

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2006年2月2日 (02.02.2006)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2006/011372 A1

- (51) 国際特許分類:  
B23K 26/40 (2006.01) B23K 26/06 (2006.01)  
B23K 26/00 (2006.01) B28D 5/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/013055
- (22) 国際出願日: 2005年7月14日 (14.07.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2004-224505 2004年7月30日 (30.07.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 坂本 剛志 (SAKAMOTO, Takeshi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜

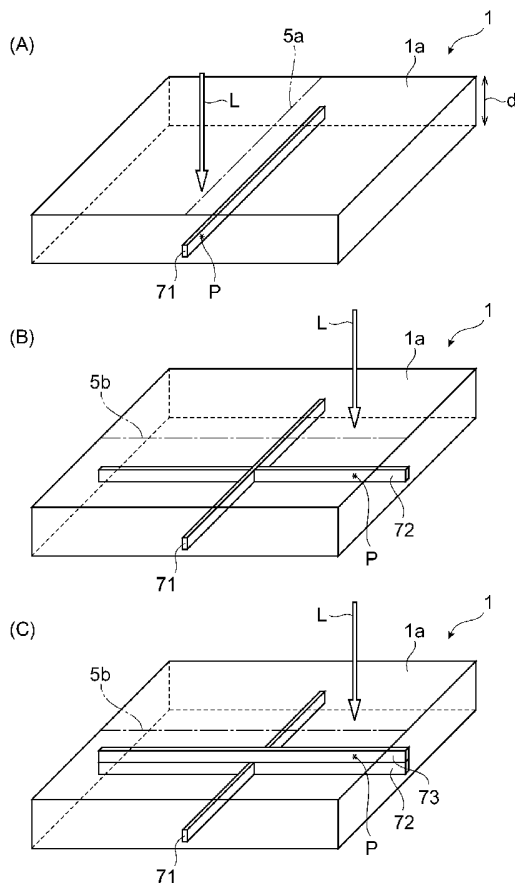
松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 10 番 6 号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

[続葉有]

(54) Title: LASER PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: レーザ加工方法



(57) Abstract: A laser processing method enabling highly accurate cutting of an object to be processed. In the laser processing method, laser light (L) is irradiated with a light concentration point (P) set at the inside of a plate-like object (1) to be processed. First, a first reforming region (71) as a start point of cutting is formed along a first to-be-cut line (5a) of the object (1). Then, a second reforming region (72) as a start point of cutting is formed along a second to-be-cut line (5b), intersecting with the to-be-cut line (5a), so as to intersect with at least a portion of the reforming region (71). After that, a fourth reforming region (73) as a start point of cutting is formed along the to-be-cut line (5b) so as to intersect with at least a portion of the reforming region (73), the third reforming region (74) being formed along the to-be-cut line (5a) so as to intersect with at least a portion of the reforming region (71) and an incident surface (1a) of the object (1), into which incident surface (1a) the laser light (L) enters.

(57) 要約: 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。本発明のレーザ加工方法では、板状の加工対象物 1 の内部に集光点 P を合わせてレーザ光 L を照射する。まず、加工対象物 1 の第 1 の切断予定ライン 5 a に沿って、切断の起点となる第 1 の改質領域 7 1 を形成する。次に、切断予定ライン 5 a と交差する第 2 の切断予定ライン 5 b に沿って、改質領域 7 1 の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第 2 の改質領域 7 2 を形成する。次に、切断予定ライン 5 b に沿って、切断の起点となる第 4 の改質領域 7 3 を形成する。次に、改質領域 7 1 とレーザ光 L が入射する加工対象物 1 の入射面 1 a との間に、切断予定ライン 5 a に沿って、改質領域 7 3 の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第 3 の改質領域 7 4 を形成する。

WO 2006/011372 A1



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,  
IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),  
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

## レーザ加工方法

## 技術分野

[0001] 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] 従来におけるこの種の技術として、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することで、切断予定ラインに沿った改質領域を加工対象物の内部に複数列形成し、その改質領域を切断の起点とするというレーザ加工方法がある(例えば、特許文献1参照)。

特許文献1:特開2002-205180号公報

## 発明の開示

## 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、板状の加工対象物を格子状に切断しようとする場合、例えば、図20(A)及び図20(B)に示されるように加工対象物の内部に改質領域を形成する。図20(A)及び図20(B)は、加工対象物101の内部に改質領域171, 172を形成する際の順序の一例を説明するための模式図であり、図21は図20(B)に示す加工対象物のXXI-XXI線に沿った断面図である。

[0004] 改質領域171, 172は以下のような順序で形成される。まず、図20(A)に示されるように、厚さ100dの加工対象物101の内部に集光点を合わせてレーザ光100Lを照射することで、切断予定ライン105aに沿った改質領域171を加工対象物101の内部に形成する。次に、図20(B)に示されるように、加工対象物101の内部に集光点を合わせてレーザ光100Lを照射することで、切断予定ライン105aに交差する切断予定ライン105bに沿った改質領域172を加工対象物101の内部に形成する。改質領域171, 172は、加工対象物101の厚さ方向に並設された複数列の改質領域からなり、これら複数列の改質領域は、レーザ光100Lの入射面101aから遠い順に形成される。

[0005] 上述の順序で改質領域171, 172を形成すると、図21に示されるように、改質領域171と改質領域172とが交差する場所に、改質領域172が形成されていない未改質領域(トライアングルエリア)101bが残存してしまう。この未改質領域101bの幅W1は、レーザ光100Lの入射面101aから遠くなるに連れて広がっている。このような未改質領域101bは、加工対象物101の厚さ100dが大きい場合に顕著に確認される。続いて、図21中の領域A1を撮影した写真の例を図22に示し、図21中の領域B1を撮影した写真の例を図23(A)及び図23(B)に示す。図22、図23(A)及び図23(B)は、上述の順序で改質領域171, 172を形成することにより切断された加工対象物101の切断面の写真を表した図である。なお、図22、図23(A)及び図23(B)には、加工対象物101の厚さ100dが300  $\mu$  m以上と大きい場合の例が示されている。

[0006] 図22中の領域P1内には、改質領域172が形成されていない未改質領域101bが確認される。未改質領域101bが形成された加工対象物101をエキスパンド装置により切断すると、未改質領域101bに起因して加工対象物101が高精度に切断されないおそれがある。例えば、図23(A)中の領域P2内にはチッピングが確認され、図23(B)中の領域P3内にはスカート(切断面171sから突出した部分)が確認される。

[0007] このように、上述の順序で改質領域を形成することにより加工対象物を格子状に切断する場合、その切断精度には未だ改善の余地があるといえる。

[0008] 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

[0009] 上述の課題を解決するため、本発明者らは、未改質領域101bが形成されるメカニズムについて詳細に検討した。その検討結果について、図24を用いて説明する。図24は、上述の順序で改質領域171, 172を形成するときの一工程における加工対象物101の概略断面図である。図24には、改質領域172を形成する工程が示されている。改質領域172の一部となる改質領域172aは、レンズ100LLによって集光されるレーザ光100Lをスキャンさせることにより加工対象物101の内部に形成される。このとき改質領域171が既に形成されているので、改質領域172aを形成する位置が入射面101aから遠くなるほどレーザ光100Lは改質領域171によって遮られる傾向

にある。その結果、未改質領域101bの幅W1は入射面101aから遠くなるに連れて広くなると考えられる。

- [0010] そこで、本発明のレーザ加工方法は、板状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、加工対象物の第1の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる第1の改質領域を加工対象物の内部に形成すると共に、第1の切断予定ラインと交差する第2の切断予定ラインに沿って、第1の改質領域の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第2の改質領域を加工対象物の内部に形成する第1の工程と、第1の工程の後、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、第1の改質領域とレーザ光が入射する加工対象物の入射面との間における加工対象物の内部に、第1の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる第3の改質領域を形成すると共に、第2の改質領域と入射面との間における加工対象物の内部に、第2の切断予定ラインに沿って、第3の改質領域の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第4の改質領域を形成する第2の工程と、を含むことを特徴とする。
- [0011] このレーザ加工方法では、第1及び第3の改質領域を形成した後に第2及び第4の改質領域を形成する方法に比べて、レーザ光を照射する際に当該レーザ光を遮る改質領域の加工対象物の厚さ方向における高さが低くなる。このため、改質領域が形成されていない未改質領域が生じ難くなるので、加工対象物の高精度な切断が可能となる。
- [0012] なお、第1の工程において、第1及び第2の改質領域を形成する順序は特に限定されない。また、第2の工程において、第3及び第4の改質領域を形成する順序も特に限定されない。
- [0013] また、第1の工程では、第1の改質領域を形成した後に第2の改質領域を形成し、第2の工程では、第3の改質領域を形成した後に第4の改質領域を形成することが好ましい。
- [0014] また、第1の工程では、第1の改質領域を形成した後に第2の改質領域を形成し、第2の工程では、第4の改質領域を形成した後に第3の改質領域を形成することが好ましい。

- [0015] このレーザ加工方法では、第2及び第4の改質領域を形成するときに、いずれも第2の切断予定ラインに沿ってレーザ光を移動させる。このため、第1の工程と第2の工程との間でレーザ光の移動方向を変える必要がない。よって、第4の改質領域を短時間で且つ高精度に形成することができる。
- [0016] また、第1の改質領域を形成するときに入射面の第1の入射面情報を記録し、その第1の入射面情報を用いて第3の改質領域を形成し、第2の改質領域を形成するときに入射面の第2の入射面情報を記録し、その第2の入射面情報を用いて第4の改質領域を形成することが好ましい。ここで、「入射面情報」とは、例えば入射面に存在する凹凸の加工対象物の厚さ方向における高さ情報をいう。
- [0017] この場合、第3の改質領域を、入射面の凹凸やうねりに合わせて第1の改質領域と略同じ形状で形成することができる。同様に、第4の改質領域を、入射面の凹凸やうねりに合わせて第2の改質領域と略同じ形状で形成することができる。
- [0018] また、第1～第4の改質領域の少なくとも1つは、加工対象物の厚さ方向に並設された複数列の改質領域からなることが好ましい。
- [0019] この場合、加工対象物の厚さ方向における第1～第4の改質領域の高さをいずれも高くすることができる。
- [0020] また、第1及び第2の改質領域、又は、第3及び第4の改質領域、の少なくとも一方が、加工対象物の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなることが好ましい。例えば、(i) 第1及び第2の改質領域が加工対象物の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなる場合、(ii) 第3及び第4の改質領域が加工対象物の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなる場合、(iii) 第1及び第2の改質領域が加工対象物の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなり、且つ、第3及び第4の改質領域が加工対象物の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなる場合が挙げられる。
- [0021] 上記(i)の場合、加工対象物の厚さ方向における第1及び第2の改質領域の高さをそろえ易くなる。また、上記(ii)の場合、加工対象物の厚さ方向における第3及び第4の改質領域の高さをそろえ易くなる。また、上記(iii)の場合、加工対象物の厚さ方向における第1及び第2の改質領域の高さをそろえ易くなると共に、加工対象物の厚さ

方向における第3及び第4の改質領域の高さをそろえ易くなる。

### 発明の効果

[0022] 本発明によれば、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。

### 図面の簡単な説明

[0023] [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。

[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。

[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]本実施形態に係るレーザー加工方法の各工程の一例を模式的に示す斜視図である。

