

(43) 国際公開日
2007 年 3 月 22 日 (22.03.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/032392 A1

(51) 国際特許分類:

B23K 26/40 (2006.01) B28D 5/00 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01) B23K 101/40 (2006.01)
B23K 26/073 (2006.01)

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 箴島 哲也 (OS-AJIMA, Tetsuya) [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). 杉浦 隆二 (SUGIURA, Ryuji) [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). 渥美 一弘 (ATSUMI, Kazuhiro) [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).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/318163

(22) 国際出願日: 2006 年 9 月 13 日 (13.09.2006)

(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2005-270817 2005 年 9 月 16 日 (16.09.2005) 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).

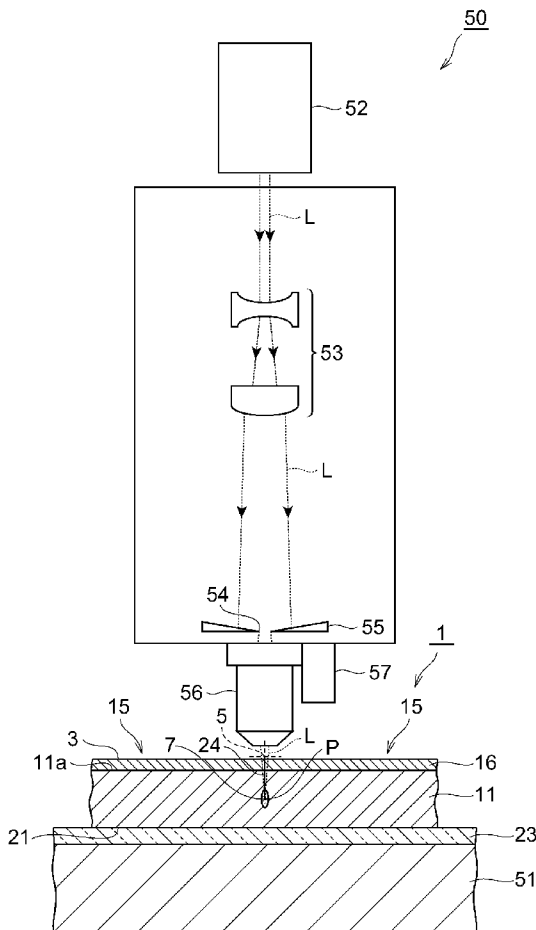
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiaki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 10 番 6 号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ,

[続葉有]

(54) Title: LASER PROCESSING METHOD AND LASER PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: レーザ加工方法及びレーザ加工装置



(57) Abstract: A laser processing method in which the sectional shape at a focusing point P of a laser beam L is such that a maximum length in a direction perpendicular to a scheduled cutting line (5) is shorter than a maximum length in a direction parallel to the scheduled cutting line (5). Therefore, the shape of a modified region (7) formed inside a silicon wafer (11), when viewed from a laser beam L incident direction, is such that a maximum length in a direction perpendicular to a scheduled cutting line (5) is shorter than a maximum length in a direction parallel to the scheduled cutting line (5). When the modified region (7) having such a shape is formed inside an object (1) to be processed, twist hackle can be prevented from appearing on a cut section when the object (1) to be processed is cut with the modified region (7) as a cutting start point, whereby it is possible to improve the flatness of a cut section.

(57) 要約: このレーザ加工方法では、集光点Pにおけるレーザ光Lの断面形状を、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さが切断予定ライン5に平行な方向の最大長さより短い形状とする。そのため、シリコンウェハ11の内部に形成される改質領域7の形状は、レーザ光Lの入射方向から見ると、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さが切断予定ライン5に平行な方向の最大長さより短い形状となる。このような形状を有する改質領域7が加工対象物1の内部に形成されると、改質領域7を切断の起点として加工対象物1を切断した際に、切断面にツイストハックルが現れるのを抑制することができ、切断面の平坦度を向上させることが可能になる。



LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, 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).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

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。

明 細 書

レーザ加工方法及びレーザ加工装置

技術分野

[0001] 本発明は、加工対象物を切断予定ラインに沿って切断するために使用され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] 従来におけるこの種のレーザ加工方法として、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、切断の起点となる改質領域を切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に形成する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2004-179302号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0003] しかしながら、上述したようなレーザ加工方法を使用し、改質領域を切断の起点として加工対象物を切断すると、切断面にツイストハックルが現れて、切断面にうねりや凹凸が発生するなど、切断面の平坦度が損なわれるおそれがある。

[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、改質領域を切断の起点として加工対象物を切断した際の切断面の平坦度を向上させることができるレーザ加工方法及びレーザ加工装置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

[0005] 上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工方法は、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、切断予定ラインに垂直な方向の最大長さが切断予定ラインに平行な方向の最大長さより短い断面形状を集光点で有する所定のレーザ光を照射することにより、所定の改質領域を形成することを特徴とする。

[0006] このレーザ加工方法では、集光点における所定のレーザ光の断面形状(光軸に垂

直な断面形状)を、切断予定ラインに垂直な方向の最大長さが切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、加工対象物の内部に形成される所定の改質領域の形状は、レーザ光の入射方向から見ると、切断予定ラインに垂直な方向の最大長さが切断予定ラインに平行な方向の最大長さより短い形状となる。このような形状を有する所定の改質領域が加工対象物の内部に形成されると、改質領域を切断の起点として加工対象物を切断した際に、切断面にツイストハックルが現れるのを抑制することができ、切断面の平坦度を向上させることが可能になる。

[0007] なお、切断の起点となる改質領域は、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、多光子吸収その他の光吸収を加工対象物の内部で生じさせることにより形成される。

[0008] 本発明に係るレーザ加工方法においては、所定の改質領域を形成することにより、切断予定ラインに沿った割れを所定の改質領域から加工対象物のレーザ光入射面に生じさせることが好ましい。上述したように、所定の改質領域の形状は、レーザ光の入射方向から見ると、切断予定ラインに垂直な方向の最大長さが切断予定ラインに平行な方向の最大長さより短い形状であることから、所定の改質領域から加工対象物のレーザ光入射面に生じさせた割れにおいては、ツイストハックルの出現が抑制される。従って、割れが蛇行したり、クランク状に進行したりするのを抑制して、割れをほぼ直進させることができ、改質領域を切断の起点として加工対象物を切断した際の切断面の平坦度を向上させることが可能になる。なお、加工対象物の厚さが比較的薄い場合には、切断予定ラインに沿った割れが所定の改質領域から加工対象物のレーザ光入射面に生じていると、改質領域を切断の起点として加工対象物を確実に切断することが可能になる。

[0009] 本発明に係るレーザ加工方法においては、改質領域を加工対象物の内部に形成した後に、改質領域を切断の起点として切断予定ラインに沿って加工対象物を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精度良く切断することが可能になる。

[0010] 本発明に係るレーザ加工方法においては、加工対象物は半導体基板を備え、改質領域は溶融処理領域を含む場合がある。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、改質領域を切断の起点として加工対象物を切断した際の切断面の平坦度を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0012] [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の第1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の第2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の第3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の第4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平面図である。

[図15]図14に示す加工対象物のXV-XV線に沿っての部分断面図である。

[図16]図14に示す加工対象物の裏面にエキスパンドテープを貼り付けた状態を示す部分断面図である。

[図17]図14に示す加工対象物にレーザ光を照射している状態を示す部分断面図である。

[図18]集光点におけるレーザ光の状態を示す図であり、(a)は、集光点におけるレーザ光の断面形状、(b)は、集光点におけるレーザ光の強度分布である。

[図19]図14に示す加工対象物の裏面に貼り付けられたエキスパンドテープを拡張させた状態を示す部分断面図である。

[図20]1本の切断予定ラインに対して5列の改質領域が形成された加工対象物の部分断面図であり、(a)は、加工対象物の裏面から1列目及び2列目の改質領域を整形レーザ光の照射により形成し、残りの改質領域を非整形レーザ光の照射により形成した場合、(b)は、加工対象物の裏面から2列目の改質領域を整形レーザ光の照射により形成し、残りの改質領域を非整形レーザ光の照射により形成した場合、(c)は、加工対象物の裏面から1列目の改質領域を整形レーザ光の照射により形成し、残りの改質領域を非整形レーザ光の照射により形成した場合である。

