

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年6月15日 (15.06.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/062017 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/301 (2006.01) B23K 26/40 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01) B28D 5/00 (2006.01)
B23K 26/06 (2006.01) B23K 101/40 (2006.01)

Ltd.) [JP/JP]; 〒6018033 京都府京都市南区東九条南石田町5番地 Kyoto (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/021984

(22) 国際出願日: 2005年11月30日 (30.11.2005)

(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2004-355033 2004年12月8日 (08.12.2004) JP
特願2005-212364 2005年7月22日 (22.07.2005) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社レーザーソリューションズ (Laser Solutions Co.,

(72) 発明者: および

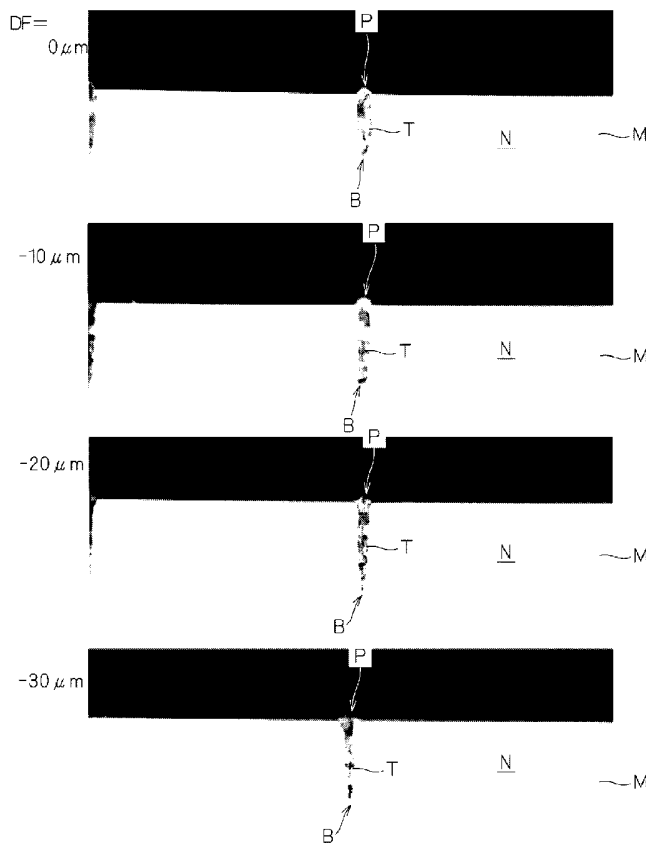
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 長友 正平 (NAGATOMO, Syohei) [JP/JP]; 〒6018033 京都府京都市南区東九条南石田町5番地 株式会社レーザーソリューションズ内 Kyoto (JP). 栗山 規由 (KURIYAMA, Noriyuki) [JP/JP]; 〒6018033 京都府京都市南区東九条南石田町5番地 株式会社レーザーソリューションズ内 Kyoto (JP). 増尾 純一 (MASUO, Junichi) [JP/JP]; 〒6018033 京都府京都市南区東九条南石田町5番地 株式会社レーザーソリューションズ内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 吉田 茂明, 外(YOSHIDA, Shigeaki et al.); 〒5400001 大阪府大阪市中央区城見1丁目4番70号 住友生命OBPプラザビル10階 Osaka (JP).

[続葉有]

(54) Title: DIVISION STARTING POIN FORMING METHOD IN BODY TO BE DIVIDED, DIVIDING METHOD FOR BODY TO BE DIVIDED, AND METHOD OF PROCESSING WORK BY PULSE LASER BEAM

(54) 発明の名称: 被分割体における分割起点形成方法、被分割体の分割方法、およびパルスレーザー光による被加工物の加工方法



(57) Abstract: A starting point forming method suitable for dividing a body to be divided by irradiating the body with a laser beam. A location at which the body (M) to be divided is irradiated with a laser beam having energy not strong enough to form a scribe groove due to ablation with its focal point defocused 20-30 μm inward from the upper surface of the body (M) to be divided. A degenerated area (T) having a slender sectional shape is formed by quick heating due to absorption and quick cooling that follows. When the body (M) is broken, a good breaking is accomplished starting at the lower-most end of the degenerated area (T). In addition, when a substance higher in laser beam absorption factor than the body (M) is imparted to a breaking location in advance within the wavelength range of a laser beam to be used, a laser beam absorption efficiency is enhanced at that location only to thereby enable even the irradiation of a laser beam having pulse energy so weak as not to basically cause absorption to positively form a degenerated area serving as a division starting point.

(57) 要約: レーザー光を被分割体に照射することによる、該被分割体の分割に好適な起点の形成方法を提供する。被分割体Mの分割しようとする箇所に対して、ア

ブレーション

[続葉有]

WO 2006/062017 A1



- (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, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, 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, 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。

によってスクライプ溝が形成されるほどの強いエネルギーを有さないレーザー光を、焦点を被分割体Mの上面から内部に $20\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ だけデフォーカスした状態で照射する。吸収による急速加熱とその後の急速冷却により、細長い断面形状を有する変質領域Tが形成される。ブレイク処理に際しては、該変質領域Tの最下端部が起点となった、良好なブレイクが実現される。さらに、使用するレーザー光の波長範囲において被分割体Mよりもレーザー光の吸収率が高い物質を分割しようとする箇所にあらかじめ付与しておく、レーザー光の吸収効率が当該箇所のみ高められるので、本来であれば吸収が生じない弱いパルスエネルギーのレーザー光の照射によっても、分割起点となる変質領域の形成が確実に行えるようになる。

明 細 書

被分割体における分割起点形成方法、被分割体の分割方法、およびパルスレーザー光による被加工物の加工方法

技術分野

[0001] 本発明は、レーザー光を用いた微細加工方法、特に被加工物の分割に際し好適な加工処理方法に関する。

背景技術

[0002] YAGレーザーなどのレーザー光を利用した溶接や切断、穴あけなどの加工は、従来より広く用いられている。近年では、例えばYAGの3倍高調波を用いたパルスレーザーによって、サファイアなど硬度が高く、かつ脆性を有する基板材料や、該基板材料上にGaNなどの同じく硬脆なワイドバンドギャップ化合物半導体薄膜により短波長LD(レーザーダイオード)、LED(発光ダイオード)などのデバイスを形成したものに對しスクライブ加工等を施すことを目的とする装置も公知となっている(例えば、特開2004-114075号公報および特開2004-9139号公報参照。)。特許文献1および特許文献2においては、レーザー光を照射して当該照射位置(被加工部位)にアブレーションを生じさせることによって、被加工物の切削、切断を行える装置が開示されている。

[0003] 上記のような基板材料等を対象として、これを多数のチップやダイなどに分割する場合(いわゆるブレイクをする場合)、まず分割対象(被分割体)の表面にブレイクの起点となるブレイク溝(スクライブ溝)を形成し、その後に該ブレイク溝に沿ったブレイク処理を行ってチップ等を得ることが、従来から一般的である。それゆえ、例えば特開2004-114075号公報や特開2004-9139号公報に開示されているようなレーザー光を用いる場合でも、レーザー光によるアブレーションによってブレイク溝が形成されることを必須の要件として照射条件が定められるものであった。被分割体がサファイアやSiCあるいはこれらを基材とする積層構造体(エピタキシャル基板やデバイス)などのように硬脆な材料では、溝形成に要するエネルギーは大きいので、高出力のレーザーが必要とされていた。

発明の開示

- [0004] しかしながら、本発明の発明者は、鋭意に実験・観察等を繰り返すことにより、分割の起点をレーザー光を照射して形成するにあたっては、被分割体の当該照射位置の物質をアブレーションによって消失させて「スクライブ溝」を形成することは、必須の要件ではないことを見出した。
- [0005] 本発明は、レーザー光を用いて被分割体に分割のための起点を形成する方法に関する。
- [0006] 本発明によれば、被分割体に分割のための起点を形成する方法は、パルスレーザー光を所定の走査方向に走査しつつ前記被分割体の被照射面に照射することにより、前記被分割体に融解改質された変質領域を形成する変質領域形成工程、を備える。
- [0007] これにより、被分割体を分割する際は、融解改質によって形成された変質領域の最下端部が分割起点となる。これにより、被分割体を良好に分割することができる。
- [0008] 好ましくは、当該方法においては、前記被分割体のうち前記パルスレーザー光を照射した部分が消失しない照射条件で前記パルスレーザー光を照射する。
- [0009] これにより、融解改質によって変質領域を形成しさえすれば、スクライブ溝を形成せずとも、被分割体を良好に分割することができるので、パルスレーザー光の照射に際してのエネルギー消費が抑制できる。
- [0010] また、好ましくは、当該方法は前記起点の形成予定箇所の少なくとも一部において前記パルスレーザー光の吸収を生じさせるための所定の準備処理を行う準備工程、をさらに備え、前記変質領域形成工程が、前記準備処理が施された前記形成予定箇所に前記パルスレーザー光を照射することにより前記起点となる前記変質領域を形成する起点形成工程であり、前記起点形成工程においては、前記準備工程を行わない場合には前記起点が形成されない強さのエネルギーでパルスレーザー光を照射する。
- [0011] これにより、通常であれば十分に吸収が生じないような弱いエネルギーのレーザー光を照射する場合であっても準備処理を施された箇所においては確実に吸収が生じ、走査を行う際には吸収状態が維持されるので、分割の起点となる変質領域をそうし

た弱いエネルギーのレーザー光の照射による融解改質によって形成することが出来る。

[0012] 従って、本発明の目的は、レーザー光を高出力で照射せずとも非分割体に確実に分割のための起点を形成できる方法を提供することにある。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明を実現する装置の一例としてのレーザー加工装置100の構成を示す図である。