[図15]本実施形態に係るレーザー加工方法の各工程の一例を模式的に示す斜視図である。

[図16]図15(C)に示す加工対象物のXVI-XVI線に沿った断面図である。

[図17]本実施形態に係るレーザー加工方法を用いて改質領域を形成することにより切断された加工対象物の切断面の写真を表した図である。

[図18]本実施形態に係るレーザー加工方法を用いて改質領域を形成するときの一工程における加工対象物の概略断面図である。

[図19]本実施形態に係るレーザー加工方法を用いて形成される改質領域の一例を示す斜視図である。

[図20]加工対象物の内部に改質領域を形成する際の順序の一例を説明するための模式図である。

[図21]図20(B)に示す加工対象物のXXI-XXI線に沿った断面図である。

[図22]図20(A)及び図20(B)に示される順序で改質領域を形成することにより切断された加工対象物の切断面の写真を表した図である。

[図23]図20(A)及び図20(B)に示される順序で改質領域を形成することにより切断された加工対象物の切断面の写真を表した図である。

[図24]図20(A)及び図20(B)に示される順序で改質領域を形成するときの一工程における加工対象物の概略断面図である。

### 符号の説明

- [0024] 1…加工対象物、1a…入射面、3…表面、4a…切断面(側面)、5…切断予定ライン、5a…第1の切断予定ライン、5b…第2の切断予定ライン、7…改質領域、71…第1の改質領域、71a~71f…複数列の改質領域、72…第2の改質領域、73…第4の改質領域、74…第3の改質領域、8…切断起点領域、13…溶融処理領域、L…レーザー光、P…集光点。

### 発明を実施するための最良の形態

- [0025] 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。

[0026] 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 $nh\nu > E_G$ 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 $1 \times 10^8 (W/cm^2)$ 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) ÷ (レーザ光のビームスポット断面積 × 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。

[0027] 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。

[0028] 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。

[0029] 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ため、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] (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<sub>3</sub> 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 $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>)以上で且つパルス幅が1  $\mu$ s以下の条件でレーザー光を照射する。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 $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>)である。パルス幅は例えば1ns～200ns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回レーザー熱加工研究会論文集(1998年、12月)の第23頁～第28頁の「固体レーザー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。

[0034] 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。

[0035] (A) 加工対象物: パイレックス(登録商標)ガラス(厚さ700  $\mu$ m)

(B) レーザ

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:  $3.14 \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>

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 < 1mJ/パルス

レーザー光品質: TEM<sub>00</sub>

偏光特性: 直線偏光

(C) 集光用レンズ

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

- [0036] なお、レーザ光品質がTEM<sub>00</sub>とは、集光性が高くレーザ光の波長程度まで集光可能を意味する。
- [0037] 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、レーザ光がパルスレーザ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 $10^{11}$  (W/cm<sup>2</sup>)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から分かる。
- [0038] 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。
- [0039] (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 $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>)以上で且つパルス幅が1  $\mu$ s以下の条件でレーザ光を照射する。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、熔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、熔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 $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。

[0040] 本発明者は、シリコンウェハの内部で熔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。

[0041] (A)加工対象物:シリコンウェハ(厚さ350 $\mu\text{m}$ 、外径4インチ)

(B)レーザ

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:20 $\mu\text{J}$ /パルス

レーザ光品質:TEM<sub>00</sub>

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

[0042] 図12は、上記条件でのレーザ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100  $\mu\text{m}$ 程度である。

- [0043] 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50  $\mu\text{m}$ 、100  $\mu\text{m}$ 、200  $\mu\text{m}$ 、500  $\mu\text{m}$ 、1000  $\mu\text{m}$ の各々について上記関係を示した。
- [0044] 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500  $\mu\text{m}$ 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350  $\mu\text{m}$ 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175  $\mu\text{m}$ の部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200  $\mu\text{m}$ 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。
- [0045] 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熔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熔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溶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溶融処理領域によって切断起点領域を形成すると、切断時、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、切断制御が容易となる。

[0046] (3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

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 $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>)以上で且つパルス幅が1ns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 $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>)である。パルス幅は例えば1ns以下が好ましく、1ps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。

[0047] 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。

[0048] 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)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。

[0049] 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。

[0050] 次に、本発明の好適な実施形態について説明する。図14(A)～図14(C)及び図15(A)～図15(C)は、本実施形態に係るレーザ加工方法の各工程の一例を模式的に示す斜視図である。本実施形態に係るレーザ加工方法では、図14(A)～図14(C)及び図15(A)～図15(C)に示されるように、以下の第1～第3の工程が順に実施されると好ましい。

[0051] (第1の工程)

まず、厚さdの板状の加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射し、加工対象物1の第1の切断予定ライン5aに沿ってレーザ光Lを移動させる(図14(A)参照)。これにより、加工対象物1の内部で多光子吸収が生じ、切断予定ライン5aに沿って、切断の起点となる第1の改質領域71を加工対象物1の内部に形成することができる。具体的には、例えば、加工対象物1が載置されるステージ(図示せず)を移動させることにより、レーザ光Lを加工対象物1に対して相対移動させる。

[0052] 加工対象物1としては、シリコンウェハ等の基板、機能素子を含む積層部が表面に形成された基板等が挙げられる。機能素子としては、例えば、結晶成長により形成された半導体動作層、フォトダイオード等の受光素子、レーザダイオード等の発光素子、回路として形成された回路素子等が挙げられる。また、機能素子は加工対象物1の入射面1aに形成されるとしてもよいし、入射面1aとは反対側の面に形成されるとしてもよい。

[0053] 改質領域71を形成した後、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、切断予定ライン5aと交差する第2の切断予定ライン5bに沿ってレーザ光Lを移動させる(図14(B)参照)。これにより、加工対象物1の内部で多光子吸収が生じ、切断予定ライン5bに沿って、改質領域71の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第2の改質領域72を加工対象物1の内部に形成することができる。レーザ光Lの移動方向は、例えば、加工対象物1が載置されるステージ(図示せず)を90°回転させることにより変えられる。

[0054] (第2の工程)

改質領域72を形成した後、改質領域72と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを照射し、切断予定ライン5bに沿ってレーザー光Lを移動させる(図14(C)参照)。これにより、加工対象物1の内部で多光子吸収が生じ、改質領域72と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に、切断予定ライン5bに沿って、切断の起点となる第4の改質領域73を形成することができる。すなわち、改質領域73は改質領域72上に設けられている。なお、改質領域72, 73は互いに分離して配置されるところもよい。

[0055] 改質領域73を形成した後、改質領域71と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを照射し、切断予定ライン5aに沿ってレーザー光Lを移動させる(図15(A)参照)。これにより、加工対象物1の内部で多光子吸収が生じ、改質領域71と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に、切断予定ライン5aに沿って、改質領域73の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第3の改質領域74を形成することができる。すなわち、改質領域74は改質領域71上に設けられている。なお、改質領域71, 74は互いに分離して配置されるところもよい。

[0056] (第3の工程)

改質領域74を形成した後、改質領域74と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを照射し、切断予定ライン5aに沿ってレーザー光Lを移動させる(図15(B)参照)。これにより、加工対象物1の内部で多光子吸収が生じ、改質領域74と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に、切断予定ライン5bに沿って、切断の起点となる改質領域75を形成することができる。すなわち、改質領域75は改質領域74上に設けられている。なお、改質領域74, 75は互いに分離して配置されるところもよい。

[0057] 改質領域75を形成した後、改質領域73と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを照射し、切断予定ライン5bに沿ってレーザー光Lを移動させる(図15(C)参照)。これにより、加工対象物1の内部で多光子吸収が生じ、改質領域73と入射面1aとの間における加工対象物1の内部に、切断予定ライン5bに沿って、改質領域75の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる

改質領域76を形成することができる。すなわち、改質領域76は改質領域73上に設けられている。なお、改質領域73, 76は互いに分離して配置されるとしてもよい。

- [0058] また、改質領域71～76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。また、切断予定ライン5a, 5bは上述の切断予定ライン5と同様に、直線状又は曲線状の仮想線であってもよいし、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。
- [0059] 上記第1～第3の工程を経ることにより改質領域71～76を形成した後、例えば、エキスパンドテープ(図示せず)を加工対象物1に貼り付け、エキスパンド装置(図示せず)を用いて、切断予定ライン5a, 5bに沿って加工対象物1を切断することができる。なお、エキスパンドテープは、改質領域71～76を形成する前に予め加工対象物1に貼り付けられているとしてもよい。
- [0060] 図16は、図15(C)に示す加工対象物1のXVI-XVI線に沿った断面図である。図16に示されるように、加工対象物1には未改質領域101bが残存しない。図16中の領域C1を撮影した写真の例を図17に示す。図17は、本実施形態に係るレーザー加工方法を用いて改質領域71～76を形成することにより切断された加工対象物1の切断面の一実施例についての写真を表した図である。図17中には、図22の領域P1内で確認された未改質領域101bに相当する領域が見られない。
- [0061] 本実施形態に係るレーザー加工方法では、図20(A)及び図20(B)のように改質領域71を形成した後に改質領域72を形成する方法に比べて、レーザー光Lを照射する際にレーザー光Lを遮る改質領域の加工対象物1の厚さ方向における高さが低くなる。このため、図21に示されるような未改質領域101bが生じ難くなるので、チッピングやスカートの発生を防止して加工対象物1の高精度な切断が可能となる。したがって、加工対象物1の割断品質を向上させることができる。また、加工対象物1の厚さdが300  $\mu\text{m}$ 以上の場合には、本実施形態に係るレーザー加工方法による効果が顕著となる。以下、図18を用いて詳細に説明する。
- [0062] 図18は、本実施形態に係るレーザー加工方法を用いて改質領域71～76を形成するときの一工程における加工対象物1の概略断面図である。図18には、一例として改

質領域72を形成する工程が示されている。改質領域72の一部となる改質領域72aは、レンズLLによって集光されるレーザー光Lをスキャンさせることにより加工対象物1の内部に形成される。このとき、加工対象物1の厚さ方向における改質領域71の高さは、図24に示される改質領域171に比べて低い。このため、図18では、図24に示される未改質領域101bが殆ど残存しない。

[0063] また、本実施形態では、第1の工程において改質領域71を形成した後に改質領域72を形成し、第2の工程において改質領域73を形成した後に改質領域74を形成する。このような順序で改質領域71～74を形成する場合、改質領域72, 73を形成するときいずれも切断予定ライン5bに沿ってレーザー光Lを移動させるので、第1の工程と第2の工程との間でレーザー光Lの移動方向を変える必要がない(図14(B)及び図14(C)参照)。よって、改質領域73を短時間で且つ高精度に形成することができる。

[0064] 同様に、第2の工程において改質領域73を形成した後に改質領域74を形成し、第3の工程において改質領域75を形成した後に改質領域76を形成するため、改質領域75を短時間で且つ高精度に形成することができる(図15(A)及び図15(B)参照)。

[0065] また、改質領域71を形成するときに入射面1aの第1の入射面情報を記録し、その第1の入射面情報を用いて改質領域74を形成することが好ましい。第1の入射面情報は、例えば、入射面1aに存在する凹凸の加工対象物1の厚さ方向における高さ情報を切断予定ライン5aに沿って順に収集することにより得られる。第1の入射面情報を用いると、改質領域74, 75を、切断予定ライン5aに沿った入射面1aの凹凸やうねりに合わせて改質領域71と略同じ形状で形成することができる。