符号の説明

[0013] 1…加工対象物、3…表面(レーザ光入射面)、5…切断予定ライン、7…改質領域、11…シリコンウェハ(半導体基板)、13…熔融処理領域、24…割れ、50…レーザ加工装置、52…レーザヘッド(レーザ光源)、55…ナイフエッジ(可変手段)、56…対物レンズ(集光用レンズ)、L…レーザ光、P…集光点。

発明を実施するための最良の形態

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 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(平板状)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。

[0017] 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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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切断することができるので、切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切断方法は大変有効である。

[0021] 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。

[0022] (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 からの圧電材料)の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 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 $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。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。

[0023] 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。

[0024] (A)加工対象物:パイレックス(登録商標)ガラス(厚さ700 μm)

(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: $3.14 \times 10^{-8} \text{cm}^2$

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<1mJ/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

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

[0025] 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。

[0026] 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 10^{11} (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が分かる。

[0027] 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。

[0028] (2) 改質領域が熔融処理領域の場合

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 1×10^8 (W/cm²)以上で且つパルス幅が 1μ 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熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域や、まさに熔融状態の領域や、熔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。

[0029] 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。

[0030] (A)加工対象物:シリコンウェハ(厚さ350 μm 、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 μJ /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

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

[0031] 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 μm 程度である。

[0032] 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 μm 、100 μm 、200 μm 、500 μm 、1000 μm の

各々について上記関係を示した。

[0033] 例えば、Nd:YAGレーザの波長である1064nmにおいて、シリコン基板の厚さが500 μm 以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザ光が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 μm 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 μm の部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200 μm のシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザ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によるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

[0034] 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、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。

[0035] (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 $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上で且つパルス幅が1ns以下の条件でレーザ光を照射す

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 $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ 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。

[0036] 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など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。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] 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加工方法における加工対象物の平面図であり、図15は、図14に示す加工対象物のXV-XV線に沿っての部分断面図である。

[0040] 図14及び図15に示すように、加工対象物1は、厚さ $50 \mu\text{m}$ のシリコンウェハ(半導

体基板) 11と、複数の機能素子15を含んでシリコンウェハ11の表面11aに形成された機能素子層16とを備えている。機能素子15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、或いは回路として形成された回路素子等であり、シリコンウェハ11のオリエンテーションフラット6に平行な方向及び垂直な方向にマトリックス状に多数形成されている。

[0041] 以上のように構成された加工対象物1を以下のようにして機能素子15毎に切断する。まず、図16に示すように、加工対象物1の裏面21にエキスパンドテープ23を貼り付ける。続いて、図17に示すように、機能素子層16を上側にして加工対象物1をレーザ加工装置50の載置台51上に固定する。そして、加工対象物1の表面3をレーザ光入射面としてシリコンウェハ11の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを多光子吸収が生じる条件で照射し、載置台の移動によって、隣り合う機能素子15、15間を通るように格子状に設定された切断予定ライン5(図14の破線参照)のそれぞれに沿って集光点Pをスキャンする。

[0042] これにより、1本の切断予定ライン5に対して、切断予定ライン5に沿った1列の改質領域7を形成すると共に、切断予定ライン5に沿った割れ24を改質領域7から加工対象物1の表面3に生じさせる。なお、改質領域7は、熔融処理領域であるが、クラックが混在する場合もある。

[0043] ここで、レーザ加工装置50について説明する。図17に示すように、レーザ加工装置50は、レーザ光Lを出射するレーザヘッド(レーザ光源)52と、出射されたレーザ光Lのビーム径を拡張するレーザ整形光学系53と、拡張されたレーザ光Lの光軸上に位置し且つ切断予定ライン5に平行な方向に延在するスリット54を形成する一対のナイフエッジ(可変手段)55とを備えている。更に、レーザ加工装置50は、スリット54を通過したレーザ光Lを集光する対物レンズ(集光用レンズ)56と、加工対象物1の表面3からの深さが一定の位置に集光点を合わせるために対物レンズ56を上下動させるピエゾ素子57とを備えている。なお、例えば、レーザ整形光学系53により拡張されたレーザ光Lのビーム径は5mmであり、スリット54の幅は1mmであり、対物レンズ56の入射瞳の瞳径は2.7mmである。

[0044] これにより、集光点Pにおけるレーザ光Lの断面形状(光軸に垂直な断面形状)は、

図18(a)に示すように、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さが切断予定ライン5に平行な方向の最大長さより短い形状となる。また、集光点Pにおけるレーザ光Lの強度分布は、図18(b)に示すように、切断予定ライン5に垂直な方向においてガウシアン分布の両側の裾部がカットされた分布となる。なお、ナイフエッジ55は、レーザ光Lの光軸に対して水平方向に進退可能となっているため、スリット54の幅を変えることで、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さを変えることができる。

[0045] 改質領域7を形成すると共に割れ24を生じさせた後、図19に示すように、エキスパンドテープ23を拡張させて、改質領域7を起点として割れ24を加工対象物1の裏面21にも到達させ、シリコンウェハ11及び機能素子層16を切断予定ライン5に沿って切断すると共に、切断されて得られた各半導体チップ25を互いに離間させる。

[0046] 以上説明したように、上記レーザ加工方法では、集光点Pにおけるレーザ光Lの断面形状を、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さが切断予定ライン5に平行な方向の最大長さより短い形状とする。そのため、シリコンウェハ11の内部に形成される改質領域7の形状は、レーザ光Lの入射方向から見ると、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さが切断予定ライン5に平行な方向の最大長さより短い形状となる。このような形状を有する改質領域7が加工対象物1の内部に形成されると、改質領域7を切断の起点として加工対象物1を切断した際に、切断面にツイストハックルが現れるのを抑制することができ、切断面の平坦度を向上させることが可能になる。

[0047] また、上述したように、改質領域7の形状は、レーザ光Lの入射方向から見ると、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さが切断予定ライン5に平行な方向の最大長さより短い形状であることから、改質領域7から加工対象物1の表面3に生じさせた割れ24においては、ツイストハックルの出現が抑制される。従って、割れ24が蛇行したり、クランク状に進行したりするのを抑制して、割れ24をほぼ直進させることができ、このことも、改質領域7を切断の起点として加工対象物1を切断した際の切断面の平坦度の向上に寄与することとなる。

[0048] また、加工対象物1の厚さが50 μ mというように比較的薄い場合には、切断予定ライン5に沿った割れ24を改質領域7から加工対象物1の表面3に生じさせることで、改質領域7を切断の起点として加工対象物1を確実に(すなわち、割り残しなく)半導体

チップ25に切断することが可能になる。

[0049] 更に、レーザ光Lは、加工対象物1の表面3においても、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さが切断予定ライン5に平行な方向の最大長さより短い形状を有している。そのため、機能素子15が熱に弱いような場合であっても、隣り合う機能素子15, 15間の間隔を狭くすることができ、1枚の加工対象物1からより多くの半導体チップ25を得ることが可能になる。

[0050] 本発明は、上述した実施形態に限定されない。

[0051] 例えば、1本の切断予定ライン5に対して加工対象物1の内部に形成される改質領域7の列数は、加工対象物1の厚さ等に応じて変化するものであり、1列に限定されるものではない。また、切断予定ライン5に沿った割れ24を改質領域7から加工対象物1の表面3に生じさせないように、改質領域7を形成してもよい。

