幅wを4.3mm未満にする必要がある。

【0037】

なお、本実施形態では、d₀=4mm、λ=1045nm、f=4mm、w=1mmであるので、(3)式からd_s=1.3μm、(4)式からd_l=5.8μm(短径と長径の比である楕円率が0.22)となる。すなわち、本発明によれば、レーザ光を回折させずに集光したときの集光スポットを割断予定ラインSLに6個配列したのと同等の集光スポットになり、加工速度が6倍になることがわかる。

【0038】

図3において回折角θが大きい場合や回折を利用した光学素子3と集光レンズ4との間隔が大である場合、回折光の全てが集光レンズ3の入射瞳4aを通過できなくなり、レーザ光のパワーを損してしまう。回折を利用した光学素子3から入射瞳4aまでの距離をL、入射瞳径をDとすると、回折光が回折を利用した光学素子3からLだけ離れた位置では2L tan θ ≈ 2L θに広がるので、これが入射瞳径Dより小さければ、パワー損失が起こらない。したがって、パワー損失を回避するためには、

$$2 L \theta < D$$

$$L < D / 2 \theta$$

を満たす必要がある。本実施形態ではD=5.2mm、θ=0.719mradであるので、Lが3600mm未満であればパワー損失が回避される。なお、本実施形態では、L=300mmであるので、入射瞳での蹴られによるパワー損失がない。

【実施例1】

【0039】

図1に示すレーザ加工装置で集光スポットの検証実験を行った。加工対象物10は、厚さ300μmのシリコン板である。シリコン板の表面に集光レンズ4の焦点を合わせ、集光スポットに対応するバーンパターンを観察した。なお、このときの回折を利用した光学素子3に入射するレーザ光のパワーは、減衰器6で5mWに調整された。また、移動ステージ20のx軸移動速度は、500mm/sであった。

【0040】

図5にバーンパターン観察写真を示す。図5aは、観察倍率が低い場合であり、図5bは、観察倍率を高くして観察した写真である。図5aから、集光スポットが割断予定ラインSLに沿って連続していることがわかる。また、一つの集光スポットは、長径が割断予定ラインSLと一致する楕円であることがわかる。なお、この写真から長径d_l=5μm、短径d_s=1.4μm、楕円率が0.28であった。これから、この実測値が上記計算値と誤差範囲で一致することがわかる。

【0041】

〔比較例1〕

10

20

30

40

50

図 1 の回折を利用した光学素子 3 を除去した以外は、実施例 1 と同じ条件でバーンパターンを観察した。

【 0 0 4 2 】

図 6 にバーンパターン観察写真を示す。これから、集光スポットが円形で、切断予定ライン SL に沿って飛び飛びに位置することがわかる。

【 実施例 2 】

【 0 0 4 3 】

図 1 に示すレーザ加工装置で切断実験を行った。加工対象物 10 は、厚さ 100 μm のサファイア板である。サファイア板を x y z 軸移動ステージ 20 に載置し、サファイア板の表面に集光レンズ 4 の焦点を合わせてから、ステージ 20 を z 軸方向（図 1 で上方）に 8 μm 移動させた。この表面から 8 μm の深さの焦点位置は、サファイアの波長 1045 nm に対する屈折率（1.75）を考慮して、集光レンズ 3 の実効倍率（1.89）から、20 μm の深さの焦点位置に相当する。

【 0 0 4 4 】

移動ステージ 20 でサファイア板 10 を x 軸方向（切断予定ライン SL 方向）に 500 mm/s の速度で移動させながら、150 mW のレーザ光を集光照射し、内部に微小クラックが群生した微細溶解痕（改質領域）を生成させた。

【 0 0 4 5 】

次に、図 7 に模式的に示すように、ブレーキング装置（Daitron 社製 モデル DBR-301R）を使って、微細溶解痕 10a を起点にサファイア板 10 の厚さ方向に向かって生じるクラックを利用して切断した。

【 0 0 4 6 】

図 7 に示すように、まず、サファイア板 10 の切断予定ライン SL に沿って内部に形成された微細溶解痕 10a の両側（図 8 中、白抜き矢印 17 で示す部分）を裏面から保持する。次に、サファイア板 10 の表面における微細溶解痕 10a に対応する部位（図 7 中、白抜き矢印 18 で示す部位）に図示しないブレードを押し当ててブレードを押し込むことにより、微細溶解痕 10a に歪み応力を集中させて切断した。

【 0 0 4 7 】

切断できるブレードの最小押し込み量を求めた結果、30 μm であった。

【 0 0 4 8 】

〔 比較例 2 〕

図 1 の回折を利用した光学素子 3 を除去した以外は、実施例 2 と同じ条件でサファイア板の切断を行った。切断できるブレードの最小押し込み量は、60 μm であった。また、切断面の平坦度も低かった。

【 0 0 4 9 】

実施例 2 に比べ、ブレードの押し込み量が 60 μm と 2 倍になり、平坦度が低下する。すなわち、本発明に比べ、切断し難くなるのは、比較例 1 のバーンパターン観察写真（図 6）から、次のように考えられる。回折を利用した光学素子 3 がいないため、サファイア板 10 の内部に形成される微細溶解痕 10a が切断予定ライン SL 方向に繋がらない。その結果、切断し難く、無理に切断するため平坦度が低下すると考えられる。