[0066] 同様に、改質領域72を形成するときに入射面1aの第2の入射面情報を記録し、その第2の入射面情報を用いて改質領域73を形成することが好ましい。第2の入射面情報は、例えば、入射面1aに存在する凹凸の加工対象物1の厚さ方向における高さ情報を切断予定ライン5bに沿って順に収集することにより得られる。第2の入射面情報を用いると、改質領域73, 76を、切断予定ライン5bに沿った入射面1aの凹凸やうねりに合わせて改質領域72と略同じ形状で形成することができる。

[0067] 上述の高さ情報は、例えば、次のようにして測定される。すなわち、まず、測定用レーザー光をレンズで集光して入射面1aに照射し、当該測定用レーザー光の反射光を検

出する。そして、検出した反射光に基づいて、測定用レーザー光の集光点が入射面1a上に位置するように、ピエゾ素子を用いたアクチュエータでレンズを変位させる。この変位量を高さ情報として取得する。

[0068] また、図19に示されるように、例えば改質領域71は、加工対象物1の厚さ方向に並設された複数列の改質領域71a～71fからなるとしてもよい。図19は、改質領域71の一例を示す斜視図である。同様に、改質領域72～76も、加工対象物1の厚さ方向に並設された複数列の改質領域(図示せず)からなるとしてもよい。この場合、加工対象物1の厚さ方向における改質領域71～76の高さをいずれも高くすることができると共に、その高さを制御できる。なお、既に形成された改質領域によりレーザー光Lが遮られることを防止するために、改質領域71a～71fは入射面1aから遠い順に形成されることが好ましい。また、改質領域71a～71f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。

[0069] なお、改質領域71～76の少なくとも1つが複数列の改質領域からなるとしてもよいし、全ての改質領域71～76が複数列の改質領域からなるとしてもよい。

[0070] また、改質領域71と改質領域72とが加工対象物1の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなるとしてもよい。これにより、加工対象物1の厚さ方向における改質領域71及び改質領域72の高さをそろえ易くなる。例えば、図19に示されるように改質領域71が6列の改質領域71a～71fからなる場合、改質領域72も6列の改質領域(図示せず)からなることが好ましい。

[0071] 同様に、改質領域73と改質領域74とが加工対象物1の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなるとしてもよいし、改質領域75と改質領域76とが加工対象物1の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなるとしてもよい。なお、(a)改質領域71, 72、(b)改質領域73, 74、及び、(c)改質領域75, 76、のうち少なくとも1つが同数列の改質領域からなるとしてもよい。例えば、改質領域71と改質領域72とは同数列の改質領域からなるが、改質領域73と改質領域74とは互いに異なる列数の改質領域からなり、改質領域75と改質領域76とも互いに異なる列数の改質領域からなる場合が挙げられる。

- [0072] 他の例としては、改質領域71と改質領域72とが同数列(列数a)の改質領域からなり、改質領域73と改質領域74とが同数列(列数b)の改質領域からなり、改質領域75と改質領域76とが同数列(列数c)の改質領域からなる場合が挙げられる。この場合、列数a、列数b及び列数cは、同じでもよいし、互いに異なってもよい。
- [0073] 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。
- [0074] 例えば、第1の工程において、改質領域71, 72を形成する順序は特に限定されない。また、第2の工程において、改質領域73, 74を形成する順序も特に限定されない。さらに、第3の工程において、改質領域75, 76を形成する順序も特に限定されない。具体的には、第1の工程において改質領域71を形成した後に改質領域72を形成してもよい。また、第2の工程において改質領域74を形成した後に改質領域73を形成するとしてもよい。さらに、第3の工程において改質領域76を形成した後に改質領域75を形成するとしてもよい。
- [0075] また、第1～第3の工程を更に繰り返すことによって、加工対象物1の厚さ方向に更なる改質領域を形成するとしてもよい。例えば、第3の工程の後、更に、切断予定ライン5aに沿った改質領域と切断予定ライン5bに沿った改質領域とを、加工対象物1の厚さ方向に交互に形成するとしてもよい。これにより、加工対象物1の厚さに応じて加工対象物1の厚さ方向における改質領域の高さを調整することができる。
- [0076] また、改質領域71～76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71～76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。
- [0077] 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、更に種々のドーパント(不純物)がドーパされた半導体等が挙げられる。
- [0078] ここで、上述の図17に示された一実施例における加工対象物1の切断手順につい

て詳細に説明するが、本発明はこの実施例に限定されない。この実施例では、加工対象物1は厚さ725  $\mu\text{m}$ のシリコンウェハである。また、例えば改質領域71は、加工対象物1の厚さ方向に並設された6列の改質領域71a~71fから形成されている(図19参照)。すなわち、改質領域71は、レーザー光Lを切断予定ライン5aに沿って移動させるスキャン工程を6回行うことにより形成される(図15(A)参照)。各スキャン工程は、集光点Pの位置を入射面1aに近付く向きに順に6段階移動させて行われる。

[0079] 同様に、改質領域72~74は、加工対象物1の厚さ方向に並設された6列の改質領域から形成されており、改質領域75, 76は、加工対象物1の厚さ方向に並設された7列の改質領域から形成されている。したがって、改質領域71, 74, 75は合計で19列の改質領域からなり、改質領域72, 73, 76も合計で19列の改質領域からなる(図16参照)。

[0080] かかる改質領域71~76を形成した後、加工対象物1にエキスパンドテープを貼り付け、当該エキスパンドテープと共に加工対象物1をエキスパンド装置により切断する。このようにして切断された加工対象物1の切断面を撮影した写真が、図17に図として示されている。

[0081] 続いて、上記実施例において改質領域71~76を形成する際のレーザー加工条件について説明する。レーザー光Lのパルス幅は180nsであり、レーザー光Lの照射位置間隔(パルスピッチ)は4  $\mu\text{m}$ であり、レーザー光Lの周波数は75kHzである。また、加工対象物1が載置されたステージの移動速度は300mm/sである。さらに、入射面1aから集光点Pまでの距離(集光点位置)とレーザー光Lのエネルギーとの関係は、表1に示される通りである。

[0082] [表1]

	集光点位置 ( $\mu\text{m}$ )	エネルギー ( $\mu\text{J}$ )
改質領域 7 6	50	9
	86	9
	142	15
	182	15
	214	15
	250	15
	286	15
改質領域 7 3	322	15
	358	15
	394	15
	426	15
	458	15
	490	15
改質領域 7 2	522	15
	570	15
	618	15
	666	15
	694	15
	722	15

### 産業上の利用可能性

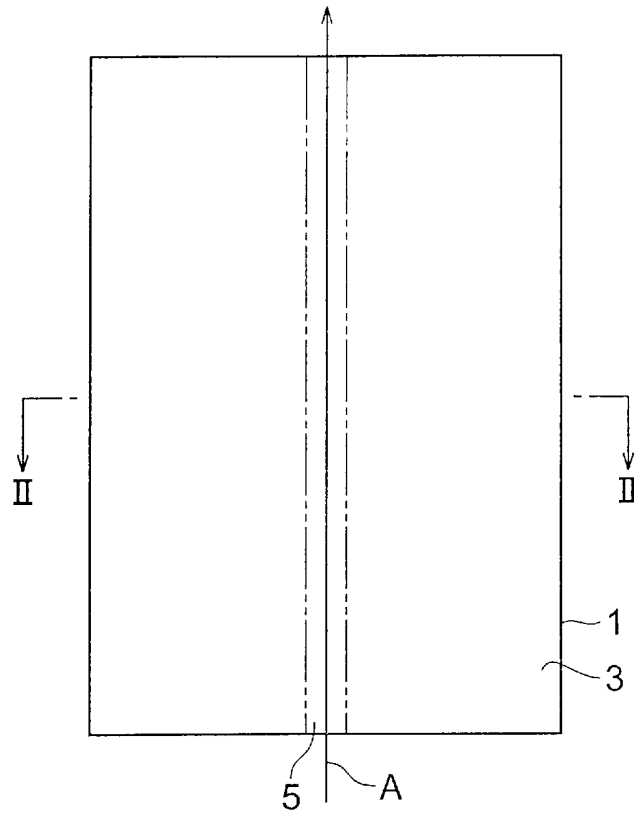
[0083] 本発明によれば、加工対象物の高精度な切断を可能にするレーザ加工方法を提供することができる。

## 請求の範囲

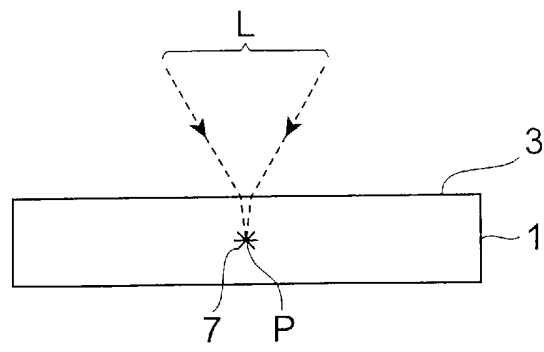
- [1] 板状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザー光を照射することにより、前記加工対象物の第1の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる第1の改質領域を前記加工対象物の内部に形成すると共に、前記第1の切断予定ラインと交差する第2の切断予定ラインに沿って、前記第1の改質領域の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第2の改質領域を前記加工対象物の内部に形成する第1の工程と、
- 前記第1の工程の後、前記加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザー光を照射することにより、前記第1の改質領域と前記レーザー光が入射する前記加工対象物の入射面との間における前記加工対象物の内部に、前記第1の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる第3の改質領域を形成すると共に、前記第2の改質領域と前記入射面との間における前記加工対象物の内部に、前記第2の切断予定ラインに沿って、前記第3の改質領域の少なくとも一部と交差するように、切断の起点となる第4の改質領域を形成する第2の工程と、
- を含むことを特徴とするレーザー加工方法。
- [2] 前記第1の工程では、前記第1の改質領域を形成した後に前記第2の改質領域を形成し、
- 前記第2の工程では、前記第3の改質領域を形成した後に前記第4の改質領域を形成することを特徴とする請求項1に記載のレーザー加工方法。
- [3] 前記第1の工程では、前記第1の改質領域を形成した後に前記第2の改質領域を形成し、
- 前記第2の工程では、前記第4の改質領域を形成した後に前記第3の改質領域を形成することを特徴とする請求項1に記載のレーザー加工方法。
- [4] 前記第1の改質領域を形成するときに前記入射面の第1の入射面情報を記録し、該第1の入射面情報を用いて前記第3の改質領域を形成し、
- 前記第2の改質領域を形成するときに前記入射面の第2の入射面情報を記録し、該第2の入射面情報を用いて前記第4の改質領域を形成することを特徴とする請求項1に記載のレーザー加工方法。

- [5] 前記第1～第4の改質領域の少なくとも1つは、前記加工対象物の厚さ方向に並設された複数列の改質領域からなることを特徴とする請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [6] 前記第1及び第2の改質領域、又は、前記第3及び第4の改質領域、の少なくとも一方が、前記加工対象物の厚さ方向に配置された同数列の改質領域からなることを特徴とする請求項1に記載のレーザ加工方法。