[図2]ステージ5の上面側の構造を例示的に示す図である。

[図3]集塵ヘッド11を示す図である。

[図4]デフォーカス状態について模式的に示す図である。

[図5]デフォーカス値DFを代えてレーザー光を照射した場合の被分割体M表面を光学顕微鏡で見た図である。

[図6]デフォーカス値DFを代えてレーザー光を照射した場合の走査方向に垂直な断面を光学顕微鏡で見た図である。

[図7]図6の一部の拡大像の図である。

[図8]デフォーカス値DFを $-20\mu\text{m}$ とした場合の断面近傍のSEM像の図である。

[図9]デフォーカス値DFを代えてレーザー光を照射した場合のブレイク面を光学顕微鏡で見た図である。

[図10]デフォーカス値DFを代えてレーザー光を照射した場合のブレイク面を光学顕微鏡で見た図である。

[図11]デフォーカス値DFと変質領域Tの深さとの関係を示す図である。

[図12]デフォーカスの際のレーザー光LBの実際の照射状態について模式的に示す図である。

[図13]パルス幅が異なる場合について被分割体の走査方向に垂直な断面を光学顕微鏡で見た図である。

[図14]アッテネータ20の構成および作用について模式的に示す図である。

[図15]照射エネルギーを代えつつレーザー光LBを被分割体M”に照射した場合の被分割体M”の断面を光学顕微鏡像で見た図である。

[図16]照射エネルギーを代えつつレーザー光LBを被分割体M”に照射した場合の被分割体M”の断面を光学顕微鏡像で見た図である。

[図17]照射エネルギーを代えつつレーザー光LBを被分割体M”に照射した場合の照射エネルギーと変質領域T”との関係を示す図である。

[図18]第2の実施の形態に係るレーザー光の吸収の確実化を実現する処理の一例について説明するための図である。

[図19]第2の実施の形態に係るレーザー光の吸収の確実化を実現する処理を利用した具体例を示す図である。

[図20]第3の実施の形態に係るレーザー光の吸収の確実化を実現する処理の一例について説明するための図である。

[図21]加工線L1を通る面における被分割体Mの断面図である。

[図22]第3の実施の形態に係るレーザー光の吸収の確実化を実現する処理を利用した具体例を示す図である。

[図23]第4の実施の形態に係る、ある被分割体に対し分割起点となる変質領域を形成する際のレーザー光のパルスエネルギーのピーク値の時間変化を例示する図である。

[図24]変形例に係る、ある被分割体に対し分割起点となる変質領域を形成する際のレーザー光の繰り返し周波数の時間変化を例示する図である。

[図25]変形例に係る、ある被分割体に対し分割起点となる変質領域を形成する際のレーザー光の走査速度の時間変化を例示する図である。

発明を実施するための最良の形態

[0014] <第1の実施の形態>

<レーザー加工装置の概要>

図1は、本発明を実現する装置の一例としてのレーザー加工装置100の構成を示す図である。レーザー加工装置100は、レーザー光源1からレーザー光LBを発し、鏡筒2内に備わるハーフミラー3にて反射させた後、該レーザー光をステージ5に載置された被加工物Sの被加工部位にて合焦するよう集光レンズ4にて集光し、被加工部位に照射することによって、該被加工部位の加工、より具体的には変質領域の形

成やアブレーションなどを実現する装置である。レーザー加工装置100の動作は、コンピュータ6の記憶手段6mに記憶されているプログラム10が当該コンピュータによって実行されることにより、プログラム10に従って後述する各部の動作が制御されることで実現される。コンピュータ6には、汎用のパーソナルコンピュータ(PC)を用いることができる。なお、記憶手段6mは、例えばメモリや所定のストレージデバイスなどで構成され、レーザー加工装置を動作させるために必要な種々のデータを、記憶する役割を担うものである。

[0015] レーザー光源1としては、Nd:YAGレーザーを用いるのが好適な態様であるが、Nd:YVO₄レーザーやその他の固体レーザーを用いる態様であってもよい。さらには、レーザー光源1は、Qスイッチ付きであることが好ましい。また、レーザー光源1から発せられるレーザー光LBの波長や出力、パルスの繰り返し周波数、パルス幅の調整などは、コンピュータ6に接続されたコントローラ7により実現される。コンピュータ6から所定の設定信号がコントローラ7に対し発せられると、コントローラ7は、該設定信号に従って、レーザー光LBの照射条件を設定する。本実施の形態に係る方法を実現するためには、レーザー光LBの波長は150nm～563nmの波長範囲に属することが好ましく、なかでもNd:YAGレーザーをレーザー光源1とする場合は、その3倍高調波(波長約355nm)を用いるのが好適な態様である。また、パルスの繰り返し周波数は10kHz～200kHzであることが好ましく、パルス幅は、50nsec以上であることが好適である。すなわち、本実施の形態に係るレーザー加工装置100は、紫外線繰り返しパルスレーザーを用いて加工を行うものである。レーザー光LBは、集光レンズ4によって1～10 μ m程度のビーム径に絞られて照射されることが好ましい。係る場合、レーザー光LBの照射におけるピークパワー密度はおおよそ1GW/cm²以下となる。

[0016] なお、レーザー光源1から出射されるレーザー光の偏光状態は、円偏光であっても直線偏光であってもよい。ただし、直線偏光の場合、結晶性被加工材料中での加工断面の曲がりエネルギー吸収率の観点から、偏光方向が走査方向と略平行にあるように、例えば両者のなす角が $\pm 1^\circ$ 以内にあるようにされることが好ましい。

[0017] また、出射光が直線偏光の場合、レーザー加工装置100はアッテネータ20を備え

ることが好ましい。アッテネータ20は、図1においては図示を省略するが、レーザー光LBの光路上の適宜の位置に配置され、出射されたレーザー光LBの強度を調整する役割を担う。図14は、アッテネータ20の構成および作用について模式的に示す図である。アッテネータ20は、1/2波長板21と偏光ビームスプリッタ22とを備える。レーザー光源1から出射された所定の振幅Aを有する直線偏光のレーザー光LBが、ある方位角 θ をなして1/2波長板21に入射すると、レーザー光LBは振幅Aを維持したまま元の振動方向に対して 2θ の角をなして1/2波長板21から出射され、続けて偏光ビームスプリッタ22に入射する。偏光ビームスプリッタ22は、レーザー光LBの元の振動方向とこれに直交する振動方向とにレーザー光LBを分離し、かつ前者のみが被加工物Sに向けて出射されるように配置されてなる。このときの出射光の振幅は $A\cos 2\theta$ である。1/2波長板21が方位角 θ を可変できるように設けられることで、方位角 θ を代えることにより、被加工物Sに照射されるレーザー光LBの強度の調整が実現される。なお、偏光ビームスプリッタ22の先にさらに1/4波長板を設けることで、直線偏光から円偏光へと変換することが出来ることから、円偏光のレーザー光を照射する場合でも、アッテネータ20によるエネルギーの調整は可能である。

[0018] レーザー加工装置100におけるレーザーの合焦は、被加工物Sをステージ5に固定し、鏡筒2を高さ方向(z軸方向)に移動させることにより実現される。鏡筒2の移動(高さ調整)は、垂直移動機構Mvと、該垂直移動機構Mvに昇降可能に設けられた鏡筒2とをコンピュータ6に接続された駆動手段8によって駆動することにより実現されている。これにより、垂直移動機構Mvを駆動することによる粗動動作と、垂直移動機構Mvに対し鏡筒2を昇降させることによる微動動作との2段階動作が可能であり、駆動手段8がコンピュータ6からの駆動信号に応答することにより、スピーディかつ高精度の合焦動作が実現される。

[0019] ただし、レーザー加工装置100は、必要に応じて、合焦位置を被加工物Sの表面から意図的にずらしたデフォーカス状態で、レーザー光LBを照射することが可能である。図4は、係るデフォーカス状態について模式的に示す図である。なお、実際にはレーザー光LBは焦点位置である所定のビーム径をとるように照射されるが、図示の簡単のため、図4においては、焦点Fは点として説明する。

[0020] まず、図4(a)は被加工物Sの表面にレーザー光LBの焦点Fが一致する場合を示している。デフォーカスは、まず図4(a)のように被加工物Sの表面に焦点Fを一致させた後、さらに垂直移動機構Mvの駆動あるいは鏡筒2の昇降を行うことによって、焦点Fを所定距離だけ上下させることで実現される。図4(b)(c)はそれぞれ、焦点Fが被加工物Sの表面より上方、下方にずれた状態、すなわちデフォーカスの状態を示している。このときの、焦点Fの被加工物Sの表面からのオフセット値を、デフォーカス値DFと称することとする。デフォーカス値DFは、図4(b)のように被加工物Sよりも上方に焦点Fがある場合に正の値を取り、図4(c)のように被加工物Sよりも下方に焦点Fがある場合に負の値を取るものとする。

[0021] 図2は、ステージ5の上面側の構造を例示的に示す図である。図2に示すステージ5の上面には、同心円状に複数の吸引溝51が設けられており、この吸引溝51の底部には、吸引孔52が放射状に設けられている。被加工物Sをステージ5の上面に載置した状態で、吸引孔52と配管PL1およびPL2にて接続された例えば吸引ポンプなどの吸引手段9を動作させることにより、被加工物Sに対して吸引溝51に沿って吸引力が作用し、被加工物Sがステージ5に固定される。なお、被加工物Sが半導体基板等のように加工後に分割されるようなものの場合、所定のエキスパンドテープを介して固定される。これにより、化合物半導体をサファイア基板にエピタキシャル成長させた被加工物など、反りのある被加工物であっても、反りによる凹凸差がレーザー光LBの焦点位置許容範囲内である数 μm から数十 μm 程度であれば、加工が可能である。

[0022] また、ステージ5は、例えば石英、サファイア、水晶など、レーザー光LBの波長に対して実質的に透明な材料で形成される。これにより、被加工物を透過したレーザー光LBや被加工物をはずれて照射されたレーザー光（これらを「余剰レーザー光」と称する）がステージ5の表面で吸収されないので、該余剰レーザー光によってステージ5がダメージを受けることがない。

[0023] さらに、ステージ5は、水平移動機構Mhの上に設けられている。水平移動機構Mhは、駆動手段8の作用によりXY2軸方向に水平に駆動される。なお、本実施の形態においては、これらX軸およびY軸はある機械原点位置を原点とする基準座標として定められる座標軸であり、これら2軸で規定される面を基準座標面と称するものとする。