【 0 0 5 0 】

移動ステージ 20 の移動速度を落として、微細溶解痕 10a が切断予定ライン SL 方向に繋がるようにすれば、ブレードの少ない押し込み量で切断できるので、本発明に比べ加工速度が遅いことになる。このことは、本発明は加工速度が速く、且つ切断面の平坦度が高いことを意味する。

【 0 0 5 1 】

〔 比較例 3 〕

図 1 の 1 / 2 波長板 2 を除去した以外は、実施例 2 と同じ条件でサファイア板の切断を行った。切断できるブレードの最小押し込み量は、40 μm であった。すなわち、実施例 2 に比べ、切断し難かった。

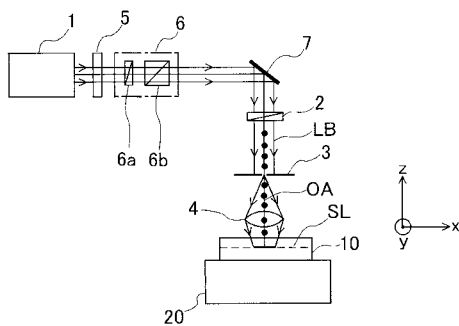
【符号の説明】

【 0 0 5 2 】

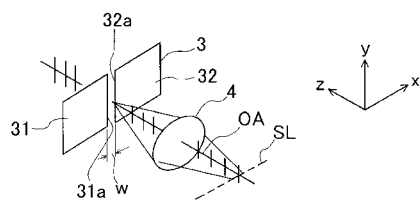
- 1 レーザ光源
 2 偏光素子
 3 回折を利用した光学素子（ナイフエッジ）
 4 集光レンズ
 1 0 加工対象物
 1 0 a 改質領域（微細溶融痕）
 3 0 透過型回折格子
 LB レーザ光
 SL 切断予定ライン

10

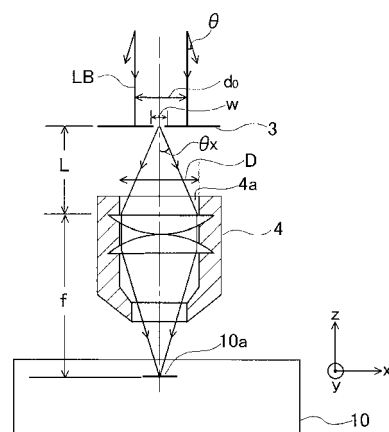
【 図 1 】



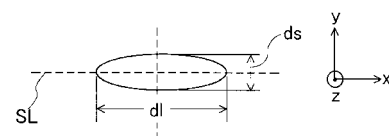
【 図 2 】



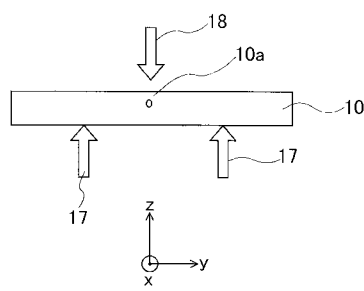
【 図 3 】



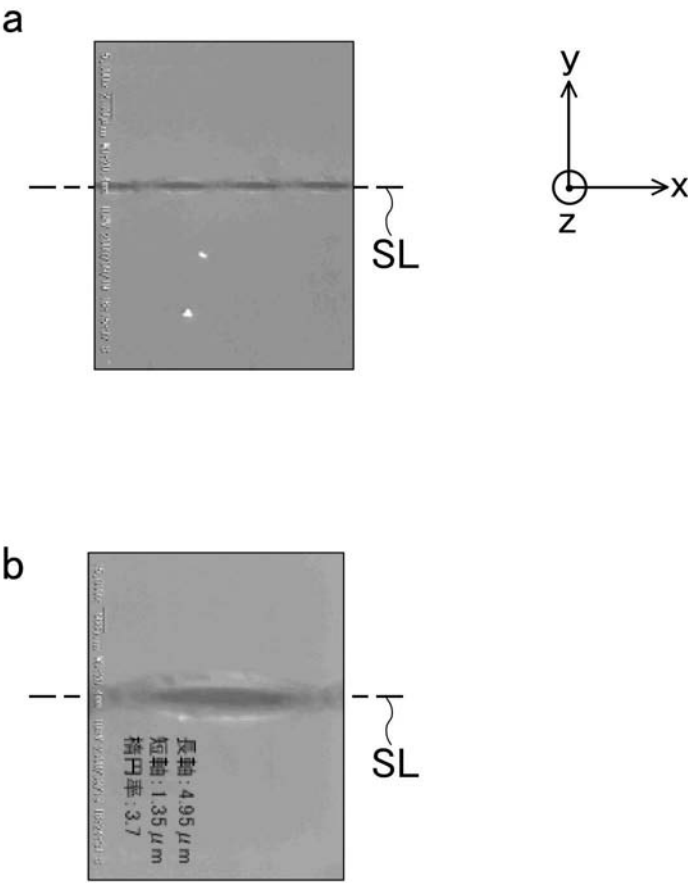
【 図 4 】



【 図 7 】



【 図 5 】



【図 6】