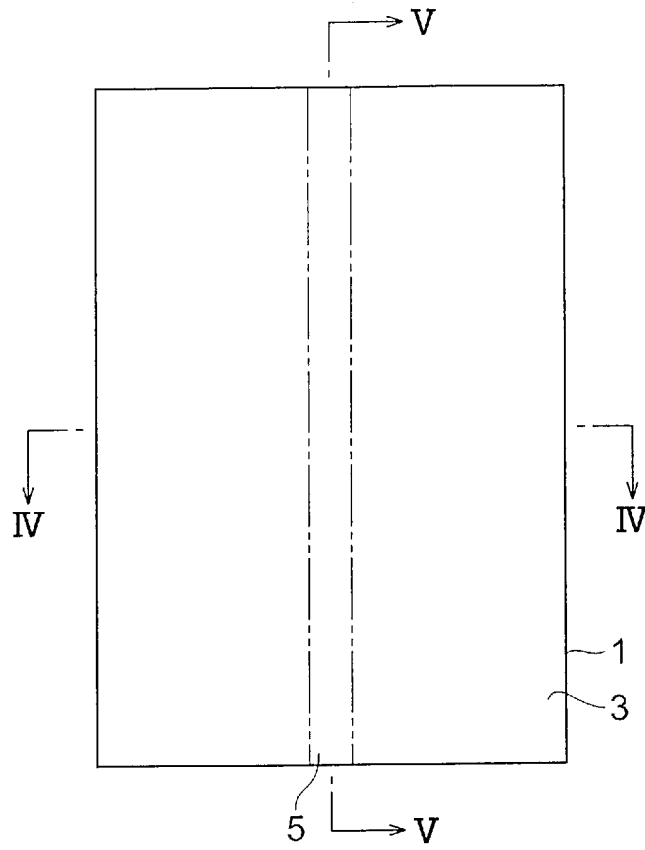
[図1]



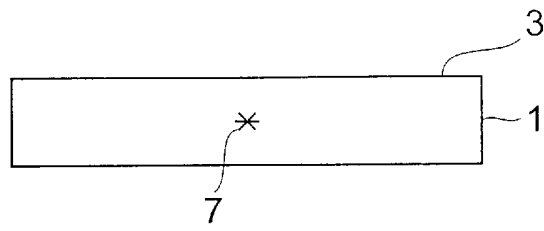
[図2]



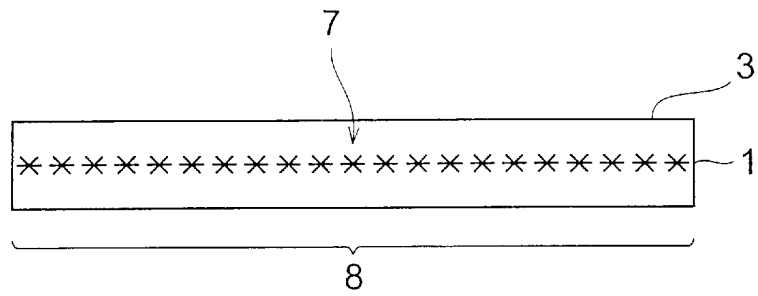
[図3]



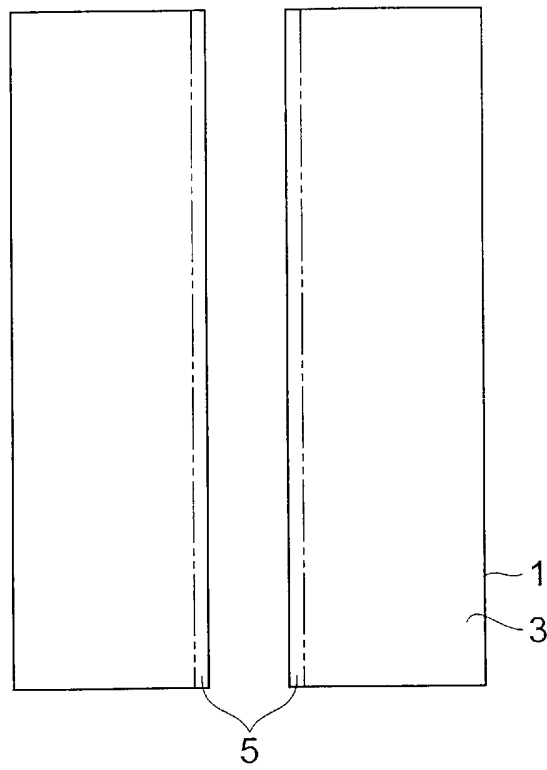
[図4]



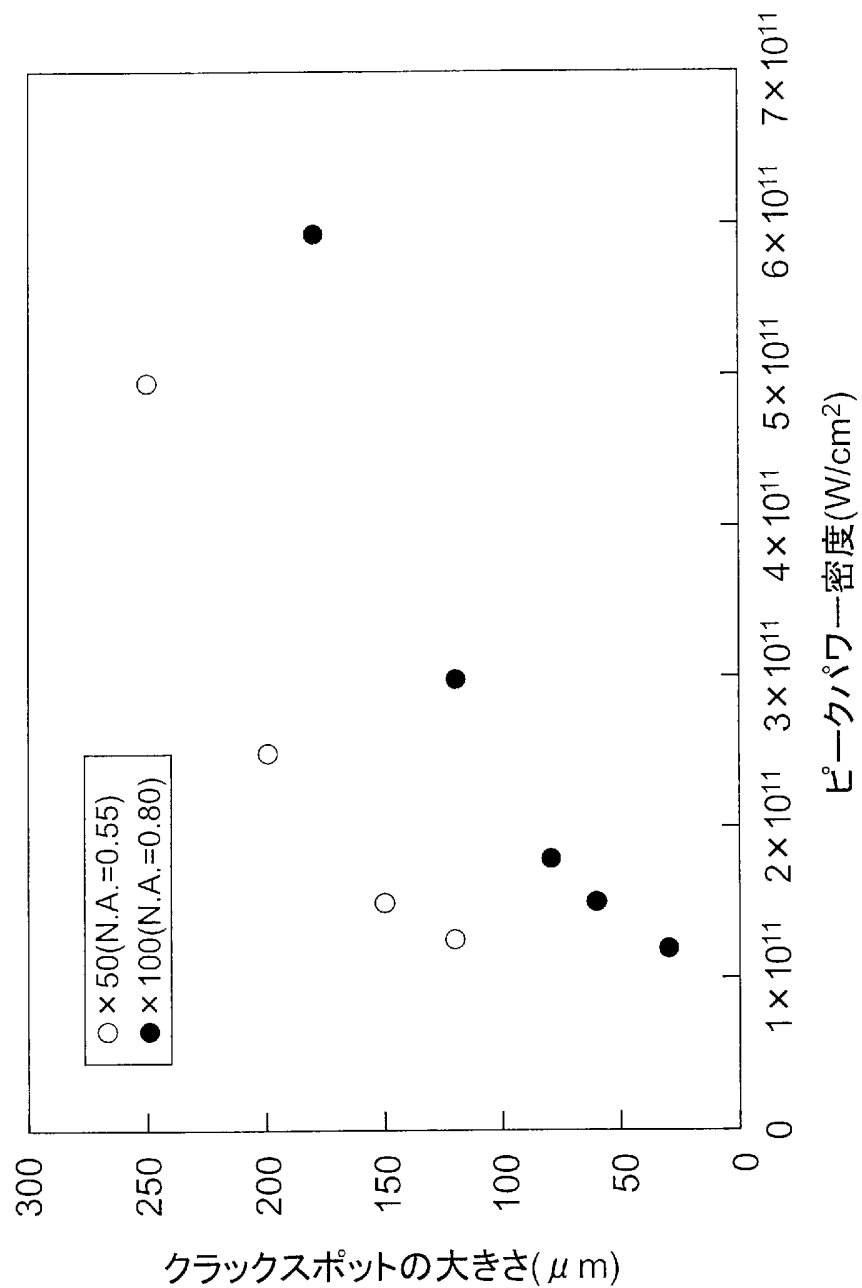
[図5]



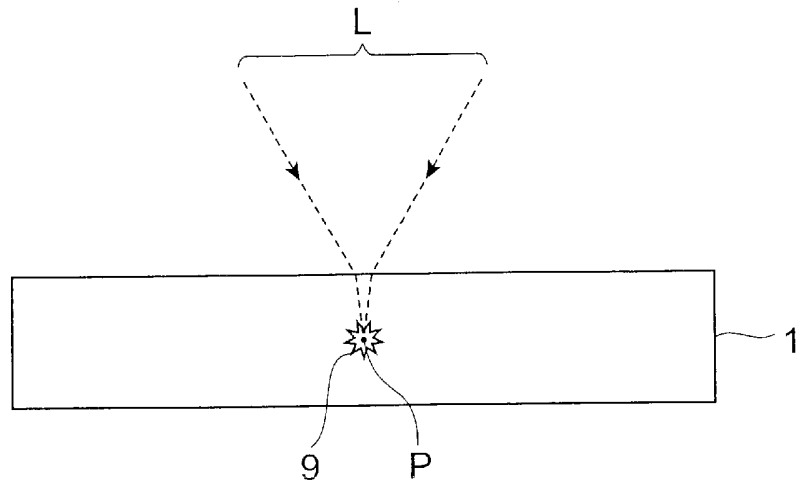
[図6]



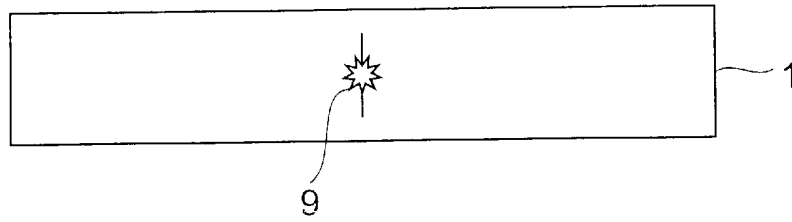
[図7]



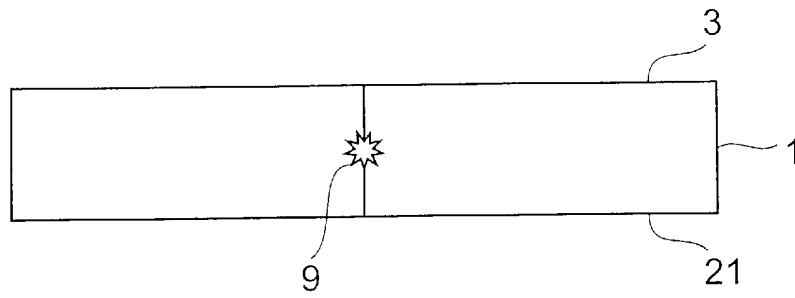
[図8]



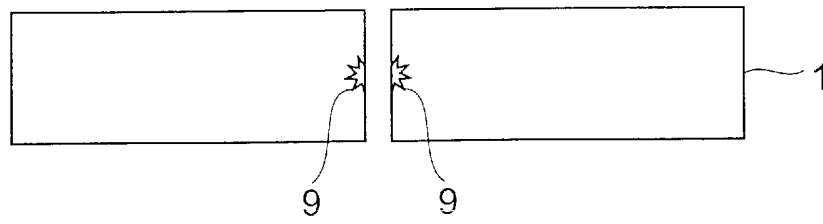
[図9]