。

- [0024] そのうえ、ステージ5については、所定の回転軸を中心とした、水平面内における回転(θ 回転)動作も、水平駆動と独立に実現される。なお、本実施の形態においては、基準座標面におけるある特定の位置を原点としてxy座標軸を与えるとともに、x軸正方向を 0° の位置として時計回りの向きを角度 θ の正の向きとすることとする。さらに、上記の回転軸方向をz軸とする。すなわち、xyz座標系は、基準座標に対して相対的に固定された直交座標系として定められる。
- [0025] コンピュータ6からの駆動信号に応答して駆動手段8が水平移動機構Mhを駆動することにより、被加工物Sのアライメントが実現でき、所定の被加工部位をレーザー光LBの照射位置まで移動させることができる。加工時には、レーザー光LBを被加工物Sに対し相対的に走査することができる。
- [0026] 一方、加工を行う際、被加工部位の物質が融解あるいは蒸発した後に再固化したり、あるいは固体のまま飛散したりすることで生じる、パーティクル等の加工副産物は、被加工物Sの表面や集光レンズ等を汚染する要因となる。そこで、本実施形態に係るレーザー加工装置100には、こうした加工副産物を除去することを目的とする集塵ヘッド11が、支持体111により支持されて垂直移動機構Mvの最下部に付設されている。
- [0027] 図3は、集塵ヘッド11を示す図である。図3(a)は集塵ヘッド11および支持体111の上面図、図3(b)および(c)は、集塵ヘッド11の側面図である。集塵ヘッド11は、平板状かつ中空の構造を有する集塵部112と、それぞれが該集塵部112の端部かつ上部に設けられ、集塵部112の内部と通じた吸気口113と排気口114とからなる。
- [0028] 集塵部112は、被加工物Sと鏡筒2の最下部に備わる集光レンズ4との間に位置するように設けられる。そして集塵部112には、上面からみた場合に中央部となる位置の上下にそれぞれ、上部開口115および下部開口116が設けられている(図3(b))。これらの上部開口115および下部開口116は、その中心がちょうどレーザー光LBの光軸と一致するように設けられているので、集塵ヘッド11によってレーザー光LBの進路が遮られることはない。また、集塵ヘッド11は、垂直移動機構Mvに付設されているので、垂直移動機構Mvが上下すると共に、集塵ヘッド11、つまりは集塵部11

2も上下するが、前述したように鏡筒2は単独で上下動することも可能であるので、集塵部112の配置により、レーザー光LBの合焦位置が制限されることもない。

[0029] 吸気口113は、例えばレーザー加工装置100が設置される工場等のユーティリティとして備わる不活性ガス供給手段12と、配管PL3により接続されている。排気口114は、例えば排気ポンプ等により実現される排気手段13と、配管PL4により接続されている。配管PL3およびPL4の途中にはそれぞれ、フィルタ121および131が設けられている。

[0030] 不活性ガス供給手段12は、不活性ガス(例えば窒素ガス)を連続的に供給することができるものである。矢印AR1(図1)のように、不活性ガス供給手段12から供給される不活性ガスは、集塵ヘッド11において吸気口113から矢印AR3のように集塵部112へ供給され、排気手段13の排気動作によって、矢印AR2(図1)およびAR4に示すように、排気口114を経て排気される。よって集塵部112の内部には、矢印AR5のように吸気口113から排気口114へ向けた不活性ガスの流れが生じることになるが、これに伴って、例えば上部開口115や下部開口116の近傍に引圧が発生するので、付近に存在するパーティクル117が、集塵部112へと引き込まれて、矢印AR6のように不活性ガスとともに排気口114から排出されることになる。このような態様によって、レーザー加工により発生したパーティクル等の加工副産物が、被加工物Sの表面や、あるいは集光レンズ4に付着することが防止され、加工効率の低下が防止される。いわば、不活性ガスは、加工の際のアシストガスとして作用することになる。

[0031] あるいは、図3(c)に示すように、例えば石英など、レーザー光LBに対し透明な物質を材質とする蓋体板材118によって、上部開口115を着脱可能に覆う態様をとることにより、集光レンズ4に対するパーティクルの付着を防止する態様をとってもよい。

[0032] 図1に戻り、レーザー加工装置100に備わる、被加工物Sのアライメントや被加工部位の位置決めを行ったり加工中の状況を知るための構成要素について説明する。レーザー加工装置100には、これらの目的のために、照明光源14と、該照明光源14から発せられた照明光ILを反射して被加工物Sに照射するために鏡筒2内に設けられたハーフミラー15と、鏡筒2の上方に設けられ被加工物Sの表面を撮像するCCDカメラ16と、CCDカメラ16にて得られるリアルタイムの観察画像(モニタ画像)や記憶

手段6mに画像データとして記録された画像(記録画像)、さらには種々の処理メニュー等を表示するためのモニタ17とが備わっている。CCDカメラ16とモニタ17とは、コンピュータ6に接続され、該コンピュータ6によって制御される。これらを備えることにより、被加工物Sの表面の状態をモニタ17にて確認しつつ、被加工物Sのアライメントや被加工部位の位置決めを行ったり、あるいは加工中の被加工物表面の状況を知ることが可能となっている。

[0033] <融解改質法による分割起点の形成>

次に、レーザー加工装置100によって、被分割体にブレイクの起点(分割起点)を形成する処理について説明する。なお、本実施の形態では、後段のブレイク工程による分割に供される被加工物を、特に「被分割体」と称することとする。以下、Nd:YAGレーザーの3倍高調波(波長約355nm)をレーザー光源1として用い、100 μ m厚の単結晶サファイアを被分割体Mとする場合を例に説明する。ただし、被分割体Mはこれに限定されず、単結晶SiCであってもよいし、これらの単結晶または他の種類の単結晶基材上にIII-V窒化物半導体その他の単結晶が形成された積層体であってもよいし、多結晶を含め高脆な物質およびこれを用いた積層体であってもよい。

[0034] まず、レーザー光LBの繰り返し周波数を50kHz、パルス幅を75nsec、照射エネルギーを0.9W、走査速度を20mm/sec、焦点Fにおけるビーム径を2 μ mとし、各走査ラインが平行になるように該レーザー光LBを被分割体Mの上面に対し垂直に複数回走査することによって、被分割体Mに対し所定の配置間隔で複数回、レーザー光LBをライン状に照射した場合について説明する。かかる場合のレーザー光LBの照射条件を「第1照射条件」と称することとする。係る第1照射条件のもとでは、単位パルスごとの照射位置がオーバーラップするようにレーザー光の照射は行われる。以下、特に言及はしないが、レーザー光の照射は、このようなオーバーラップ状態のもとで行われる。各々の照射の際には、20 μ mから50 μ mの範囲で異なるデフォーカス値を設定した。

[0035] 図5には、係る場合の、いくつかのデフォーカス値DFの場合についての被分割体M表面の光学顕微鏡像を示している。図6には、走査方向に垂直な断面についての光学顕微鏡像を示している。図7には、そのうちのいくつかのデフォーカス値DFの場合

合についての拡大像を示している。また、図8には、デフォーカス値DFを $-20\mu\text{m}$ とした場合の断面近傍のSEM像を示している。

[0036] 図5および図6をみると、被分割体Mは概して淡白色として観察されるのに対して、レーザー光LBの照射位置Pは黒色であり、係る照射位置Pにおいては溝が形成されているようにも見受けられる。しかしながら、図7および図8に示す像によれば、照射位置Pにおいて溝は形成されておらず、代わってレーザー光LBの照射によって周囲とは結晶状態が異なる変質領域Tが存在することが確認される。特に図8においては、係る変質領域Tには表面側への隆起が生じていることも明瞭に確認される。図示は省略するが、他のデフォーカス値DFの場合でも、図7および図8と同様の状況が確認されている。なお、被分割体Mのうち、変質領域T以外の領域を正常領域Nと称することとする。また、変質領域Tは、被分割体Mの上下面と略垂直に形成されてなり、変質領域Tの最下端部Bは、照射位置Pの直下にあることが確認される。

[0037] なお、レーザー光を照射しているにもかかわらず物質の消失による溝の形成は起こっていないということは、第1照射条件によるレーザー光LBの照射においては、アブレーションが生じるよりも低いエネルギー密度のレーザー光が照射されていることを意味している。よって、第1照射条件は、こうした弱いエネルギーのレーザー光を照射する条件の一例ということになる。

[0038] 次に、この被分割体Mについて、各走査ラインごとに、公知の方法によって順次にブレイク(分割処理)を行った。係るブレイクは、例えば、被分割体Mの上面から走査ラインを挟んで(つまりは変質領域Tを挟んで)相反する側にそれぞれ走査ラインを軸として相反する向きの力を作用させれば実現可能である。図9および図10には、いくつかのデフォーカス値DFに係る走査ラインにおけるブレイク面についての光学顕微鏡像を示している。

[0039] 図9および図10をみると、いずれの箇所も、ブレイク面は変質領域Tのブレイク面T1と正常領域Nのブレイク面N1との2層からなり、両者の界面は被分割体Mの上下面と略平行である。このことから、正常領域Nの分割については、変質領域Tの最下端部Bが起点となって、下方へと分割が進行したものと判断される。そして、図9および図10をみる限り正常領域Nは概ねフラットであるので、正常領域Nのブレイク面N1は

変質領域Tの最下端部Bの直下に向けて被分割体Mの上下面と略垂直に形成されるものとみられる。

[0040] このようなブレイクが実現される過程について考察すると、まず、変質領域Tは、レーザー光LBが照射されることによって照射位置Pおよびその下方において吸収による急速加熱と急速冷却とが起こることにより、もともと単結晶であった照射部分がいったん融解して多結晶化することによって形成されたと考えられる。すなわち、変質領域Tは、融解によって改質された領域であり、単結晶状態を保っている正常領域Nよりも強度が弱い領域であると考えられる。それゆえ、こうした変質領域Tに沿ってブレイクを行うと、まず強度の弱い変質領域Tで優先的に破断が生じるものの、結果的には変質領域Tの最下端部Bに応力が集中することになるので、該最下端部Bを起点として正常領域Nの破断が進行するものとみられる。しかも、変質領域Tは被分割体Mの上下面と略垂直に形成されてなることから、ブレイクの際、変質領域Tにおいて上面と垂直な向きに最下端部Bへと進行した破断は、正常領域Nにおいてもそのままの向きに進行することになり、その結果として、図9および図10に示すような概ねフラットなブレイク面N1が得られるものと考えられる。