[0052] 1本の切断予定ライン5に対して複数列の改質領域7を形成する場合には、切断予定ライン5に垂直な方向の最大長さ(以下、「垂直方向長さ」という)が切断予定ライン5に平行な方向の最大長さ(以下、「平行方向長さ」という)より短い断面形状を集光点Pで有するレーザ光Lを照射することにより、全ての改質領域7を形成してもよい。ただし、加工対象物1のレーザ光入射面から深い位置に形成される改質領域7は、浅い位置に形成される改質領域7に比べ、加工対象物1内でのレーザ光Lの集光率の影響によりレーザ光Lのエネルギーが低下するため、適正な分断作用を有しない場合がある。そこで、加工対象物1のレーザ光入射面から浅い位置に改質領域7を形成する際には、垂直方向長さが平行方向長さより短い断面形状を有するレーザ光Lを照射し、加工対象物1のレーザ光入射面から深い位置に改質領域7を形成する際には、浅い位置に改質領域7を形成する際に比べ、垂直方向長さが長い断面形状を有するレーザ光Lを照射することが望ましい。

[0053] また、1本の切断予定ライン5に対して複数列の改質領域7を形成する場合には、垂直方向長さが平行方向長さより短い断面形状を有するレーザ光(以下、「整形レーザ光」という)を照射することにより、加工対象物1のレーザ光入射面から1列目及び2列目の改質領域7の少なくとも一方を形成し、垂直方向長さと平行方向長さがほぼ等しい断面形状を有するレーザ光(以下、「非整形レーザ光」という)を照射することに

より、残りの改質領域7を形成してもよい。このように、加工対象物1のレーザ光入射面から1列目及び2列目の改質領域7の少なくとも一方を整形レーザ光により形成することで、改質領域7を切断の起点として加工対象物1を切断した際にレーザ光入射面の切断品質を向上させることができる。なお、整形レーザ光と非整形レーザ光との切替は、上述したレーザ加工装置50においては、次のようにして行われる。すなわち、レーザ光Lの光軸に対してナイフエッジ55を前進させて、スリット54の幅を狭くすることで、整形レーザ光が得られる。一方、レーザ光Lの光軸に対してナイフエッジ55を後退させて、スリット54の幅を広くすることで、非整形レーザ光が得られる。

[0054] 図20は、1本の切断予定ライン5に対して5列の改質領域 $7_1 \sim 7_5$ が形成された加工対象物1の部分断面図であり、(a)は、加工対象物1の裏面21から1列目及び2列目の改質領域 $7_4, 7_5$ を整形レーザ光の照射により形成し、残りの改質領域 $7_1 \sim 7_3$ を非整形レーザ光の照射により形成した場合、(b)は、加工対象物1の裏面21から2列目の改質領域 7_4 を整形レーザ光の照射により形成し、残りの改質領域 $7_1 \sim 7_3, 7_5$ を非整形レーザ光の照射により形成した場合、(c)は、加工対象物1の裏面21から1列目の改質領域 7_5 を整形レーザ光の照射により形成し、残りの改質領域 $7_1 \sim 7_4$ を非整形レーザ光の照射により形成した場合である。なお、図20(a)の場合は、切断予定ライン5に沿った深い割れを裏面21に生じさせるのに有効であり、図20(b)の場合は、切断予定ライン5に沿った浅い割れを裏面21に生じさせるのに有効であるが、必ずしも割れを生じさせることを目的とするものではない。

[0055] また、上記実施形態は、加工対象物1の表面3をレーザ光入射面とする場合であったが、加工対象物1の裏面21をレーザ光入射面としてもよい。更に、上記実施形態は、切断予定ライン5上に機能素子層16が存在する場合であったが、切断予定ライン5上に機能素子層16が存在せず、シリコンウェハ11の表面11aが露出している状態で、シリコンウェハ11の表面11aをレーザ光入射面としてもよい。

産業上の利用可能性

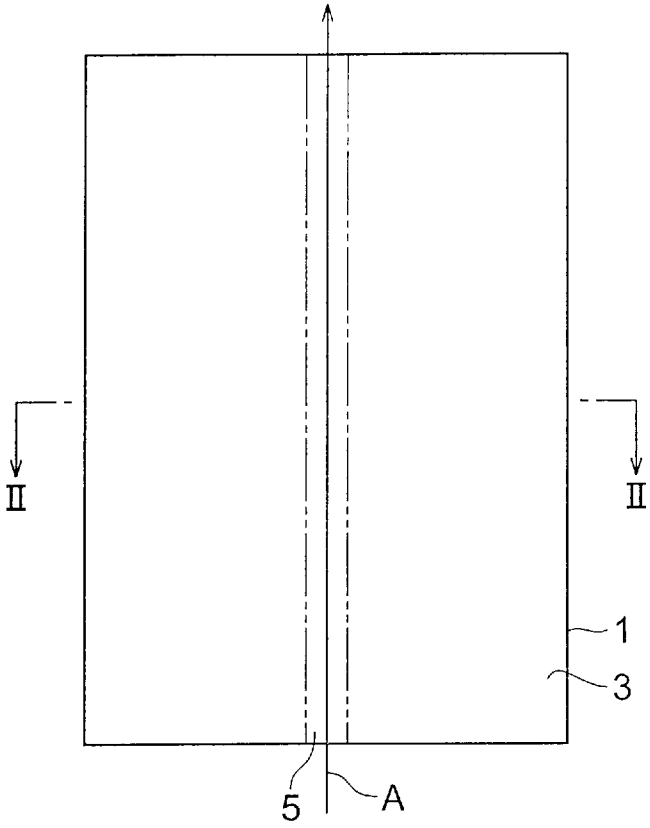
[0056] 本発明によれば、改質領域を切断の起点として加工対象物を切断した際の切断面の平坦度を向上させることができる。

請求の範囲

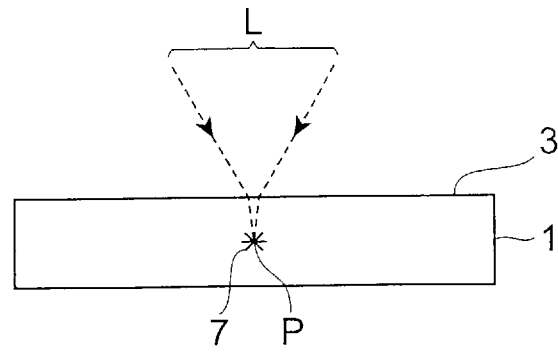
- [1] 加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる改質領域を前記加工対象物の内部に形成するレーザ加工方法であって、
- 前記切断予定ラインに垂直な方向の最大長さが前記切断予定ラインに平行な方向の最大長さより短い断面形状を集光点で有する所定のレーザ光を照射することにより、所定の改質領域を形成することを特徴とするレーザ加工方法。
- [2] 前記所定のレーザ光を照射することにより、1本の前記切断予定ラインに対して複数列の前記所定の改質領域を形成することを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。
- [3] 1本の前記切断予定ラインに対して複数列の前記改質領域を形成する場合において、前記所定のレーザ光を照射することにより、前記加工対象物のレーザ光入射面から1列目及び2列目の前記改質領域の少なくとも一方を前記所定の改質領域とすることを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。
- [4] 前記所定の改質領域を形成することにより、前記切断予定ラインに沿った割れを前記所定の改質領域から前記加工対象物のレーザ光入射面に生じさせることを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。
- [5] 前記改質領域を前記加工対象物の内部に形成した後に、前記改質領域を切断の起点として前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物を切断することを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。
- [6] 前記加工対象物は半導体基板を備え、前記改質領域は溶融処理領域を含むことを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。
- [7] 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、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加工対象物の内部に集光する集光用レンズと、