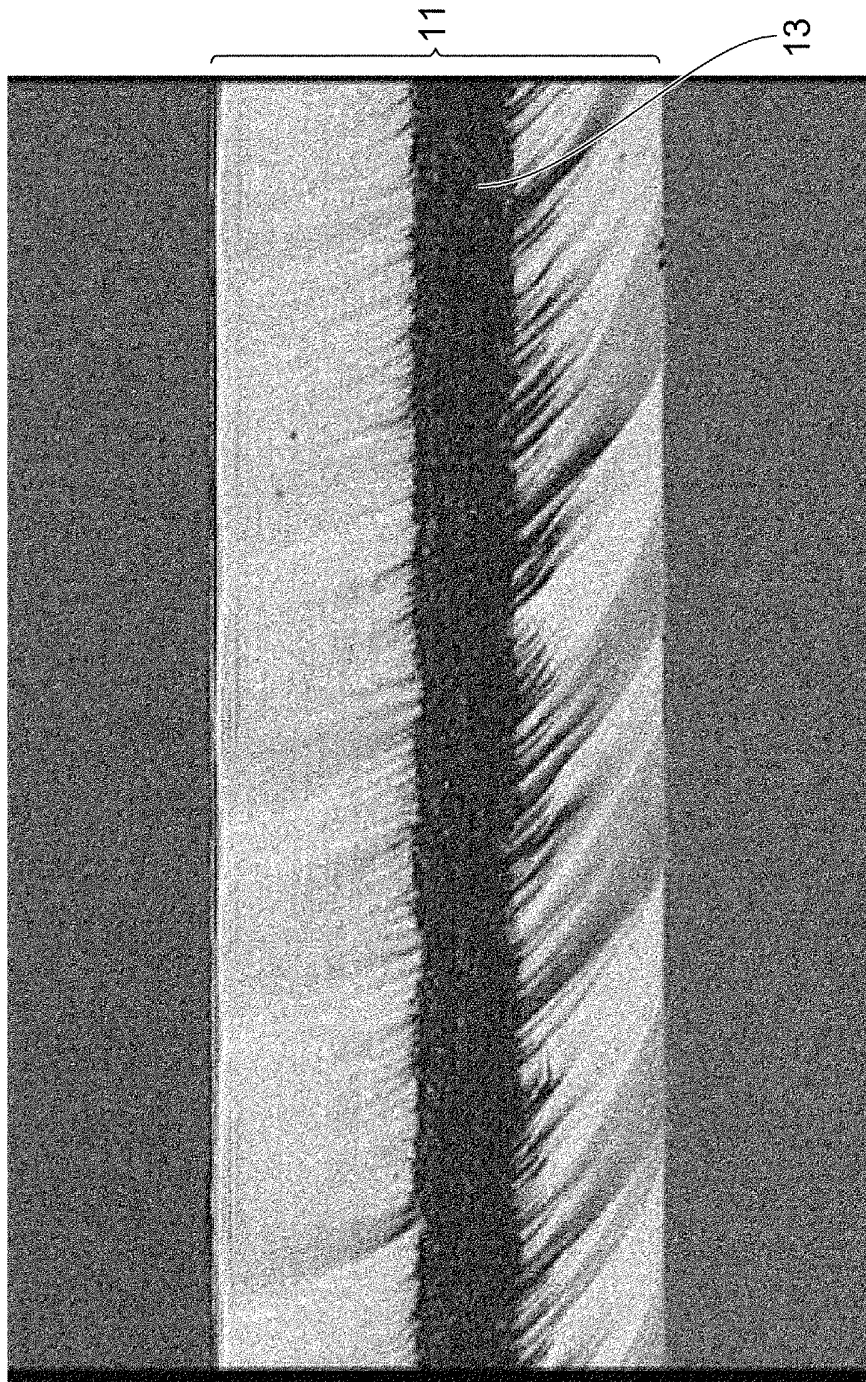
[図10]



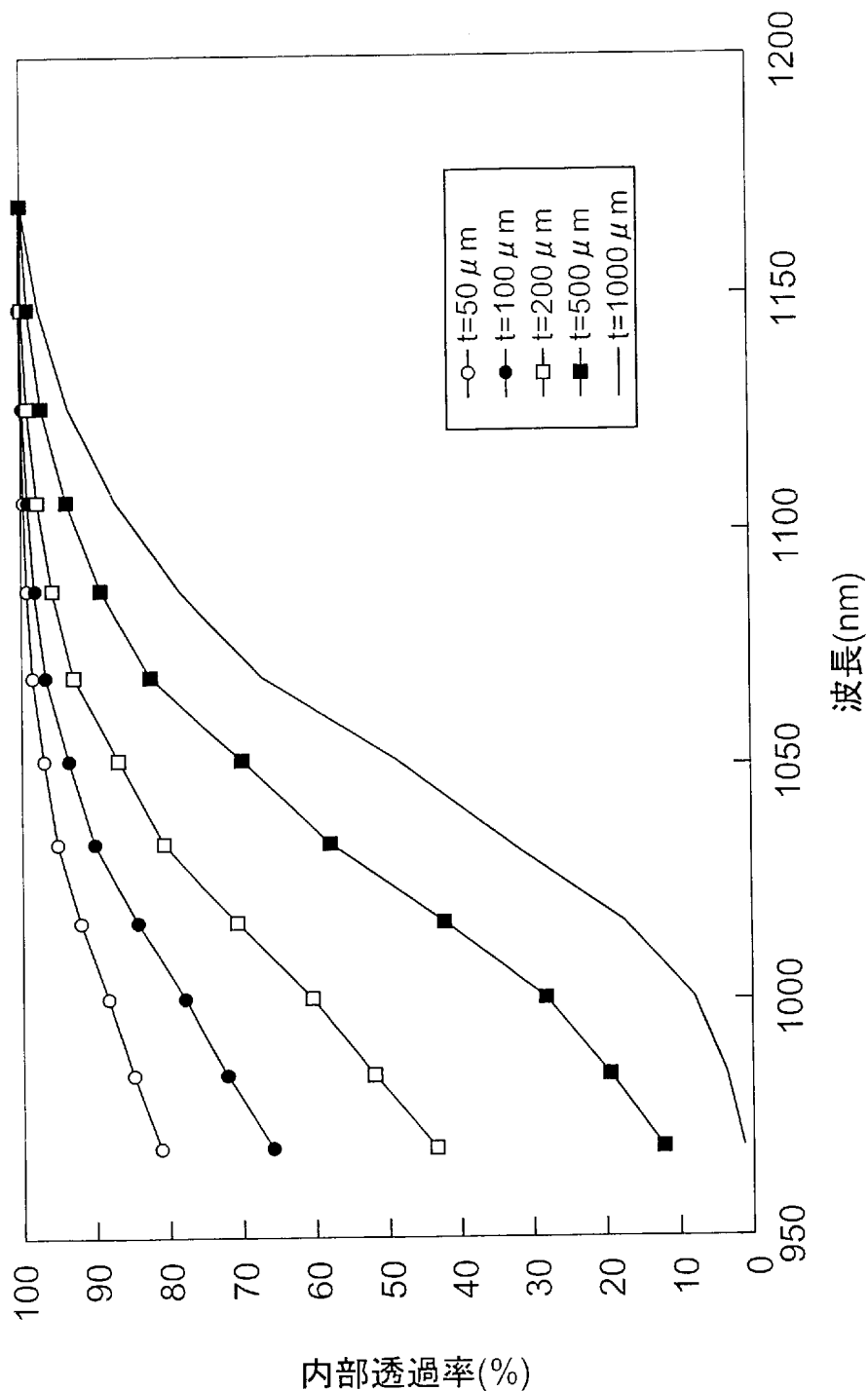
[図11]



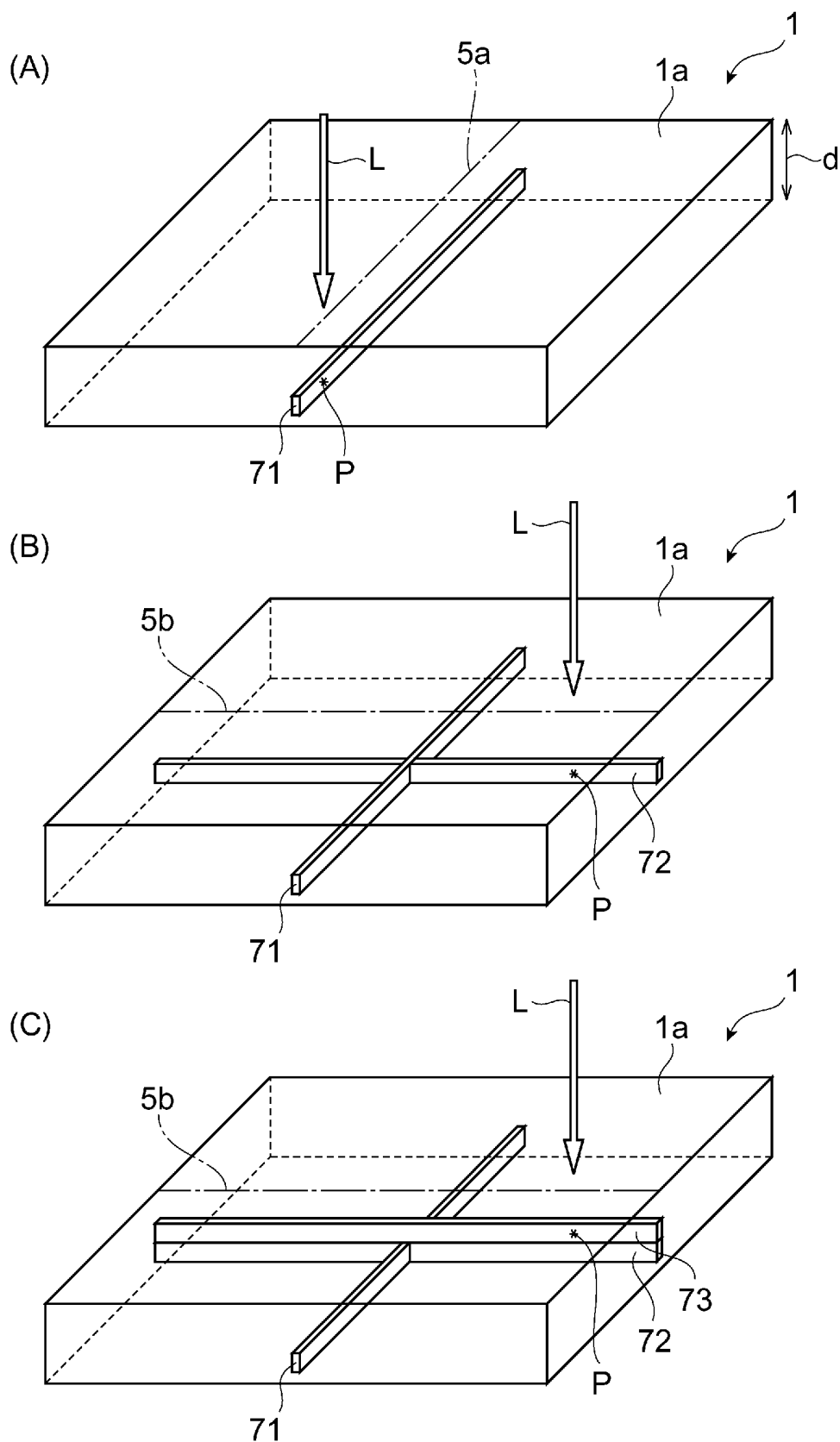
[図12]