[0041] よって、被分割体Mにスクライブ溝が形成されるような強いエネルギーでもってレーザー光を照射せずとも、例えば第1照射条件のようなレーザー光を照射して融解改質させることで上記のような変質領域を所望の分割位置に形成しさえすれば、変質領域の最下端部がブレイクの際の起点となるので、被分割体Mをブレイクすることは可能であるといえる。なお、上述したような、レーザー光を照射することによって照射部分を融解改質させる手法を、融解改質法(Laser Melting Alteration)と称することとする。

[0042] <デフォーカスと変質領域との関係>

ブレイクによって得られるブレイク面N1は、被分割体Mの上下面に対し完全に垂直であることが理想ではあるが、分割後のサイズおよび形状にズレがあっても要求される寸法精度の範囲にあるのであれば、必ずしもこのような理想状態が実現されていなくても実用上は問題はない。

[0043] 例えば、図9のデフォーカス値DFが20 μ mの場合などは、正常領域Nのブレイク

面N1のうち、被分割体Mの下面側近傍の像がややぼやけている。この辺りでは、ブレイク面N1に(図面に平行な面に対して)多少の傾斜が生じているものと推察される。また、図9に示すそれぞれのデフォーカス値DFの場合、および図10に示すデフォーカス値DFが $-40\mu\text{m}$ の場合、正常領域Nの上端部に縦方向に筋が観察される。これは、ブレイク面N1において図面に垂直な方向に多少の段差が生じていることによるものと推察される。一方で、図10に示すデフォーカス値DFを $-20\mu\text{m}$ および $-30\mu\text{m}$ とした場合に、コントラストが一様でありかつ筋もみられない、良好なブレイク面N1が得られてなる。上記のような傾斜や段差が許容されるものか否かは、要求されるブレイク精度に応じて異なる。

[0044] とはいえ、デフォーカス値DFの違いと、ブレイクの善し悪しとの間には、何らかの因果関係があるとみられる。歩留まりや再現性という観点からは、寸法精度の良好なブレイクが実現されることが好ましい。そこで、良好なブレイクが実現される際のデフォーカス値DFと、変質領域Tの状態との関係について考察する。

[0045] まず、ブレイクの際には変質領域Tの最下端部が起点となることから、良好なブレイクのためには、該最下端部とブレイクの終点である下面側との距離が短い、すなわち変質領域Tがより深いことが望ましいと考えられる。図11には、デフォーカス値DFに対する変質領域Tの深さ(最下端部の上面からの距離)との関係を実線で示している。図11によれば、デフォーカス値DFが $20\mu\text{m}$ から小さくなるほど変質領域Tは深くなり、 $-20\mu\text{m}$ の近傍で最大となる。また、 $-30\mu\text{m}$ までは、変質領域の深さの方が、デフォーカス値DFの絶対値よりも大幅に大きくなっている。

[0046] さらにいえば、図6および図7からわかるように、変質領域Tについては、デフォーカス値DFが変化することで、深さのみならず形状にも変化が生じている。具体的には、デフォーカス値DFが $-10\mu\text{m}$ から $-30\mu\text{m}$ の場合、変質領域Tの上面における走査方向と垂直な方向の幅は、 $20\mu\text{m}$ 以下に収まっている。また、変質領域Tの断面は、デフォーカス値DFが $20\mu\text{m}$ から負の値へと小さくなるほど上端部側の幅が小さくなると共に細長くなっている。すなわち、最下端部がより下方にまで達するように、かつ変質領域Tと正常領域Nとの界面の曲率が小さくなるように変化していくことが確認される。なお、ここではデフォーカス値DFが $20\mu\text{m}$ のときの界面の形状が正の曲

率を有するものとする。デフォーカス値DFが $-20\text{ }\mu\text{ m}$ や $-30\text{ }\mu\text{ m}$ の場合を始めとして、上部を除き界面は略直線状となっている。あるいは、断面形状が略くさび形状、さらには略二等辺三角形状となっている。しかし、 $-30\text{ }\mu\text{ m}$ を越えると、略直線状の界面形状は維持されつつも、上端部側が幅広くなり、かつ深さが小さくなるような変化が確認される。

[0047] 図12は、デフォーカスの際のレーザー光LBの実際の照射状態について模式的に示す図である。デフォーカス値DFが負の場合というのは、図4(c)に示すように、デフォーカス値DFに相当する距離だけ焦点Fがオフセットされることを意図してレーザー光LBを照射する場合であるが、実際には、照射されたレーザー光LBは被分割体Mの上面Msで屈折を受けるので、被分割体Mの内部ではより細められて、オフセット値から想定される位置(仮に焦点F'として示す)よりもさらに深い場所に焦点Fが到達するように照射されることになる。このようにレーザー光LBが局所的により内部へと侵入することで、上面Msのみならず焦点Fを頂点とする断面三角形状の全照射領域でエネルギー吸収が生じ、とりわけ、内部集光点である焦点Fにおいて顕著な吸収が生じることになる。その結果として、レーザー光LBのエネルギーが効率的に変質領域の生成に寄与し、生成される変質領域Tは、表面からだんだんと細長くなり、最下端部がより深くに達するような断面形状を有するようになる。別の表現をすれば、変質領域Tは、その断面が、より底辺が小さくかつ高さ(深さ)の大きな二等辺三角形状(曲率=0)に、あるいはそれからさらに曲率が負の界面を有するようになり、形成される。デフォーカス値が $-30\text{ }\mu\text{ m}$ の程度までは、このような状況が実現されてなるものと考えられる。なお、透過率が高い被分割体の方が、このようなエネルギーの同時吸収の効果がより顕著に現れる。

[0048] しかしながら、あまりにデフォーカス値を大きくしすぎると、焦点Fが被分割体Mの上面Msと離れてしまうことになる。この場合、レーザー光LBが被分割体Mの上面Msにおいては十分に集光されていないことになり、エネルギー密度が小さい状態で照射されていることになる。そのため、深さのある変質領域Tの形成が困難になってしまうものといえる。デフォーカス値DFが $-40\text{ }\mu\text{ m}$ を越えると、このような状況が実現されてなるものと考えられる。

[0049] 以上を鑑みると、デフォーカス値DFを概ね $-10\mu\text{m}$ から $-30\mu\text{m}$ としてレーザー光LBを照射することによって、より好ましくはデフォーカス値DFを概ね $-20\mu\text{m}$ から $-30\mu\text{m}$ とすることによって、正常領域との界面における曲率が0に近い、あるいは負の細長い断面形状を有する変質領域を形成することが、良好なブレイクを実現する上で好適であるといえる。また、係る場合、被分割体Mの上下面においてブレイクのために必要な領域幅(ストリート幅)としては、せいぜい $20\mu\text{m}$ も確保すれば十分であるので、多数のチップやダイを切り出すような場合の取り個数をより多くすることが出来る。

[0050] なお、仮に、本実施の形態のように融解改質法によって変質領域を形成するのではなく、被分割体Mに対して上述の好ましいデフォーカス値DFを用いて形成される変質領域と同様の細長い断面形状を有するように「スクライブ溝」を形成しようとする、 $20\mu\text{m}$ 以下の幅の局所領域にのみアブレーションを生じさせるような条件でレーザー光を照射する必要がある。すなわち、本実施の形態に係る場合よりも大きなエネルギー密度を有するレーザー光を、被分割体内部で拡がることなく照射することが必要となる。このようなレーザーの照射は、本実施の形態に比して無駄に多くのエネルギー消費することになるとともに、照射領域の制御も困難である。また、照射面の反対側にエピタキシャル層などが形成されてなる場合には、当該層にダメージを発生させる危険性も高くなる。すなわち、分割起点の形成手法としては、融解改質法を用いた本実施の形態に係る方法の方が優れているといえる。

[0051] <パルス幅と変質領域との関係>

次に、パルス幅の大小と、形成される変質領域の形状との関係について考える。図13には、パルス幅を13.5nsecとした他は、上述の場合と同様にレーザー光LBを被分割体M'に照射した場合の被分割体M'の断面の光学顕微鏡像を示している。係る場合のレーザー光LBの照射条件を「第2照射条件」と称することとする。

[0052] ここで、パルス幅のみが異なるということは、繰り返し照射されるレーザー光の各パルス(単位パルス)について、トータルのエネルギーは同じであるがピーク値が異なるということである。より詳細に言えば、時間軸に対する照射エネルギーの変化波形が同様な関数で表されるが、その高さと幅が異なる、ということである。パルス幅を小さく

した方が単位パルスにおいてより大きなエネルギーピークを得ることが出来るため、一般に、アブレーション加工においては、パルス幅は出来るだけ小さくした方がよいと考えられている。よって、以下に示すような第2照射条件でレーザー光LBを照射する場合というのは、こうしたアブレーション加工を行うような場合の条件で加工を行うことに相当する。

[0053] 図13に示すように、第2照射条件の場合も、デフォーカス値DFによらず変質領域T'が形成されることが確認される。しかしながら、変質領域T'の断面は、デフォーカス値DFが $-20\mu\text{m}$ あるいは $-30\mu\text{m}$ であっても、第1照射条件の場合ほどには深くなっていない。図11に、かかる場合の変質領域T'の深さの変化を点線にて示すが、デフォーカス値DFを負にしても、深さ方向への変化はあまりみられず、第1照射条件のときよりも値は小さく、変質領域T'の深さがデフォーカス値DFの絶対値を大幅に上回ることもない。これは、変質領域の形成が被分割体表面でのエネルギー吸収に支配され、デフォーカスによる全照射領域での同時吸収による効果が得られていないことを意味している。また、デフォーカス値が正の場合も含めて、第1照射条件の方が照射領域の深さが大きいことから、アブレーションを生じさせるようなパルス幅でのレーザー光の照射は、ブレイクの起点を得るための変質領域の形成においては好ましくないといえる。

[0054] また、正常領域N'であって変質領域T'の最下端部近傍の領域Rにおいては、いずれもクラックが確認される。このようなクラックが存在すると、ブレイクそのものは可能であるとしても、ブレイクの際に正常領域N'における破断の起点が場所によってばらつくことになるので、フラットなブレイク面が得られない可能性が高くなり、好ましくない。