前記集光点における前記レーザ光の断面形状において、前記切断予定ラインに垂直な方向の最大長さを可変する可変手段と、を備えることを特徴とするレーザ加工装置。

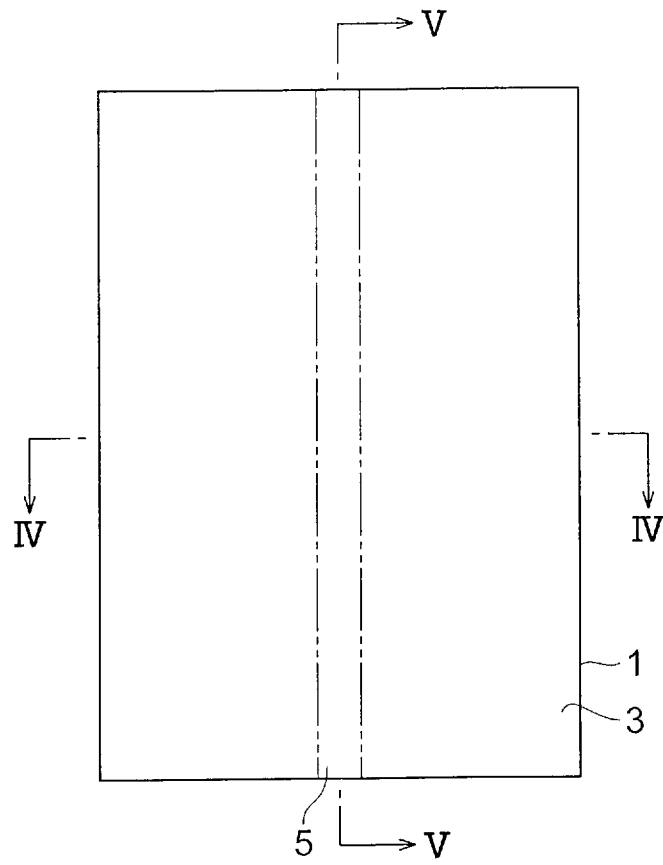
[図1]



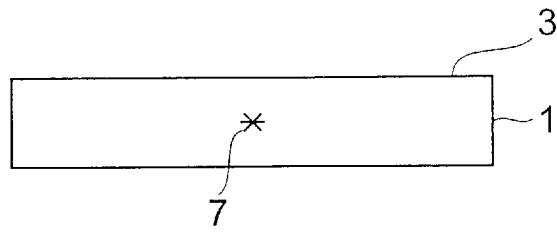
[図2]



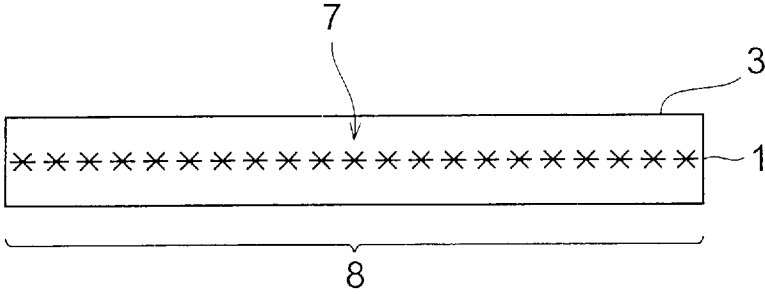
[図3]



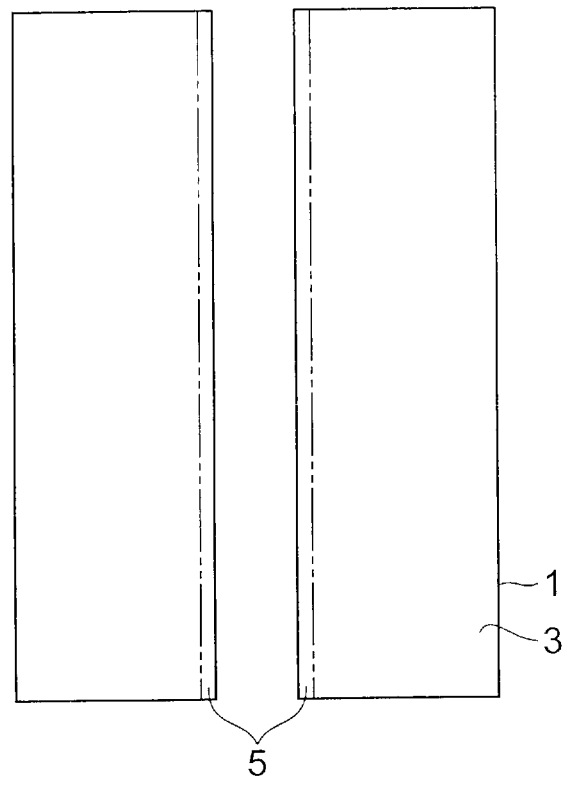
[図4]



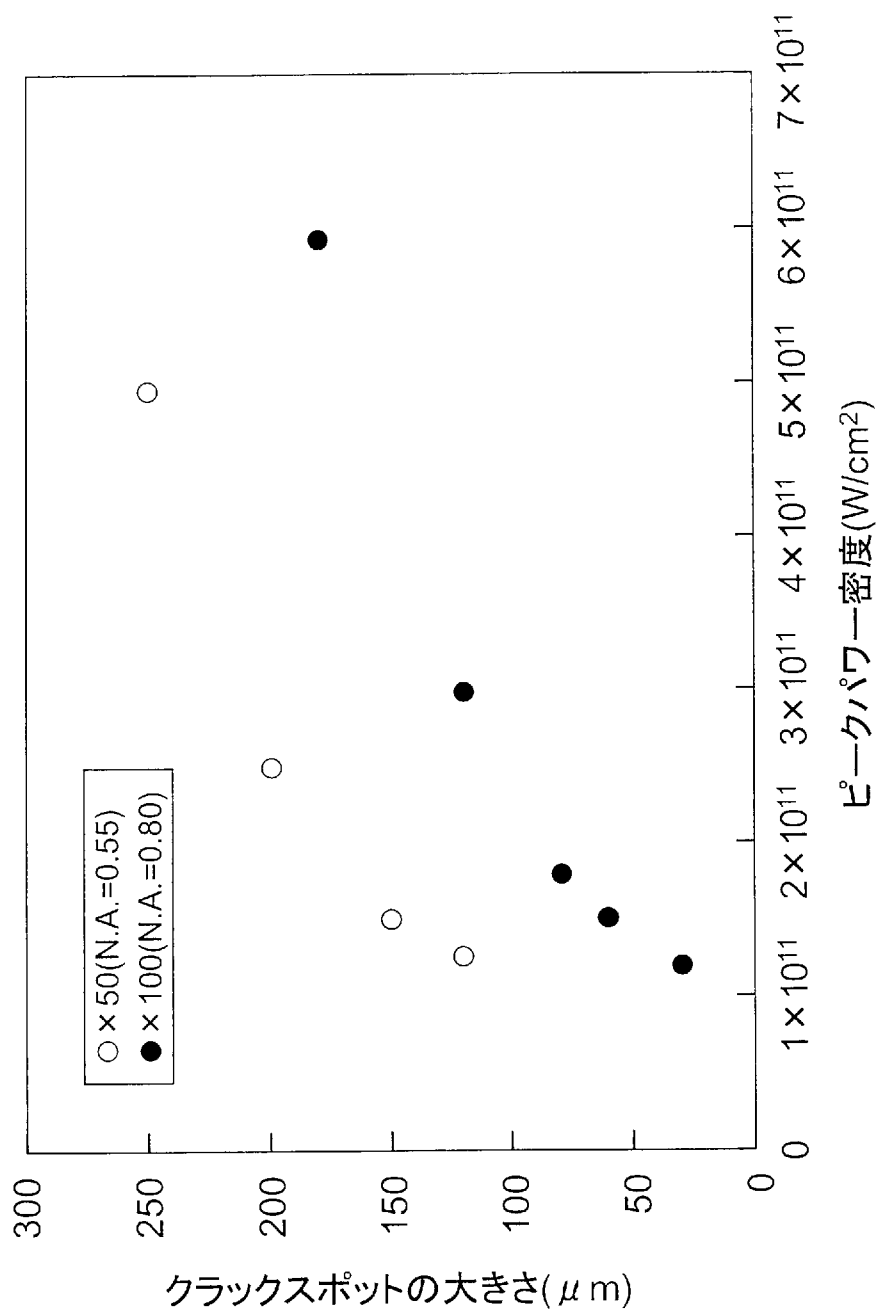
[図5]