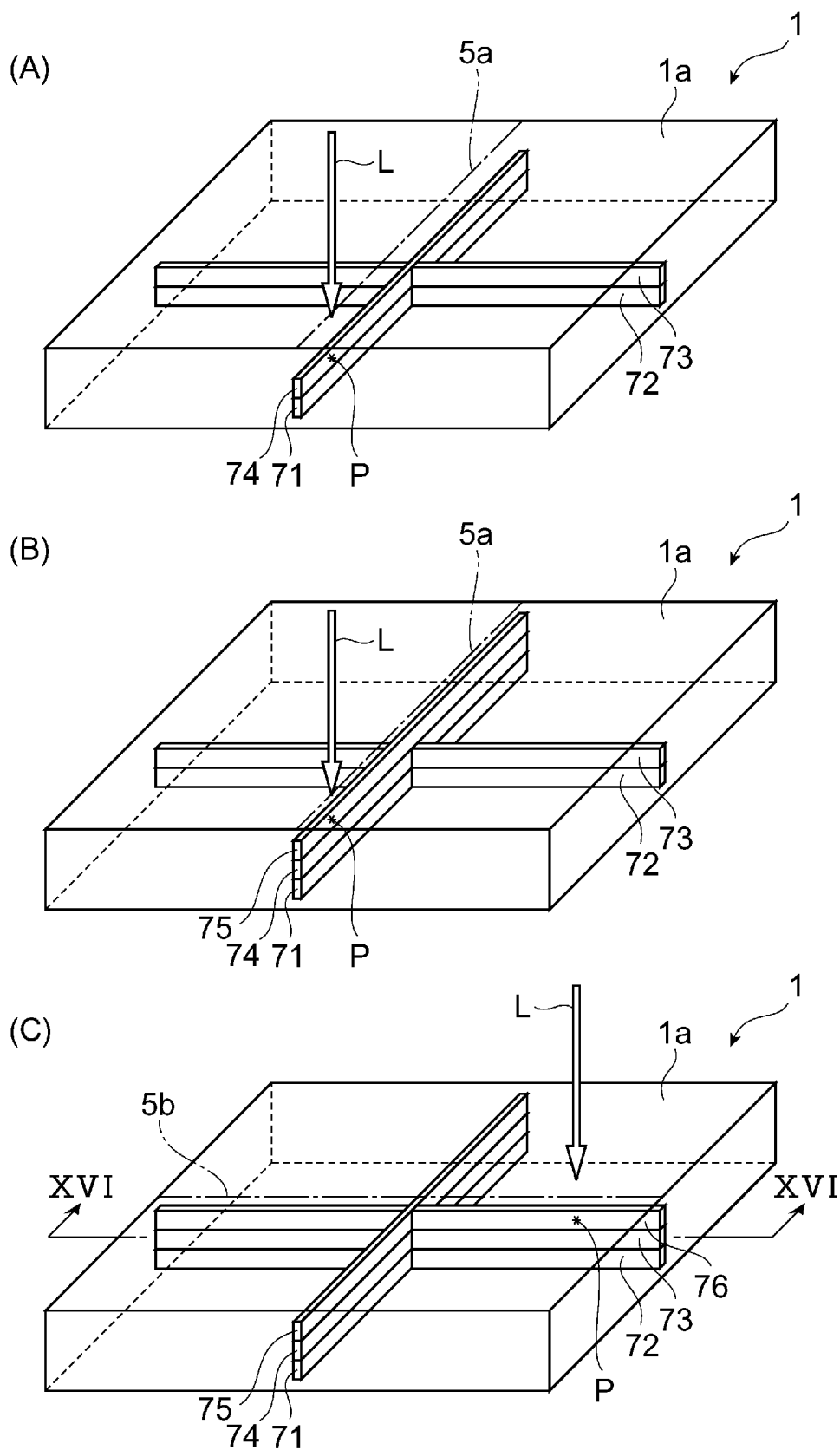
[図13]



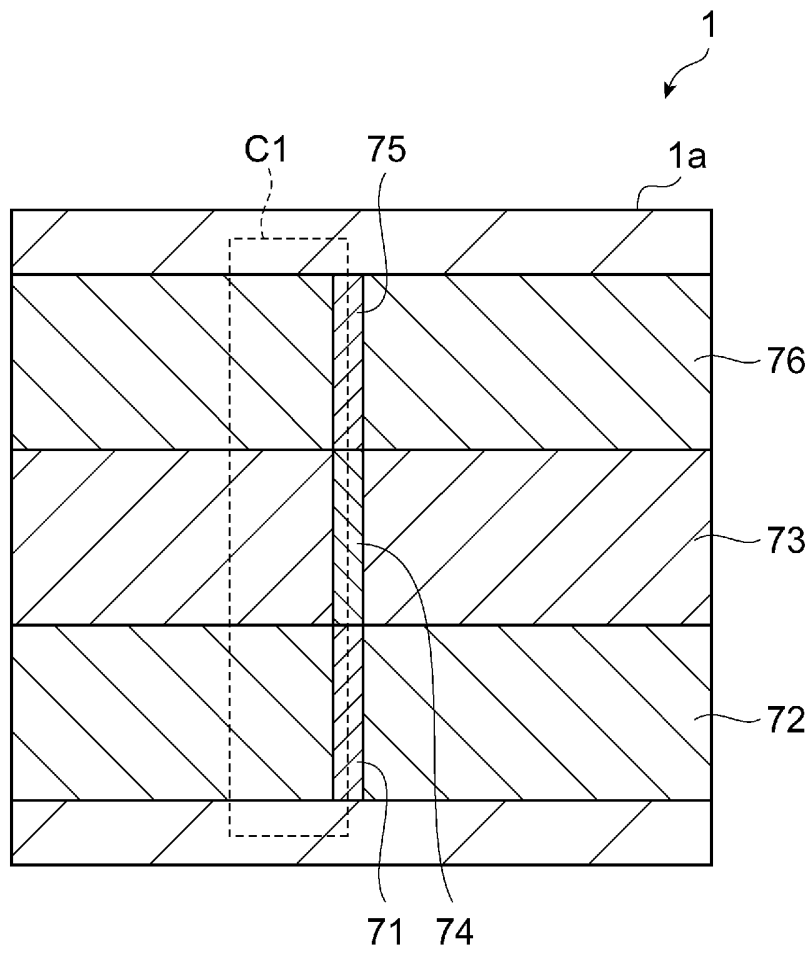
[図14]



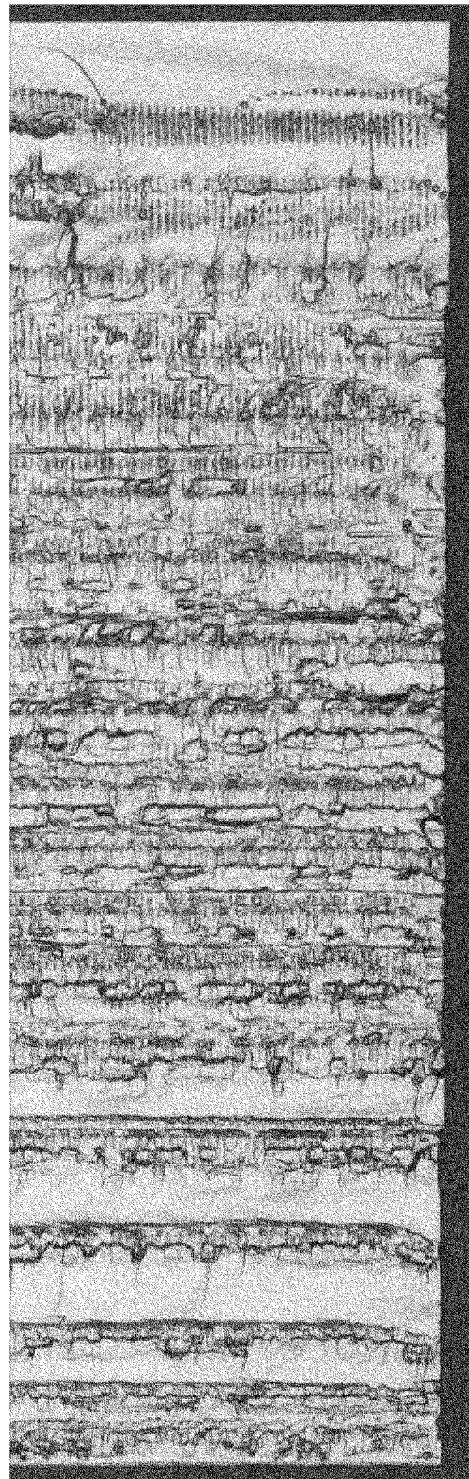
[図15]



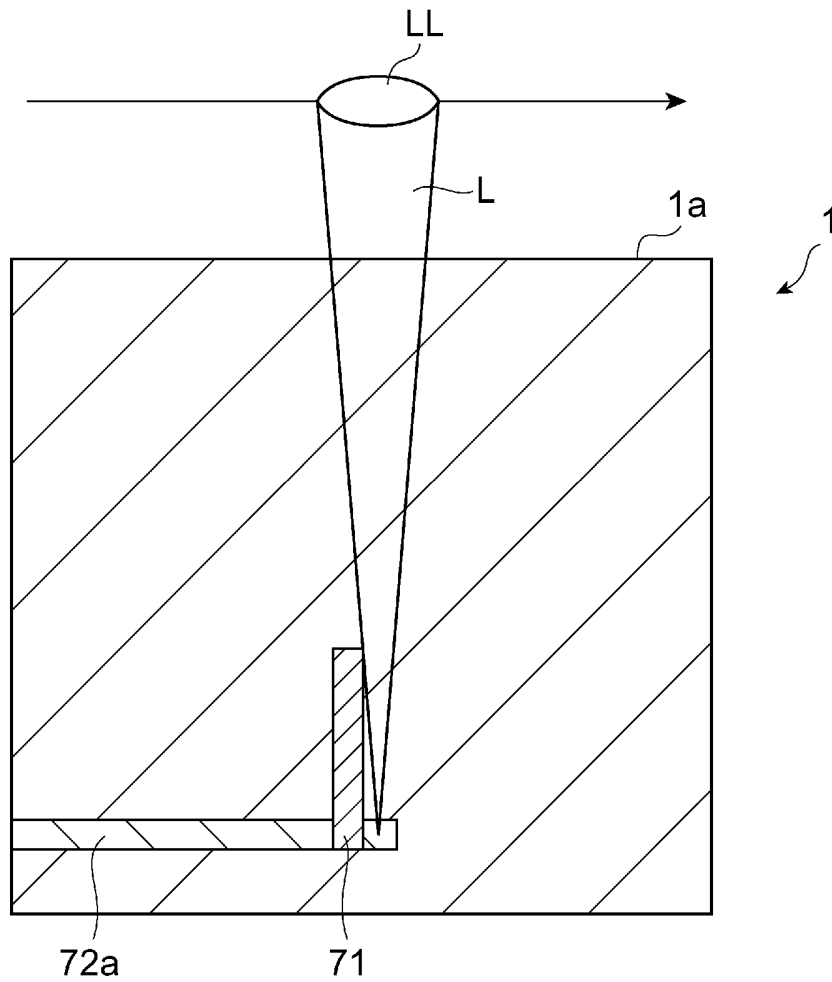
[図16]