[0055] これらのことから、アブレーションが生じない大きなパルス幅のレーザー光を照射することで、分割に適した断面形状を有する変質領域を形成するうえでより好適なパルス波形でパルスレーザー光を照射することが出来る。このようなレーザー光の照射による融解改質によって変質領域を形成することで、より良好なブレイクを実現できる。具体的には、50nsec以上のパルス幅にてレーザー光が照射されることが好ましい。

[0056] <照射エネルギーと変質領域との関係>

次に、被分割体への照射エネルギーの大小と、形成される変質領域の形状との関係について考える。図15および図16には、繰り返し周波数を40kHz、パルス幅を75nsec、焦点Fにおけるビーム径を $2\mu\text{m}$ 、デフォーカス値を $-20\mu\text{m}$ とし、照射エネルギーを4.0Wから0.5Wの範囲で0.5W単位で代えつつレーザー光LBを被分割体M”に照射した場合の各照射エネルギーごとの被分割体M”の断面の光学顕微鏡像を示している。また、図17は、この場合の照射エネルギーと変質領域T”との関係を示す図である。

[0057] 図15および図16をみると、照射エネルギーが2.0W以下の場合、変質領域T”と正常領域N”との界面は、上部を除き略直線状となっている。あるいは、断面形状が略くさび形状、さらには略二等辺三角形状となっている。これに対して、照射エネルギーが2.5W以上の場合、変質領域T”の幅がより大きくなっており、界面の曲率も大きくなっている。また、図17からは、変質領域T”の深さは照射エネルギーが大きくなるにつれ概ね増加するが、1.5Wを越えるとその増加の度合は急激に鈍ることがわかる。図示は省略するが、繰り返し周波数やパルス幅などの条件を違えても、同様の傾向にあることが確認されている。

[0058] これらより、ある値(図17では1.5W)以上の照射エネルギーを与えることは、変質領域の水平方向への広がりを引き起こすだけであって、融解改質法による良好な分割起点となる変質領域の形成には、むしろ照射エネルギーをある程度抑制した方がよいといえる。照射エネルギーの具体的な最適値は、繰り返し周波数、パルス幅、ビーム径、デフォーカス値などに応じて定まることになるが、図17の場合であれば、1.0W～1.5Wの範囲にあることが好ましいといえる。すなわち、照射エネルギーを抑制しつつ、被分割体に良好な分割起点を形成することが出来る。

[0059] 以上、説明したように、本実施の形態においては、被分割体Mにスクライブ溝が形成される場合より弱いエネルギーおよび大きなパルス幅で、かつデフォーカス値DFを概ね $-10\mu\text{m}$ から $-30\mu\text{m}$ としてレーザー光LBを照射することによって、より好ましくはデフォーカス値DFを概ね $-20\mu\text{m}$ から $-30\mu\text{m}$ とすることによって、照射部分において融解改質を生じさせ、正常領域との界面における曲率が0に近い、あるいは負の細長い断面形状を有する変質領域を、被分割体に形成する。これにより、ブ

レイク処理に際しては、該変質領域の最下端部が起点となって、ブレイク面が被分割体の上下面に対して略垂直で、かつブレイク面に段差のない、良好なブレイクが実現される。また、ブレイクに必要なストリート幅を $20\mu\text{m}$ 以下とすることが出来る。

[0060] さらに、スクライブ溝の形成が不要であるので、エネルギー消費が抑制できると共に、レーザー光の照射制御も容易となる。

[0061] <第2の実施の形態>

<分割起点形成の確実化>

上述したように、融解改質法によって分割の起点となる変質領域を形成すれば、必ずしも溝を形成せずとも被分割体の分割を行うことが可能である。しかしながら、係る手法の場合、分割によって得られるチップやダイといった分割片において、そのブレイク面近傍に該変質領域が残存することがある。例えば、図9や図10におけるブレイク面T1はこのような残存変質領域の表面に相当するといえる。このような残存変質領域の存在は、分割片がデバイスとして用いられる場合にその機能の十分な発現を阻害する要因となり得る。例えば、該分割片がLEDに用いられる場合であれば、光透過率が正常領域に比して小さい変質残存領域の存在により、LED全体の取り出し光量が抑制されてしまう、といった問題が起こり得る。

[0062] 従って、変質領域は、分割を行うことが可能な範囲で最小化されることが好ましい。そのためには、融解改質法において照射するレーザー光のエネルギーを抑制することが好ましい。例えば、繰り返し周波数を固定する場合であれば、照射するレーザー光のパルスエネルギー(レーザー光の1パルスごとのエネルギー)を出来るだけ抑制することでこれは可能であるが、一方で、こうしたパルスエネルギーの抑制は、起点形成の不確実さ、具体的にはレーザー光の吸収の不確実さを招来しかねない。よって、パルスエネルギーが小さいレーザー光を用いて安定に分割起点を形成するためには、分割起点を形成しようとする箇所において、吸収効率を高めるなどして、レーザー光が確実に吸収されるようにしておくことが有効である。

[0063] また、加工に用いるレーザー光の波長範囲において高い透過率や反射率を有する被分割体に分割起点を形成しようとする場合も、同様の措置をあらかじめ施すことで、必要以上のパルスエネルギーを与えることなく確実に分割起点となる変質領域を形

成することが可能となる。本実施の形態においては、これらの態様について説明する。

[0064] 図18は、このようなレーザー光の吸収の確実化を実現する処理の一例について説明するための図である。なお、図18においては、被分割体Mがサファイア基板である場合を例示している。図18(a)は、被分割体Mの表面に、該被分割体Mよりもレーザー光の吸収率が高い物質Aを付与した状態で、レーザー光を照射した場合の照射結果を示す光学顕微鏡像である。また、図18(b)は、図18(a)の照射結果がどのようにして得られたものであるかを説明するための図である。図18(a)に示すような照射結果は、被分割体がサファイア基板であり、Nd:YAGレーザーの3倍高調波(波長約355nm)を用いる場合であれば、パルスエネルギーが2〜5 μ J、走査速度が100mm/sec以上という条件で実現可能である。図18(a)に示す照射結果を得た際のレーザー光の具体的な照射条件は、走査速度が200mm/sec、パルスエネルギーが3 μ Jである。係るレーザー光の照射条件を「第3照射条件」と称することとする。

[0065] また、物質Aは、使用するレーザー光の波長範囲において被分割体Mよりもレーザー光の吸収率が高い物質である。図18の例では、フェルトペンなどに用いられる油性インキを直接に塗布することにより、物質Aの付与を実現している。ただし、これに代わる他の有機物質あるいは無機物質を用いてもよい。また、付与の態様は塗布には限られず、接着や粘着、あるいは蒸着等の薄膜形成手法、印刷などの厚膜形成手法その他、物質Aの種類に応じた態様が適宜に採用されてよい。

[0066] 図18(a)の被分割体Mに対しては、図18(b)に矢印AR11およびAR12にて示すように、図面左側より右側に向けて、図示しない領域も含めレーザー光が走査されつつ連続的にかつ等間隔に照射されている。しかしながら、図18(a)によれば、変質領域Tが形成されているのは、ほぼ物質Aが塗布された領域のみであり、物質Aが塗布されていない領域では、レーザー光は照射されているにもかかわらず、変質が生じていない。具体的には、図18(b)に示す未変質領域Uがこれにあたる。換言すれば、物質Aが付与されている領域では確実に変質領域Tが形成されているのに対して、物質Aが付与されていない領域ではほとんど変質領域は形成されていないということになる。

- [0067] このことは、使用するレーザー光の波長範囲において被分割体Mよりもレーザー光の吸収率が高い物質を分割しようとする箇所に付与する準備処理を行っておくことで、こうした付与がなければ変質領域が形成されない程度の弱いエネルギーの照射条件で照射を行っても、融解改質を生じさせて分割起点となり得る変質領域を安定に形成できることを意味している。すなわち、物質Aは被分割体Mにおけるレーザー光の吸収効率を高める吸収助剤として作用していることになる。
- [0068] 従って、このように吸収助剤として作用する物質を被分割体Mの分割対象箇所にあらかじめ付与することにより、レーザー光の吸収効率を当該箇所のみ高めておくことで、第3照射条件として示した、本来であれば十分に吸収が生じず融解改質ですら生じないような弱いエネルギーのレーザー光の照射によっても、分割起点の形成が確実に行えるようになる。例えば、本実施の形態に係る分割起点の形成方法が、何らかのデバイスの製造工程において該デバイスをブレイクする際に用いられれば、使用するレーザー光のエネルギーが抑制されることになるので、本方法は製造コストの低減に寄与するものであるといえる。
- [0069] 図19は、本実施の形態に係る方法の使用を具体的に例示する図である。図19に示す被分割体Mを分割してチップtpを得ようとするような場合、実線で示すラインLaの部分に吸収助剤として作用する物質Aを付与しておく、例えば矢印AR13で示すカットラインによるカットについていえば、破線で示すラインLuでは吸収は生じず、ラインLaの部分のみにおいて吸収が生じて融解改質による変質領域が形成されるような条件で、レーザー光を照射することが出来る。具体的な照射条件は、被分割体Mの種類や表面状態、レーザーの種類、吸収助剤として用いる物質の種類などに応じて好適に定められる。また、付与される際の吸収助剤に係るサイズ(厚みや幅など)についても同様である。これにより、当該部分において確実に分割起点を形成することが出来る。
- [0070] 例えば、被分割体がサファイア基板であり、Nd:YAGレーザーの3倍高調波(波長約355nm)を用いる場合であれば、パルスエネルギーが2～5 μ J、走査速度が100 mm/sec以上という条件で実現可能である。
- [0071] <第3の実施の形態>

本実施の形態においては、レーザー光の吸収の確実化、つまりは融解改質の確実化を実現する処理についての別の態様を説明する。図20は、係る処理についての一例を示す図である。なお、図20においては、被分割体Mがサファイア基板である場合を例示している。