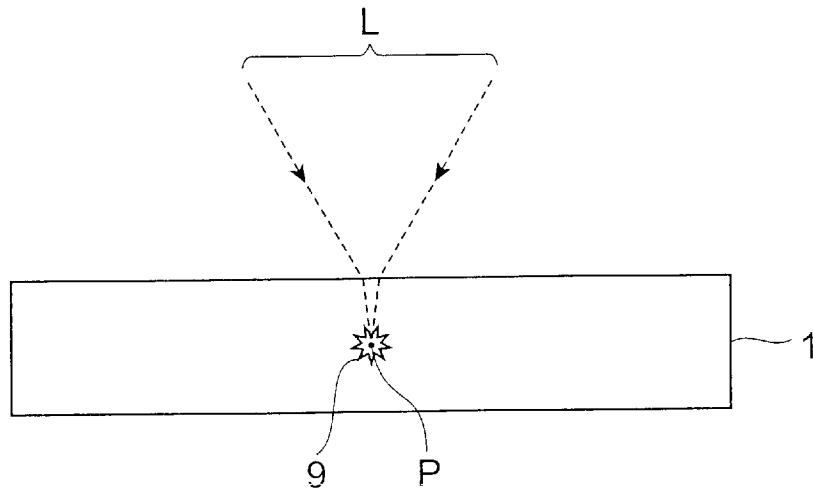
[図6]



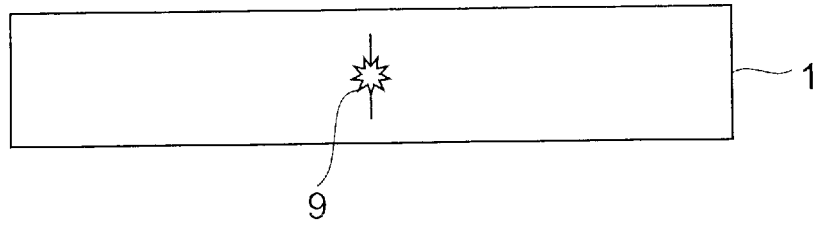
[図7]



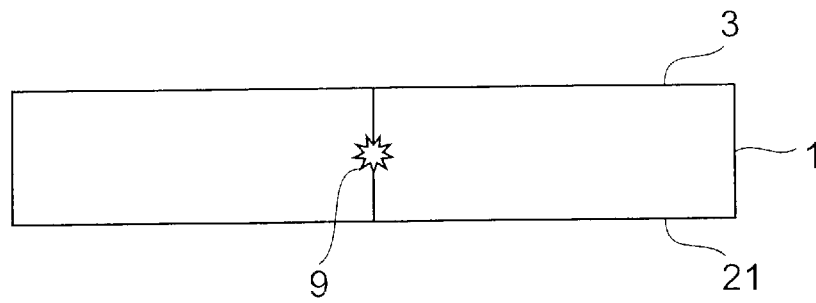
[図8]



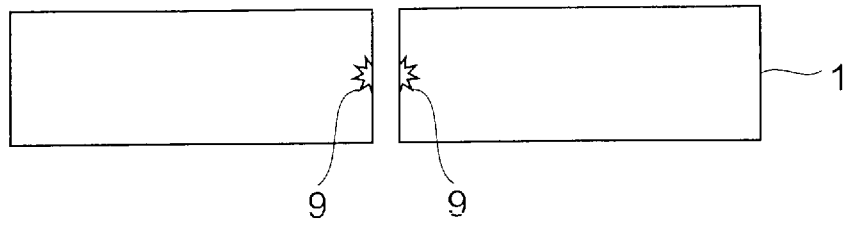
[図9]



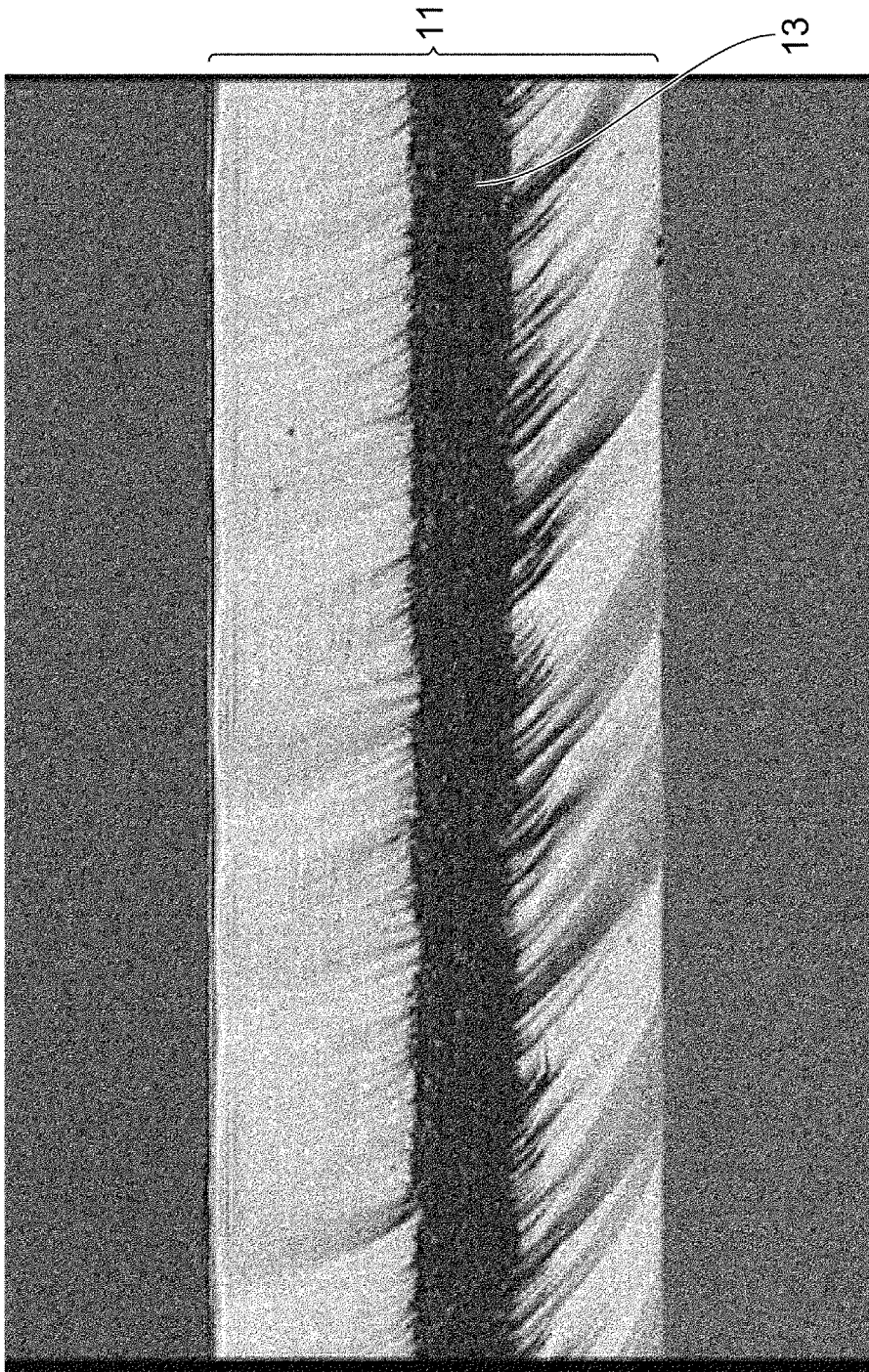
[図10]