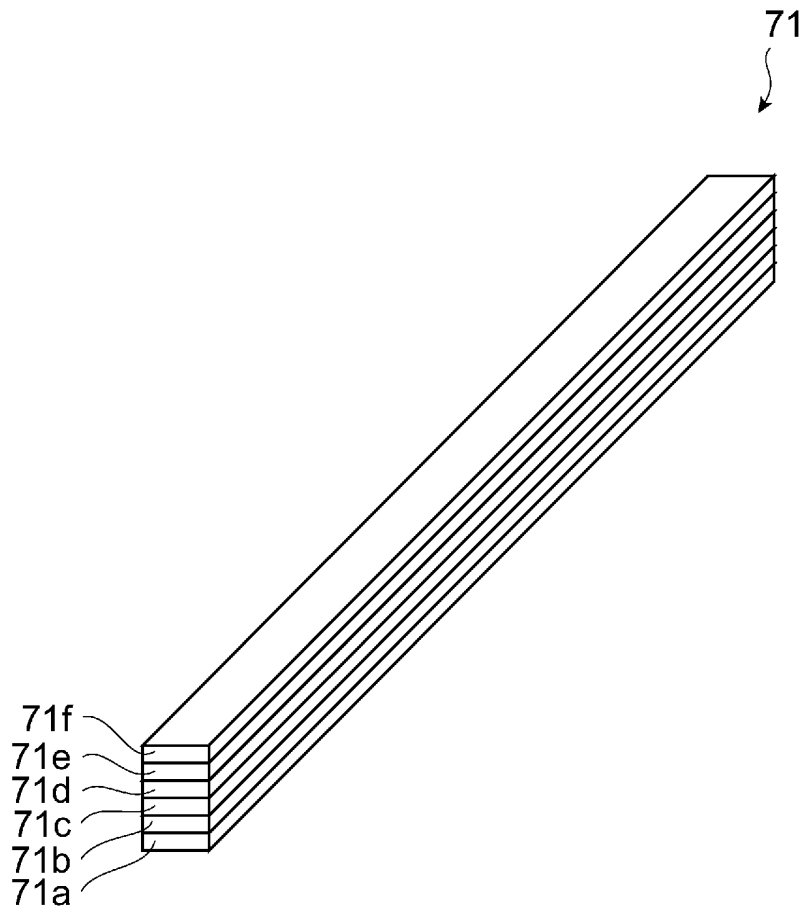
[図17]



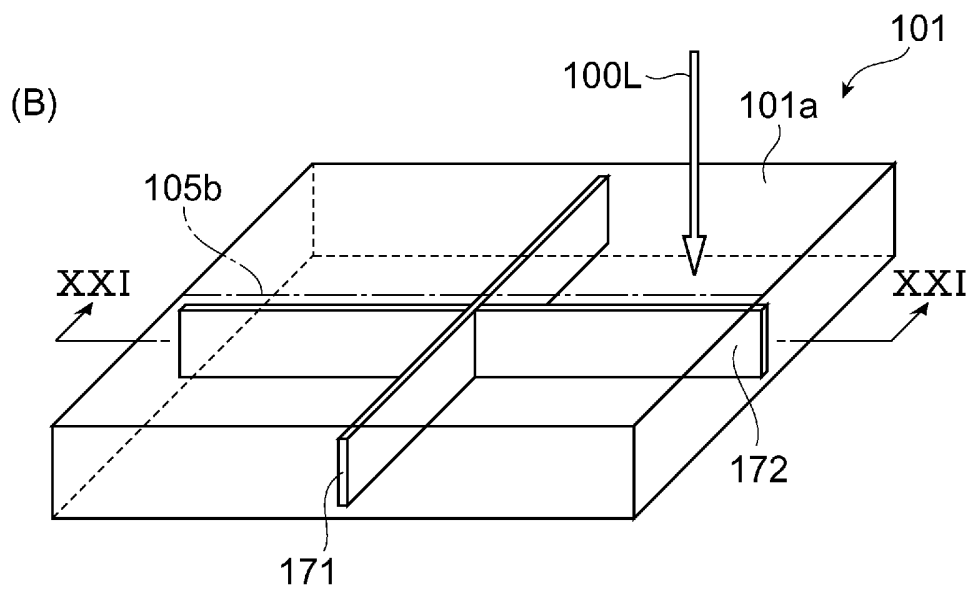
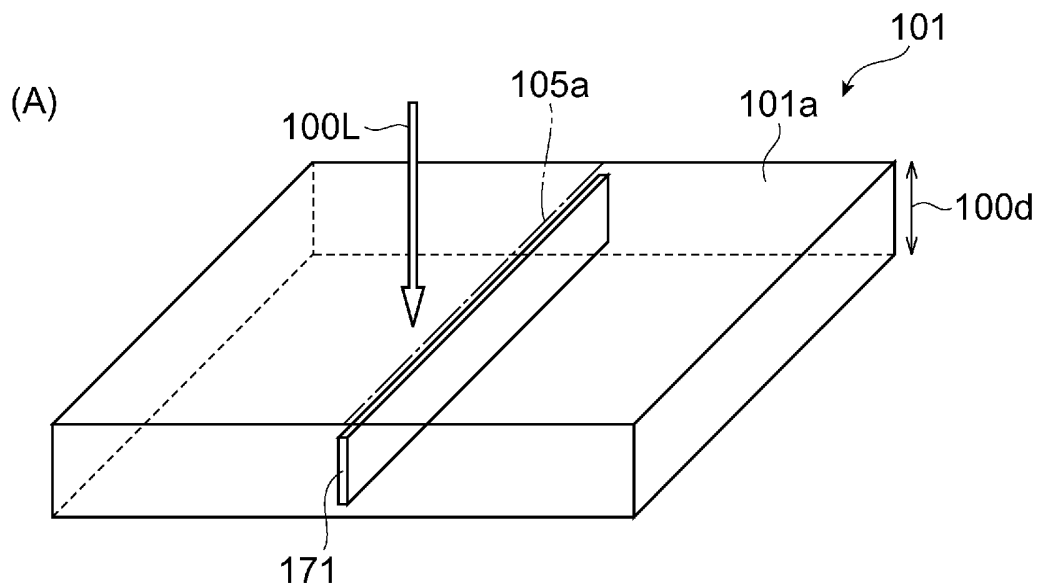
[図18]



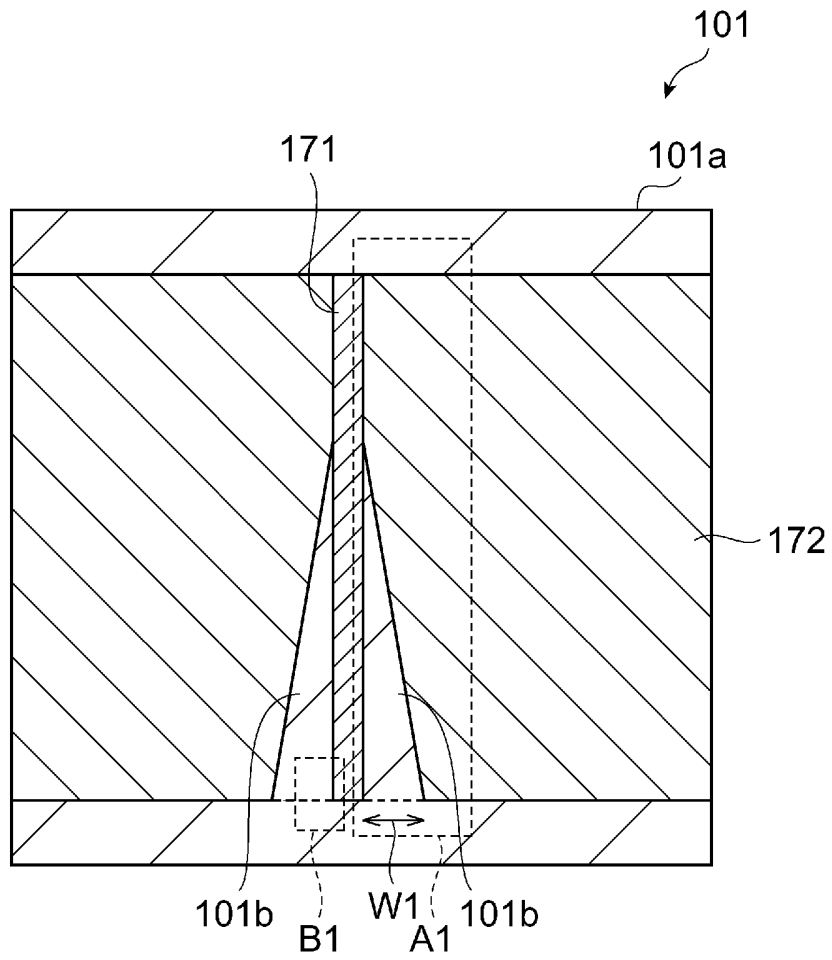
[図19]



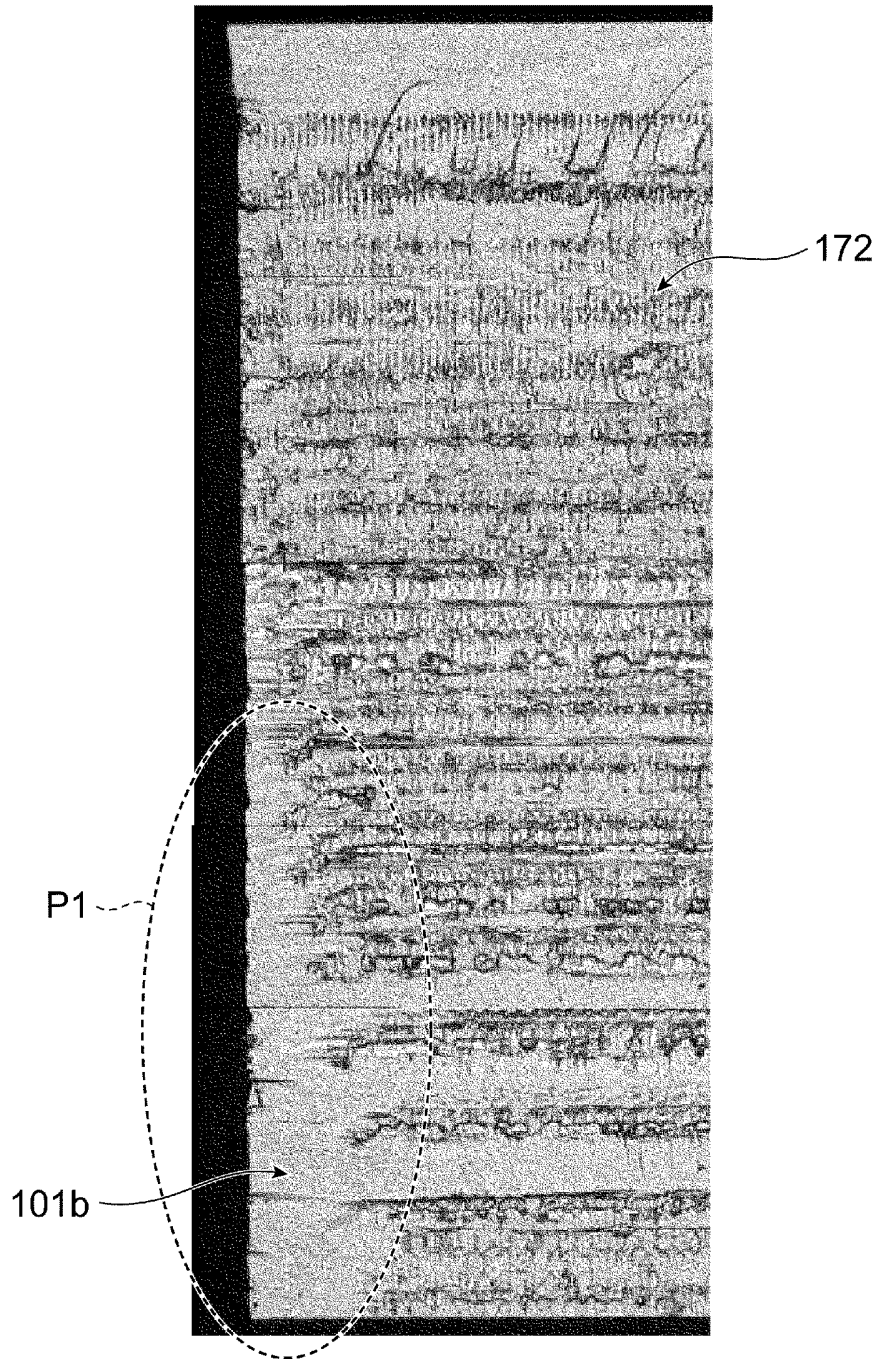
[図20]