[0072] 図20(a)は、被分割体Mにレーザー光を照射した場合の照射結果を示す光学顕微鏡像である。係る照射結果は、あらかじめ、図20(b)に矢印AR14にて示すように被分割体Mの表面に図面上側から点Zに向けてレーザー光を所定の照射条件で照射して、加工線Ltで示される変質領域をひとまず形成した上で、同じく図20(b)に矢印AR15およびAR16にて示すように図面左側より右側に向けて、つまりは加工線Ltと直交するように、図示しない領域も含めレーザー光を走査しつつ連続的にかつ等間隔に照射することで、実現されている。

[0073] ここで、前段の照射を予備照射と称し、後段の照射を本照射と称することとする。図20(a)に示す照射結果を得た際の具体的なレーザー光の照射条件は、パルスエネルギーが $3\mu\text{J}$ 、走査速度が $100\text{mm}/\text{sec}$ である。この本照射における照射条件を「第4照射条件」と称することとする。予備照射は、この第4照射条件よりも強いエネルギーを与えるように行われていれば、その条件は特に限定されない。

[0074] 図20(a)をみると、被分割体Mには、本照射によって加工線L1、L2およびL3で示される変質領域が形成されている。このうち加工線L1は、加工線Ltが存在する箇所を始点として、該加工線Ltよりも右側にのみ形成されている。すなわち、該加工線Ltよりも左側では、図20(b)に示すように、レーザー光は照射されているにもかかわらず、変質が生じていない未変質領域Uということになる。図21は、加工線L1を通る面における被分割体Mの断面図であるが、図21からも、このことが確認される。一方、加工線L3は、加工線L1よりも右側に存在する始点から右側にのみ形成されており、しかも、その始点の位置は揃っていない。また、加工線L2は、加工線Ltの位置よりも左側の図示しない位置を始点として形成されている。

[0075] この照射結果について考察すると、まず、加工線L1は予備照射によって意図的に形成された加工線Ltをいわばきっかけとして形成されており、それゆえその始点が揃っているといえる。また、加工線L1は始点となっている加工線Ltの位置から途切れる

ことなく連続的に形成されている。換言すれば、第4照射条件により照射されたレーザー光は、加工線Ltに達するまでは吸収されていないにもかかわらず、加工線Ltで示される変質領域において確実に吸収され、その後も吸収が継続しているといえる。

[0076] これに対して、加工線L3の形成は、こうしたきっかけとなる場所が意図的には形成されていない領域にて行われているために、その始点が不揃いになってしまっているものといえる。

[0077] これらの対比より、少なくとも第4照射条件によるレーザー光の照射においては、加工線Ltとして与えられている変質領域が、レーザー光の吸収を確実に起こさせるように作用しているといえる。上述したように、変質領域が吸収による急速加熱と急速冷却とによって多結晶化した領域であって、変質していない周囲の領域よりもレーザー光を吸収しやすい、吸収効率の高い領域であるので、加工線Ltに達するまで吸収が生じなかったような弱いパルスエネルギーのレーザー光であっても、当該位置では吸収がされたものと考えられる。さらに、レーザー光は走査されつつ照射されており、1パルスあたりの照射領域はオーバーラップしつつ少しずつずれていくことから、いったんこのように吸収が生じてしまえば、係る吸収状態を保ちつつレーザー光は移動していくことになる。つまりは、そのような弱いパルスエネルギーのレーザー光であっても、継続して融解改質を生じさせて変質領域を形成することができることになる。図21をみると、加工線Ltによる変質領域に比して加工線L1による変質領域は浅くなっているが、これは、本照射におけるレーザー光のエネルギーは、少なくとも予備照射におけるエネルギーより小さくてもよい、ということを意味している。

[0078] なお、加工線L3は、加工線Ltのような吸収のきっかけとなるものを設けていないにもかかわらず形成されている。被分割体Mの表面にレーザー光が吸収され得る何らかの状況が意図的でなくとも生じていれば、レーザー光の吸収は起こりえるので、例えばパーティクルの付着や表面欠陥の存在などによって、通常であれば吸収が生じないようなパルスエネルギーによる照射であっても、吸収が生じることは起こりうる。換言すれば、加工線L3の形成は、始点位置において偶発的にレーザー光の吸収が生じたことによりものであるといえる。これらの欠陥等は、意図的に導入したものではないものの、やはりレーザー光の吸収効率を高めるように作用していることになる。単

に弱いパルスエネルギーのレーザー光を照射するだけでは、このように不確実な吸収が起こるのみであることを意味している。

[0079] 加えて、加工線L2は、加工線Ltが形成されている位置を通るにも関わらず加工線Ltに達するまでに形成が開始されているが、これも、レーザー光が加工線Ltに達するまでに偶発的に吸収が起こったことによるものと考えられる。

[0080] 以上を鑑みると、加工線Ltで示される変質領域のような、レーザー光の吸収効率の高い領域をあらかじめ形成する準備処理(始点変質化処理)を行っておき、当該領域を通過するようにレーザー光を走査しつつ照射するようにすることにより、本来であれば十分には吸収が生じないような弱いエネルギーのレーザー光を用いる場合であっても、当該領域においてレーザー光の吸収を確実に生じさせることができる。その後はレーザー光の走査に応じて連続的に吸収が継続されるので、融解改質を生じさせて非分割体に対する分割起点の形成が確実に行えるようになる。具体的な照射条件は、被分割体Mの種類や表面状態、レーザーの種類などに応じて好適に定められる。これにより、当該部分において確実に分割起点を形成することが出来る。また、本実施の形態に係る分割起点の形成方法も、何らかのデバイスの製造工程において該デバイスをブレイクするのに用いられる場合には製造コストの低減に寄与するものであるといえる。

[0081] 図22は、本実施の形態に係る方法を具体的に例示する図である。図22に示す被分割体Mを分割してチップtpを得ようとするような場合、あらかじめ被分割体Mの外縁部分の外周線Cで示される箇所にレーザー光を照射して変質領域を形成しておくと、例えば矢印AR16で示すカットラインによるカットについていえば、レーザー光が始点Qに達した時点で吸収が生じ、以降、点線で示される箇所に分割起点が形成されるような条件で、レーザー光を照射することが出来る。

[0082] 例えば、被分割体がサファイア基板であり、Nd:YAGレーザーの3倍高調波(波長約355nm)を用いる場合であれば、パルスエネルギーが2～5 μ J、走査速度が100 mm/sec以上という条件で分割起点となる変質領域の形成が実現可能である。

[0083] <第4の実施の形態>

第3の実施の形態にて示したように、レーザー光を走査しつつ照射することによって

被分割体に分割起点となり得る変質領域を形成するにあたっては、その始点の位置における吸収効率を高めてやることで確実に吸収を生じさせさえすれば、通常であれば吸収が生じないような小さいエネルギーのレーザー光を照射する場合であっても、吸収状態を維持することができ、融解改質を生じさせることによる変質領域の形成が可能となる。本実施の形態においては、この始点における吸収の確実化についての別の態様について説明する。図23は、係る処理についての一例を示す図である。

[0084] 図23は、本実施の形態に係る態様によって融解改質法によりある被分割体に対し分割起点となる変質領域を形成する際の、用いるレーザー光のパルスエネルギーのピーク値の時間変化を例示する図である。本実施の形態においても、例えばレーザー加工装置100を用いてパルスレーザー光を照射することにより被分割体に分割起点を形成する。従って、レーザー光は所定の繰り返し周波数で照射されることから、分割起点となる変質領域の形成にあたっては、図23に示すようにパルスエネルギーが断続的にピーク値を示すようなレーザー光が被分割体に照射されることになる。なお、図23においては、説明の便宜上、パルスエネルギーを離散値として示しているが、実際には、連続的に変化する値として取り扱うことが可能である。

[0085] 本実施の形態においては、図23に示すように、照射開始当初からしばらくの時間 t_1 が経過するまでは、定常状態のパルスエネルギー値 E_1 よりも大きなパルスエネルギー値 E_2 でレーザー光を照射し、時間 t_1 の経過後は、照射を継続しつつ定常状態となるまでエネルギーを漸次に下げていくようにする。そして、遅くとも時間 t_1 が経過した以降においては、レーザー光を走査させるようにする。ここで、パルスエネルギー値 E_1 は、通常であれば被分割体において十分な吸収が生じない程度の値である。一方、パルスエネルギー値 E_2 は、通常であれば被分割体においてほぼ確実に吸収が生じる程度の値である。

[0086] すなわち、本実施の形態に係る分割起点となる変質領域の形成は、その始点となる位置においていったん大きなパルスエネルギーでレーザー光を照射するという準備処理を行っておくことで確実に吸収を生じさせておき、その後は、通常であれば被分割体において吸収が生じない程度の弱いレーザー光を走査させつつ照射すること

で吸収を継続させ融解改質を生じさせる、という態様によって実現されるものである。つまりは、吸収を生じさせるための照射条件を、その後の分割起点の形成の際の照射条件とは異ならせることによって、分割起点の形成を実現する態様である。また、本実施の形態に係る分割起点の形成方法も、何らかのデバイスの製造工程において該デバイスをブレイクするのに用いられる場合には製造コストの低減に寄与するものであるといえる。

[0087] なお、パルスエネルギー値 $E1$ 、 $E2$ 、時間 $t1$ の値やその他の具体的な照射条件は、被分割体 M の種類や表面状態、レーザーの種類などに応じて好適に定められる。また、時間 $t1$ を固定値とする代わりに、被分割体においてレーザー光の吸収が生じたことを所定の手法で検知した時点で、パルスエネルギーの低減と走査を開始するようにしてもよい。

[0088] 以上に説明したような態様によっても、第3の実施の形態と同様に、分割起点の形成を確実に行うことが出来る。

[0089] <変形例>

被分割体の表面の分割起点を形成しようとする領域に、もしくはその始点となる位置に対して、公知のブラスト装置を用いてブラスト処理を行い、該領域もしくは始点位置において粗面化状態を作り出すことで、該領域もしくは始点位置におけるレーザー光の吸収効率を高めるようにしてもよい。係る態様であっても、上述の第2または第3の実施の形態と同様の効果を得ることが出来る。

[0090] また、第4の実施の形態においては、吸収を生じさせるための照射条件を、その後の分割起点の形成の際の照射条件とは異ならせることによって、分割起点の形成を実現する態様として、パルスエネルギーを異ならせる場合を示していたが、照射条件を違えることで吸収を確実化する態様は、これに限定されない。