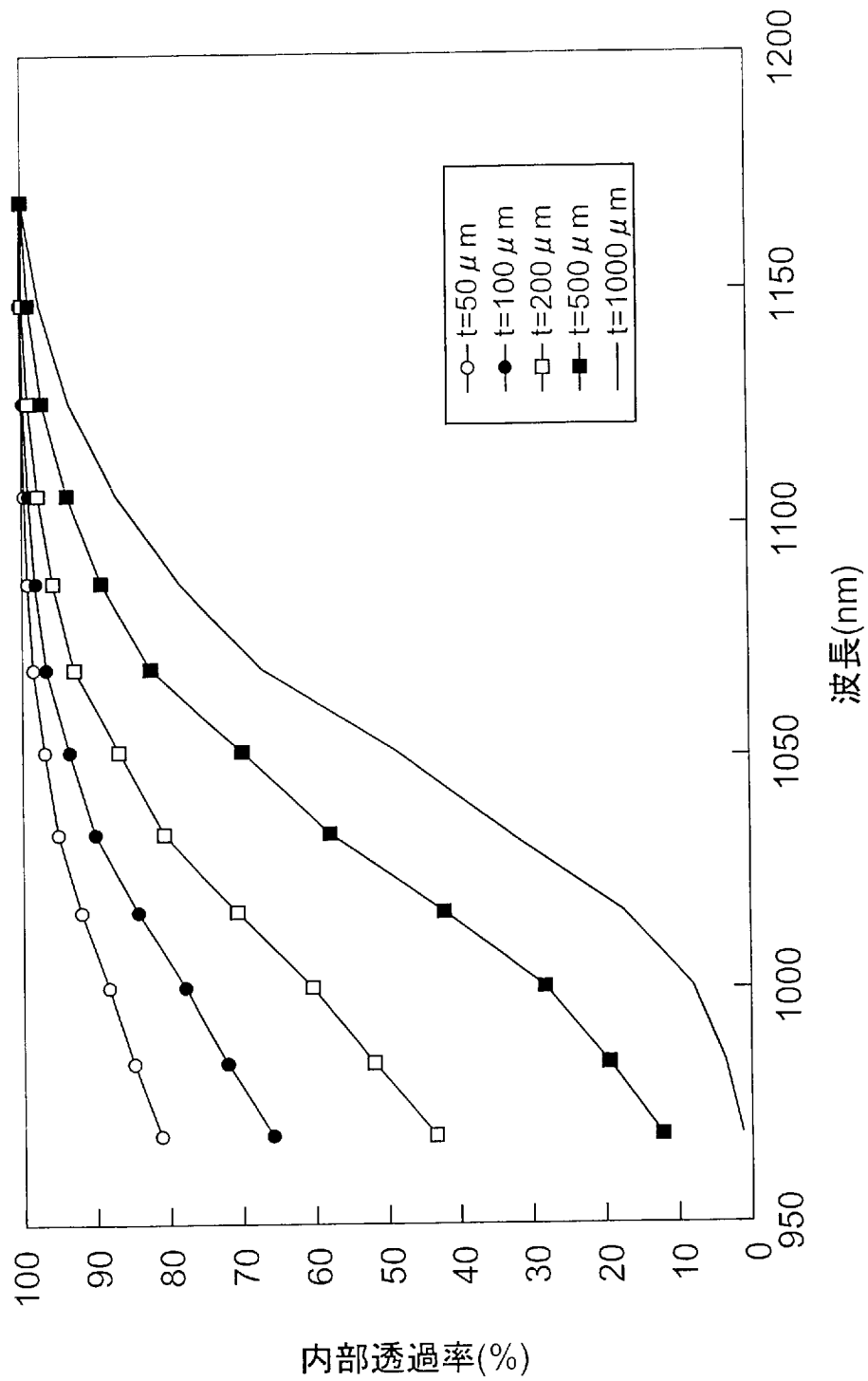
[図11]



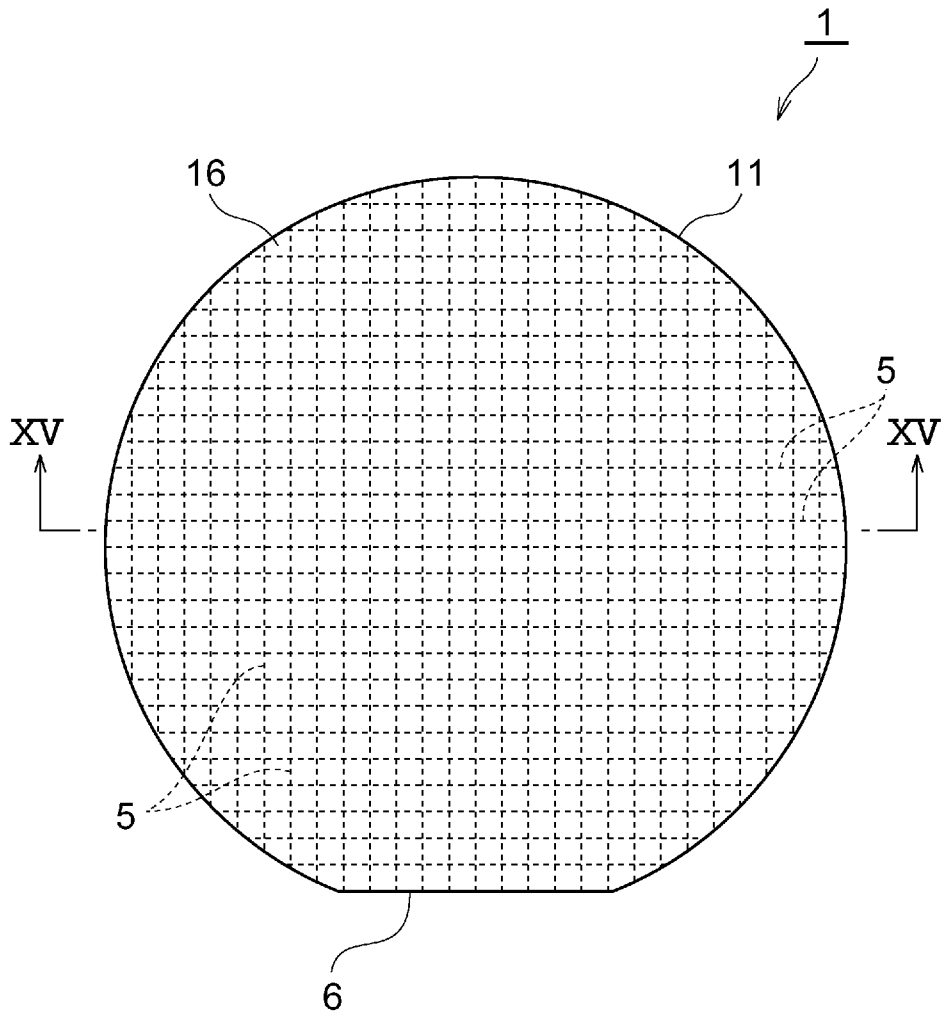
[図12]