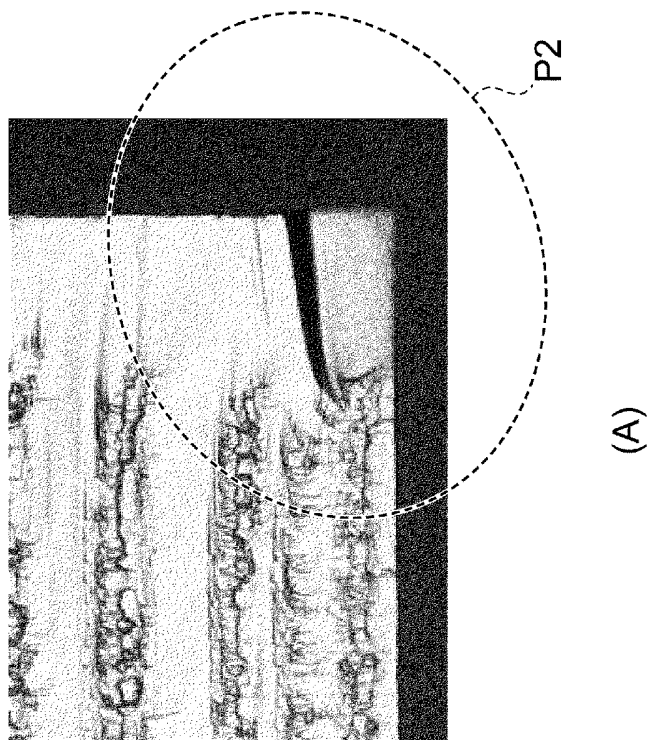
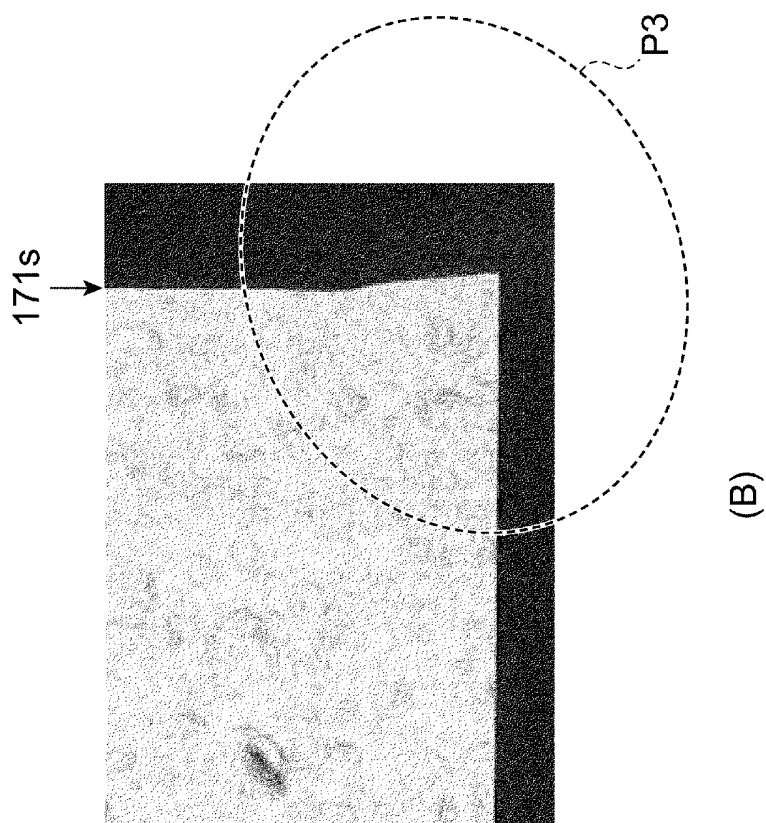
[図21]



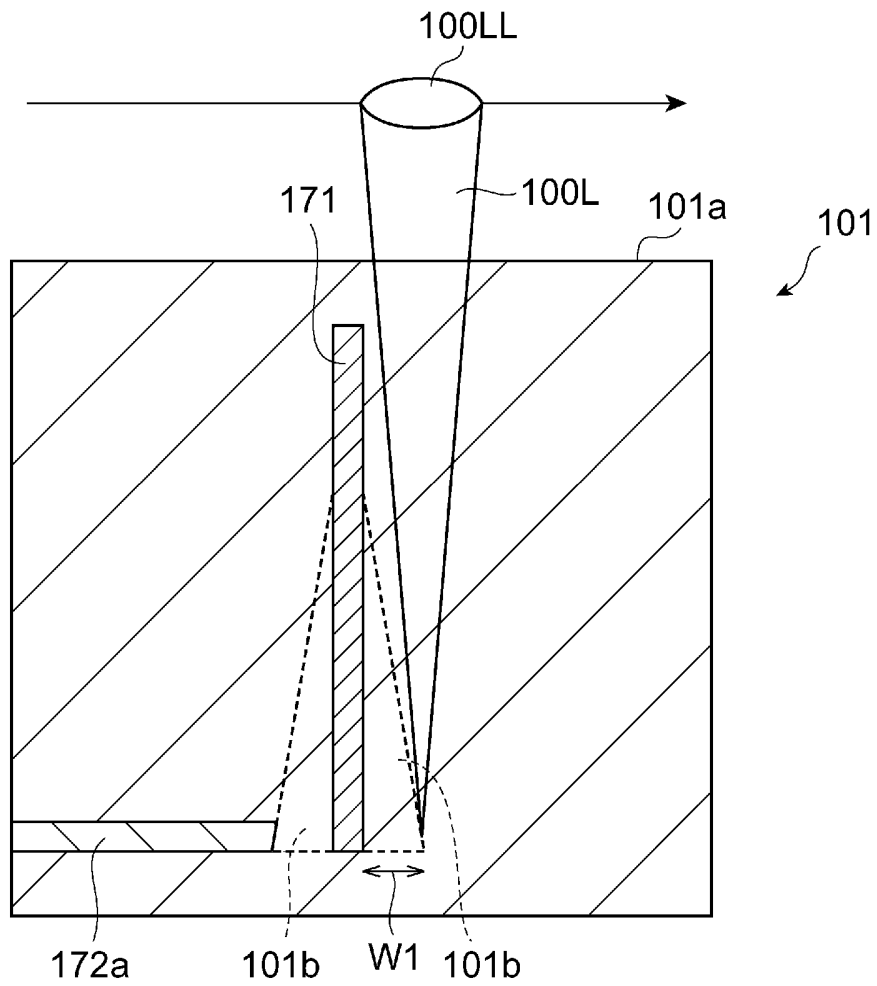
[図22]



[図23]



[図24]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/013055

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**B23K26/40** (2006.01), **B23K26/00** (2006.01), **B23K26/06** (2006.01),  
**B28D5/00** (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**B23K26/40** (2006.01), **B23K26/00** (2006.01), **B23K26/06** (2006.01),  
**B28D5/00** (2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-205180 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 23 July, 2002 (23.07.02), Page 6, left column, line 22 to right column, line 28; Figs. 14 to 17	1-6
A	JP 2003-266185 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 24 September, 2003 (24.09.03), Page 10, left column, line 34 to right column, line 28; Fig. 19 (Family: none)	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
05 October, 2005 (05.10.05)

Date of mailing of the international search report  
25 October, 2005 (25.10.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2005/013055

JP 2002-205180 A	2002.07.23	JP 2002-192367 A
		JP 2002-192368 A
		JP 2002-192369 A
		JP 2002-192370 A
		JP 2002-192371 A
		JP 2002-205181 A
		JP 2003-001443 A
		JP 2003-001446 A
		JP 2003-001447 A
		JP 2003-001448 A
		JP 2003-001449 A
		JP 2003-001450 A
		JP 2003-001451 A
		JP 2003-001457 A
		JP 2003-001458 A
		JP 2003-001459 A
		JP 2003-001460 A
		JP 2003-001461 A
		JP 2003-001462 A
		JP 2003-001468 A
		JP 2003-001469 A
		JP 2003-001473 A
		JP 2003-010986 A
		JP 2003-010988 A
		JP 2003-010990 A
		JP 2003-010991 A
		JP 2003-010992 A
		JP 2003-019582 A
		JP 2003-019583 A
		JP 2003-025080 A
		JP 2003-033887 A
		JP 2003-033889 A
		JP 2003-039184 A
		JP 2003-039186 A
		JP 2003-236688 A
		JP 2005-047290 A
		US 2004-0002199 A1
		EP 001338371 A1
		WO 02-022301 A1
		AU 008622701 A
		CN 001473087 A
		IL 000154910 D

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl.<sup>7</sup> B23K26/40 (2006.01), B23K26/00 (2006.01), B23K26/06 (2006.01), B28D5/00 (2006.01)

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl.<sup>7</sup> B23K26/40 (2006.01), B23K26/00 (2006.01), B23K26/06 (2006.01), B28D5/00 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-205180 A (浜松ホトニクス株式会社) 2002.07.23, 第6ページ左欄第22行~右欄第28行、及び図14~17	1-6
A	JP 2003-266185 A (浜松ホトニクス株式会社) 2003.09.24, 第10ページ左欄第34行~右欄第28行及び図19 (ファミリーなし)	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日  
05.10.2005

国際調査報告の発送日  
25.10.2005

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)	3P	3506
川村 健一		
電話番号 03-3581-1101 内線	3364	

JP 2002-205180 A	2002. 07. 23	JP 2002-192367 A
		JP 2002-192368 A
		JP 2002-192369 A
		JP 2002-192370 A
		JP 2002-192371 A
		JP 2002-205181 A
		JP 2003-001443 A
		JP 2003-001446 A
		JP 2003-001447 A
		JP 2003-001448 A
		JP 2003-001449 A
		JP 2003-001450 A
		JP 2003-001451 A
		JP 2003-001457 A
		JP 2003-001458 A
		JP 2003-001459 A
		JP 2003-001460 A
		JP 2003-001461 A
		JP 2003-001462 A
		JP 2003-001468 A
		JP 2003-001469 A
		JP 2003-001473 A
		JP 2003-010986 A
		JP 2003-010988 A
		JP 2003-010990 A
		JP 2003-010991 A
		JP 2003-010992 A
		JP 2003-019582 A
		JP 2003-019583 A
		JP 2003-025080 A
		JP 2003-033887 A
		JP 2003-033889 A
		JP 2003-039184 A
		JP 2003-039186 A
		JP 2003-236688 A
		JP 2005-047290 A
		US 2004-0002199 A1
		EP 001338371 A1
		WO 02-022301 A1
		AU 008622701 A
		CN 001473087 A
		IL 000154910 D