[0091] 例えば、図24は、レーザー光の繰り返し周波数を異ならせる態様について示す図である。具体的にいえば、定常状態における値 f よりも十分に小さい繰り返し周波数でレーザー光の照射を開始し、ある時間 $t2$ が経過した時点で周波数値が f となるように、繰り返し周波数を漸次に大きくしていくようにする。そして、遅くとも時間 $t2$ が経過した以降において、レーザー光を走査させるようにする。このとき、パルスエネルギー

値は、繰り返し周波数が f である場合には被分割体において吸収が生じない程度の値である。平均照射パワーが一定であれば、繰り返し周波数が小さい方が、パルスエネルギーが大きくなり、レーザー光の吸収が生じやすくなる。従って、図24に示すように、照射当初の段階では小さい繰り返し周波数で照射を行うということは、分割起点となる変質領域を形成するに当たって、その始点となる位置において確実に吸収を生じさせることに相当する。従って、いったんこのようにしてレーザー光を被分割体に確実に吸収をさせれば、その後は上述の実施の形態と同様に、通常であれば被分割体において吸収が生じない程度の弱いレーザー光を走査しつつ照射しても吸収が継続されることになる。

- [0092] また、図25は、レーザー光の走査速度を異ならせる態様について示す図である。具体的にいえば、被分割体の不要部分をスタート位置として、定常状態における値 v よりも十分に小さい走査速度でレーザー光を走査させつつ照射を開始し、ある時間 t_3 が経過した時点で速度値が v となるように、走査速度を漸次に大きくしていくようにする。そして、遅くとも時間 t_3 が経過した以降において、分割起点を形成する位置でレーザー光を走査させるようにする。このとき、パルスエネルギー値は、走査速度が v である場合には被分割体において吸収が生じない程度の値である。照射エネルギーが一定であれば、走査速度が小さい方が、同一箇所において照射されるレーザー光のエネルギーが大きくなり、レーザー光の吸収が生じやすくなる。従って、図25に示すように、照射当初の段階では小さい走査速度で照射を行うということは、分割起点となる変質領域を形成するに当たって、その始点となる位置にレーザー光が達するまでに確実に吸収を生じさせることに相当する。従って、いったんこのようにしてレーザー光を被分割体に確実に吸収をさせれば、その後は上述の実施の形態と同様に、通常であれば被分割体において吸収が生じない程度の弱いレーザー光を走査しつつ照射しても吸収が継続されることになる。

- [0093] 従って、図24および図25に示す態様を取る場合も、分割起点となる変質領域の形成が行えることになる。なお、定常状態の周波数値 f 、定常状態の走査速度 v 、時間 t_2 、 t_3 の値やその他の具体的な照射条件は、被分割体の種類や表面状態、レーザーの種類などに応じて好適に定められる。なお、図24および図25においては、説明

の便宜上、繰り返し周波数および走査速度を離散値として示しているが、実際には、連続的に変化する値として取り扱うことが可能である。

- [0094] 上述した各手法は、単独で用いられてもよいし、適宜に組み合わせられてもよい。例えば、第3の実施の形態のように外周部に加工線を形成しつつ、カットラインとなる箇所には、第2の実施の形態のように、吸収助剤を付与するようにしてもよい。これにより、さらに弱いパルスエネルギーのレーザー光であったとしても、確実に分割起点となる変質領域を形成することが出来るようになる。どのような手法を採用するのかは、被分割体の種類、レーザーの種類などに応じて適宜に定められる。
- [0095] あるいは、こうした手法の組み合わせの応用として、いったんある手法によって所定位置にレーザー光を照射した後、同一位置に、異なる手法を用いてレーザー光を照射するようにしてもよい。これにより、1度目の照射のみによってはなしえない形状に変質領域を形成したり、照射条件の許容範囲を広げることが可能となる。
- [0096] また、第3の実施の形態においては、あらかじめ加工線Ltで示される変質領域を形成することで、レーザー光の吸収が確実に行われる箇所を作り出していたが、これに代わり、始点となる位置に吸収助剤を付与する態様であってもよい。
- [0097] 第2の実施の形態に係る吸収助剤となる物質の付与は、その機能を備えるレーザー加工装置によって行われてもよいし、別途の手法・手段で実現されてもよい。

請求の範囲

- [1] 被分割体に分割のための起点を形成する方法であって、
パルスレーザー光を所定の走査方向に走査しつつ前記被分割体の被照射面に照射することにより、前記被分割体に融解改質された変質領域を形成する変質領域形成工程、
を備えることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [2] 請求項1に記載の分割起点形成方法において、
前記被分割体のうち前記パルスレーザー光を照射した部分が消失しない照射条件で前記パルスレーザー光を照射することを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [3] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記パルスレーザー光のパルス幅が50nsec以上であることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [4] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記起点の形成予定箇所の少なくとも一部において前記パルスレーザー光の吸収を生じさせるための所定の準備処理を行う準備工程、
をさらに備え、
前記変質領域形成工程が、前記準備処理が施された前記形成予定箇所に前記パルスレーザー光を照射することにより前記起点となる前記変質領域を形成する起点形成工程であり、
前記起点形成工程においては、前記準備工程を行わない場合には前記起点が形成されない強さのエネルギーでパルスレーザー光を照射する、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [5] 請求項4に記載の分割起点形成方法であって、
前記準備工程が、前記起点形成工程において照射されるレーザー光を吸収する吸収助剤を少なくとも前記形成予定箇所の始点位置に付与する吸収助剤付与工程を含む、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。

- [6] 請求項5に記載の分割起点形成方法であって、
前記吸収助剤付与工程が、
前記吸収助剤を塗布する塗布膜形成工程である、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [7] 請求項4に記載の分割起点形成方法であって、
前記準備工程が、前記形成予定箇所の始点位置に変質領域を形成する始点変質
化工程を含む、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [8] 請求項7に記載の分割起点形成方法であって、
前記始点変質化工程が、前記パルスレーザー光を照射することによって前記変質
領域を形成する工程である、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [9] 請求項7に記載の分割起点形成方法であって、
前記始点位置が複数存在する場合、前記始点変質化工程においては複数の前記
始点位置を含んで前記変質領域を形成する、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [10] 請求項4に記載の分割起点形成方法であって、
前記準備工程が、前記形成予定箇所の始点位置において前記起点形成工程とは
異なる照射条件によって前記パルスレーザー光の照射を開始する工程であり、
前記パルスレーザー光の照射条件を漸次に変化させつつ前記レーザー光の走査
を開始することで、前記準備工程から前記起点形成工程に移行する、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [11] 請求項10に記載の分割起点形成方法であって、
前記準備工程においては、前記起点形成工程よりも大きなエネルギーで前記パル
スレーザー光の照射を開始する、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [12] 請求項10に記載の分割起点形成方法であって、
前記準備工程においては、前記起点形成工程よりも小さな繰り返し周波数で前記

パルスレーザー光の照射を開始する、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。

- [13] 請求項10に記載の分割起点形成方法であって、
前記準備工程においては、前記起点形成工程よりも小さな走査速度で前記パルスレーザー光の照射を開始する、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [14] 請求項4に記載の分割起点形成方法であって、
前記準備工程が、少なくとも前記形成予定箇所の始点位置にブラスト処理を行うブラスト処理工程を含む、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [15] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記変質領域形成工程においては、焦点位置を前記被分割体の内部に位置させつつ前記パルスレーザー光を照射する、
ことを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [16] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記変質領域形成工程においては、前記走査方向に垂直な断面が略くさび形状となるように前記変質領域を形成することを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [17] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記変質領域形成工程においては、前記走査方向に垂直な断面が略二等辺三角形形状となるように前記変質領域を形成することを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [18] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記変質領域形成工程においては、前記走査方向に垂直な断面における界面の曲率が0または負となるように前記変質領域を形成することを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [19] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記変質領域形成工程においては、前記変質領域が前記パルスレーザー光の照

射前とは異なる結晶状態を有する構造的変質領域として形成されることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。