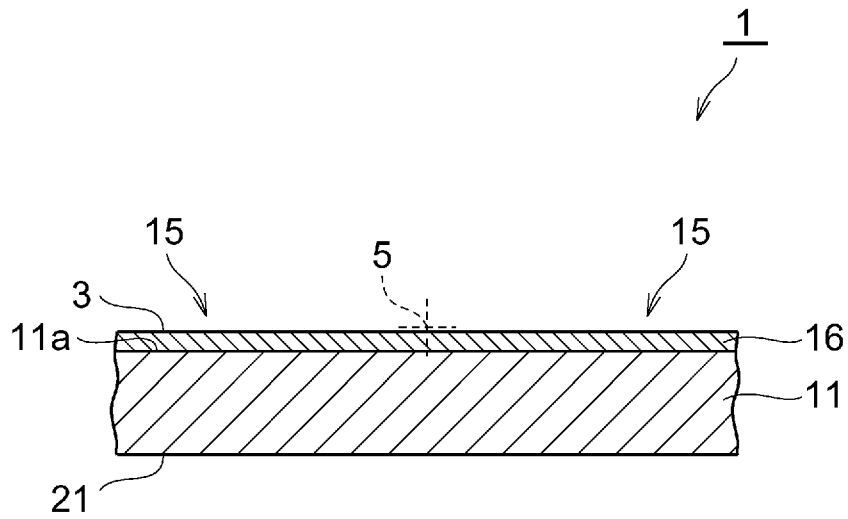
[図13]



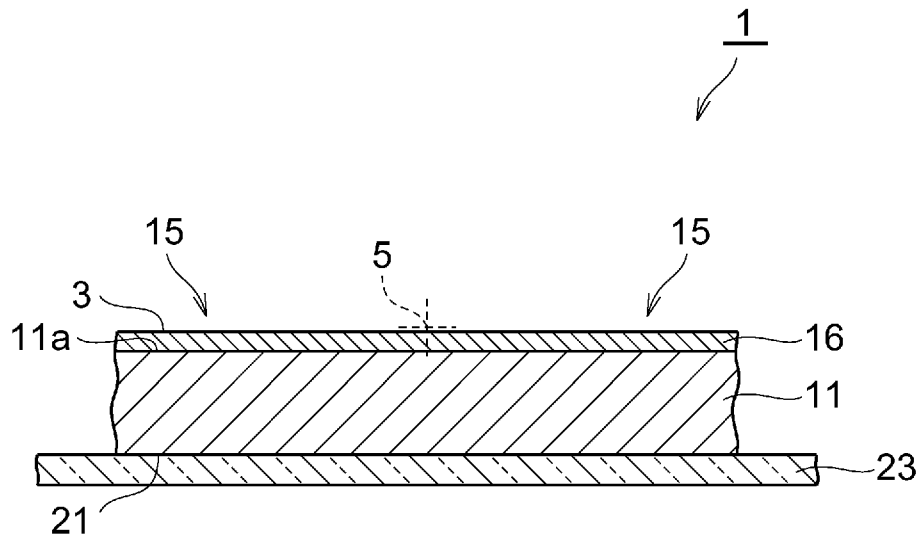
[図14]



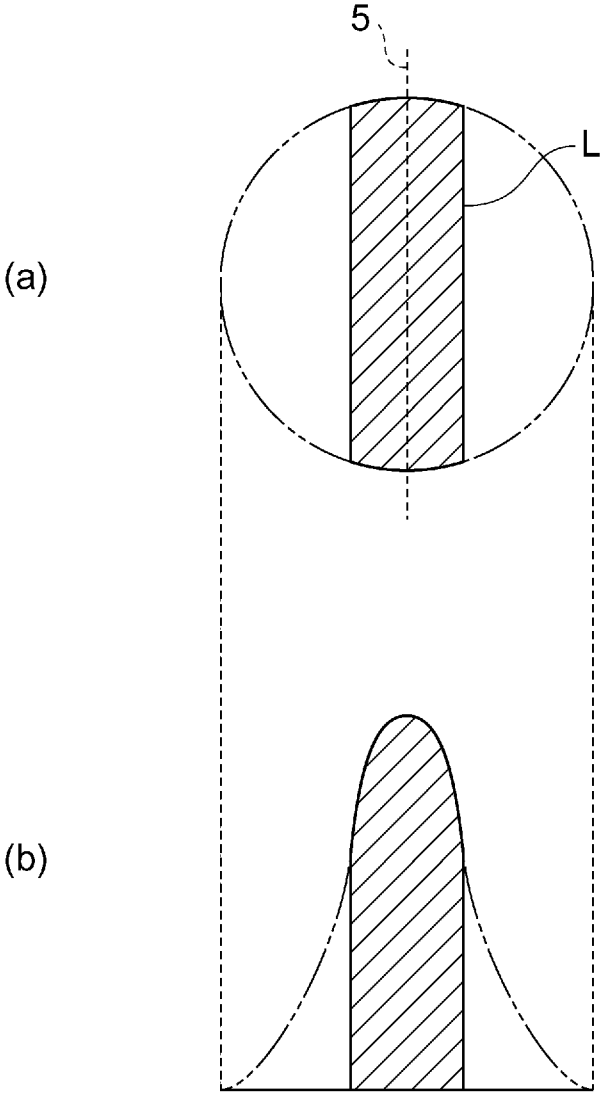
[図15]



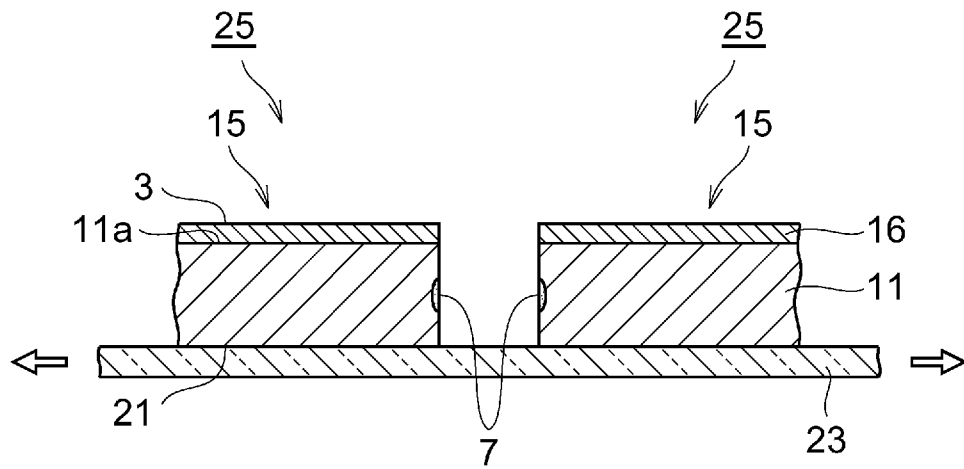
[図16]



[図18]

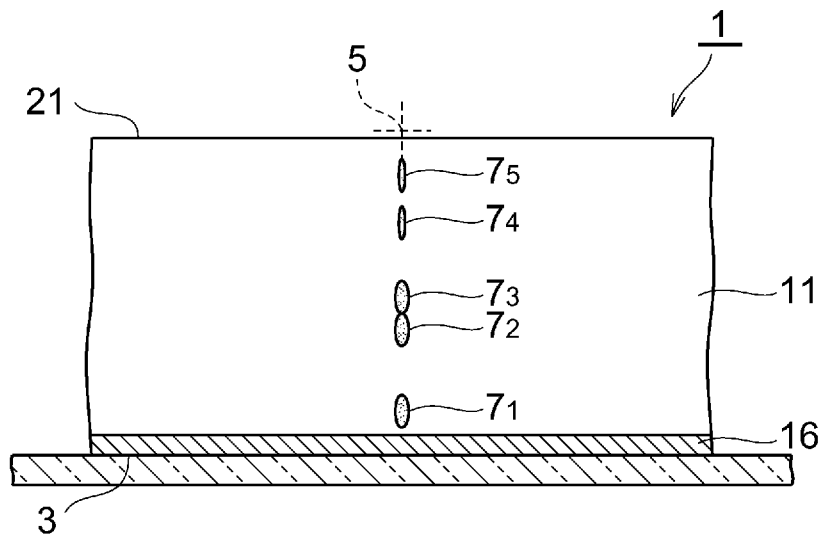


[図19]

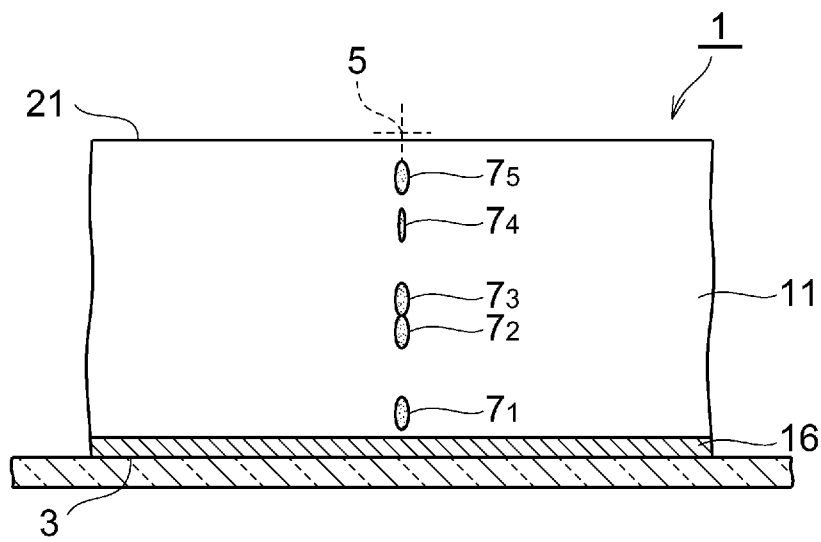


[図20]

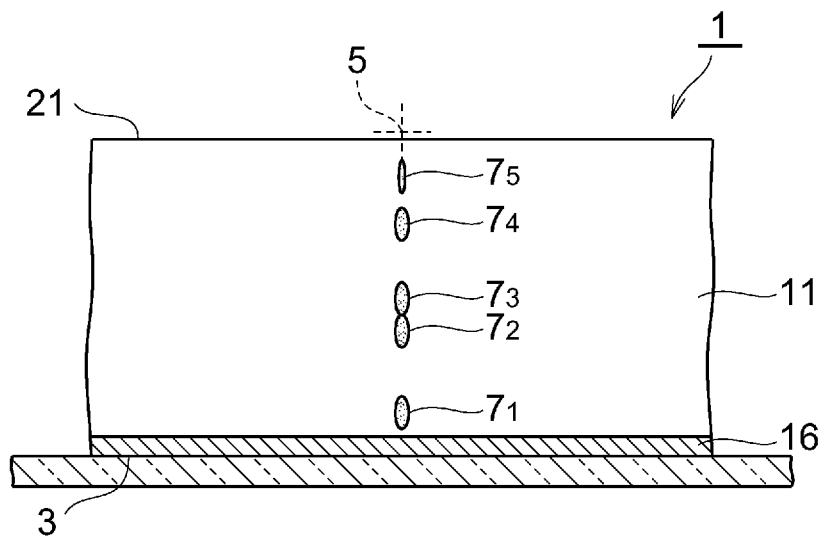
(a)



(b)



(c)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/318163

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K26/40(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/073(2006.01)i, B28D5/00(2006.01)i, B23K101/40(2006.01)n

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, B23K26/00, B23K26/073, B28D5/00, B23K101/40

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	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

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.
Y	JP 2004-179302 A (Disco Inc.), 24 June, 2004 (24.06.04), Page 2, line 1 to page 10, line 8; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-7
Y A	JP 2005-116844 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 April, 2005 (28.04.05), Page 2, line 1 to page 10, line 24; Figs. 1 to 9 (Family: none)	1-6 7
Y A	JP 2005-235993 A (Canon Inc.), 02 September, 2005 (02.09.05), Page 2, line 1 to page 12, line 45; Figs. 1 to 24 (Family: none)	1-6 7

☒ 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
12 December, 2006 (12.12.06)

Date of mailing of the international search report
19 December, 2006 (19.12.06)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/318163

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2002-324768 A (NEC Machinery Corp.), 08 November, 2002 (08.11.02), Page 2, left column, line 1 to page 6, left column, line 50; Figs. 1 to 14 & US 2002/115235 A1	1-6 7
Y A	JP 09-150286 A (Corning Inc.), 10 June, 1997 (10.06.97), page 2, left column, line 1 to page 7, right column, line 25; Figs. 1 to 4 & WO 1996/009254 A1 & WO 1997/007927 A1	1-6 7
Y A	JP 2003-266185 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 24 September, 2003 (24.09.03), Page 2, left column, line 1 to page 10, right column, line 38; Figs. 1 to 23 (Family: none)	6 1-5, 7
Y A	JP 2000-263257 A (Hitachi Cable, Ltd.), 26 September, 2000 (26.09.00), Page 2, left column, line 1 to page 5, right column, line 30; Figs. 1 to 6 (Family: none)	7 1-6
A	JP 08-001363 A (Sony Corp.), 09 January, 1996 (09.01.96), Full text; drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. B23K26/40(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/073(2006.01)i, B28D5/00(2006.01)i,
B23K101/40(2006.01)n

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 (I P C))

Int.Cl. B23K26/40, B23K26/00, B23K26/073, B28D5/00, B23K101/40

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 6 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 6 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 6 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
Y	J P 2 0 0 4 - 1 7 9 3 0 2 A (株式会社ディスコ) 2 0 0 4 . 0 6 . 2 4, 第2ページ第1行-第10ページ第8行、及 び図1-図8 (ファミリーなし)	1 - 7
Y A	J P 2 0 0 5 - 1 1 6 8 4 4 A (松下電器産業株式会社) 2 0 0 5 . 0 4 . 2 8, 第2ページ第1行-第10ページ第24行、 及び図1-図9 (ファミリーなし)	1 - 6 7

☒ 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

「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
「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
「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)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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
「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
「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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 2 . 1 2 . 2 0 0 6

国際調査報告の発送日

1 9 . 1 2 . 2 0 0 6

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

松本 公一

3 P

3 5 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 6 4

C (続き). 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
Y A	J P 2005-235993 A (キヤノン株式会社) 2005.09.02, 第2ページ第1行-第12ページ第45行、 及び図1-図24 (ファミリーなし)	1-6 7
Y A	J P 2002-324768 A (エヌイーシーマシナリー株式 会社) 2002.11.08, 第2ページ左欄第1行-第6ページ左欄第 50行、及び図1-図14 & US 2002/115235 A1	1-6 7
Y A	J P 09-150286 A (コーニング インコーポレイテッ ド) 1997.06.10, 第2ページ左欄第1行-第7ページ右欄第 25行、及び図1-図4 & WO 1996/009254 A 1 & WO 1997/007927 A1	1-6 7
Y A	J P 2003-266185 A (浜松ホトニクス株式会社) 2003.09.24, 第2ページ左欄第1行-第10ページ右欄 第38行、及び図1-図23 (ファミリーなし)	6 1-5、7
Y A	J P 2000-263257 A (日立電線株式会社) 2000.09.26, 第2ページ左欄第1行-第5ページ右欄第 30行、及び図1-図6 (ファミリーなし)	7 1-6
A	J P 08-001363 A (ソニー株式会社) 1996.01.09, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-7