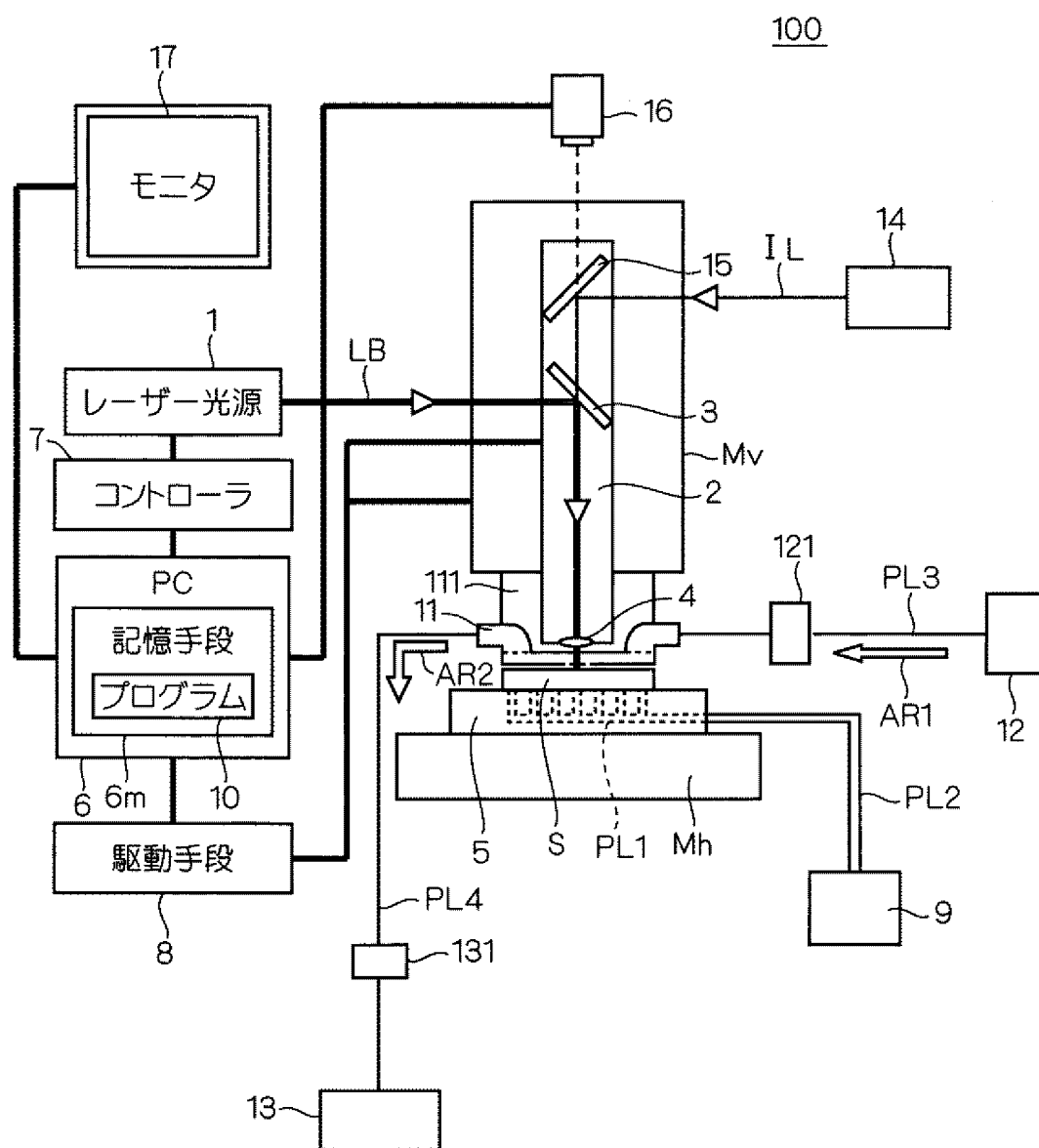
- [20] 請求項19に記載の分割起点形成方法であって、
前記被分割体が単層または多層構造の単結晶物体であり、前記変質領域が多結晶領域として形成されることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [21] 請求項20に記載の分割起点形成方法であって、
前記被分割体がサファイア若しくはSiC又はこれらのいずれかを基材とする積層構造体であることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [22] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記変質領域形成工程においては、前記変質領域が周囲よりも力学的強度が小さい弱強度領域として形成されることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [23] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記パルスレーザー光に円偏光を用いることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [24] 請求項1に記載の分割起点形成方法であって、
前記パルスレーザー光に直線偏光を用い、前記直線偏光の偏光面がパルスレーザー光の照射方向と前記走査方向とからなる面に略平行であることを特徴とする被分割体における分割起点形成方法。
- [25] 被分割体を分割する方法であって、
パルスレーザー光を所定の走査方向に走査しつつ前記被分割体の被照射面に照射することにより、前記被分割体に融解改質された変質領域を形成する変質領域形成工程と、
前記被分割体を前記変質領域に沿って分割する分割工程と、
を備える被分割体の分割方法。
- [26] パルスレーザー光を被加工物の被照射面に照射することにより被加工物を加工する方法であって、
被加工物の照射予定箇所の始点位置においてパルスレーザー光の吸収を生じさ

せるための所定の準備処理を行う準備工程と、

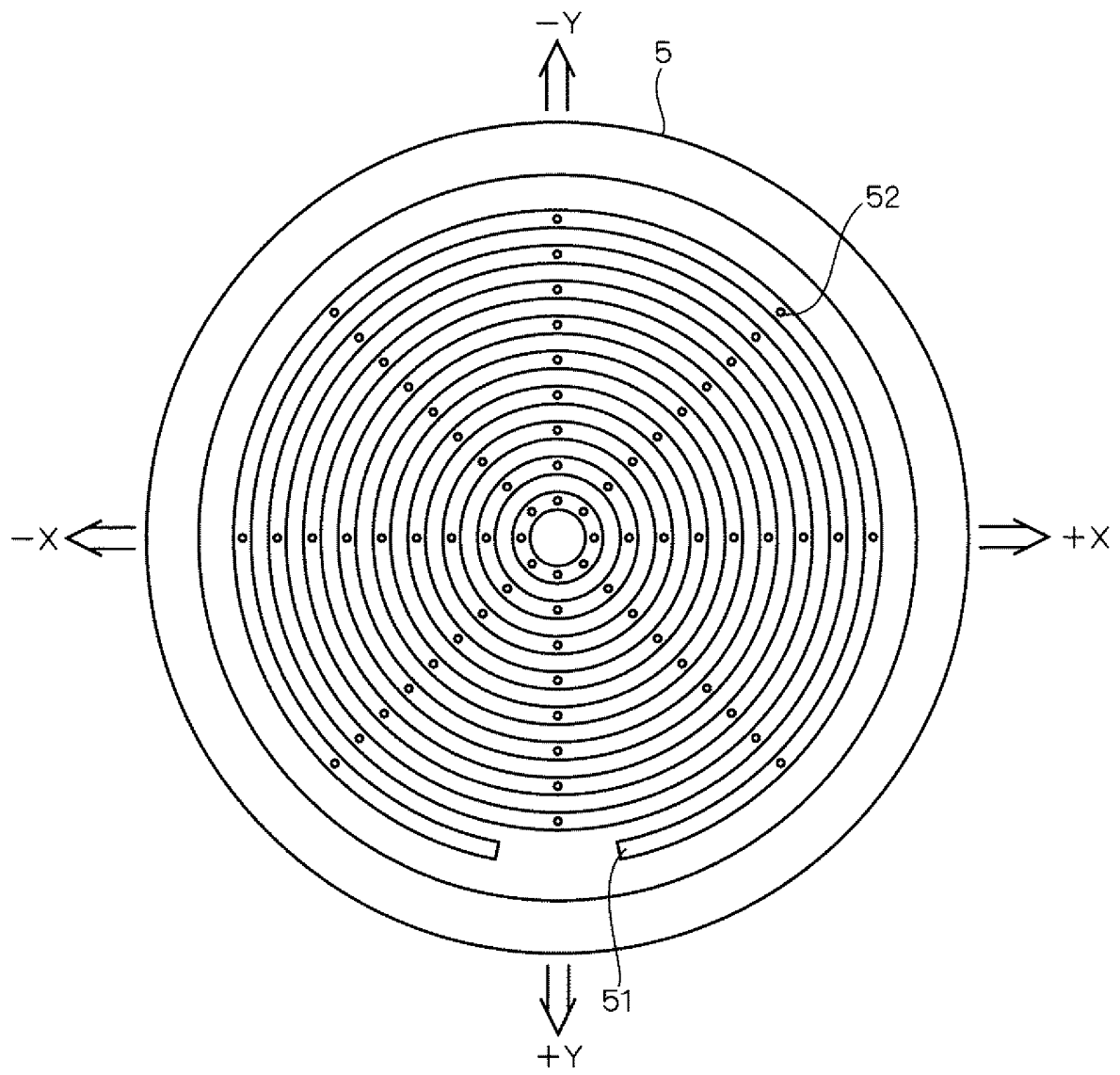
単位パルスごとの照射位置がオーバーラップするように走査しつつ前記パルスレーザー光を前記始点位置から照射する照射工程と、
を備え、

前記照射工程においては、前記準備工程を行わない場合には融解改質による変質が生じない強さのエネルギーのパルスレーザー光を照射する、
ことを特徴とするパルスレーザー光による被加工物の加工方法。

[図1]

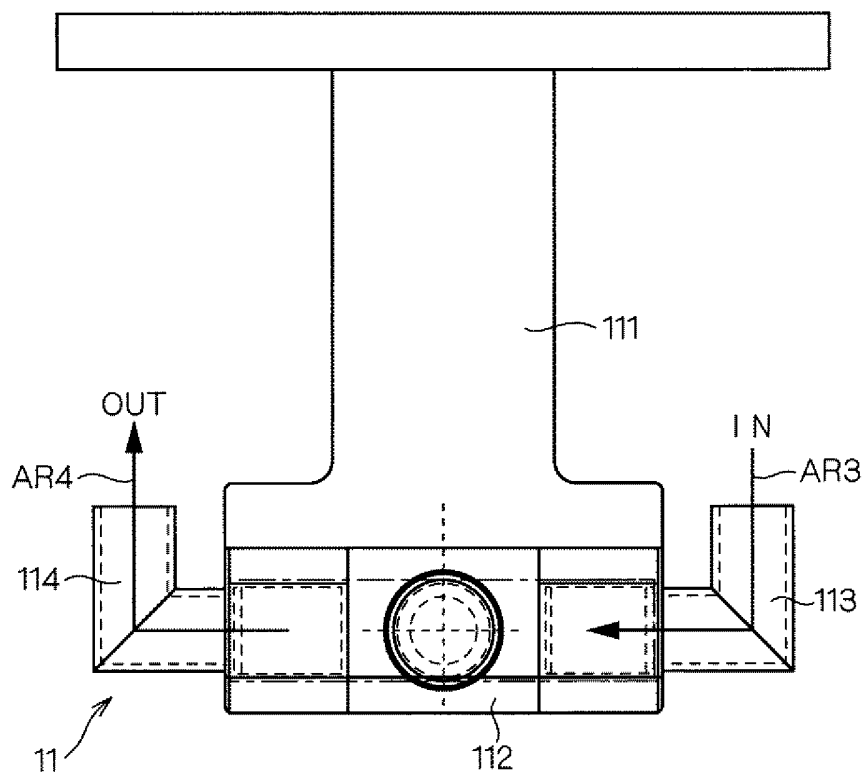


[図2]

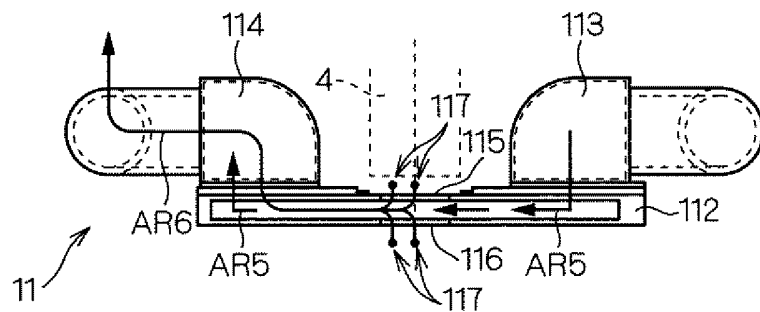


[図3]

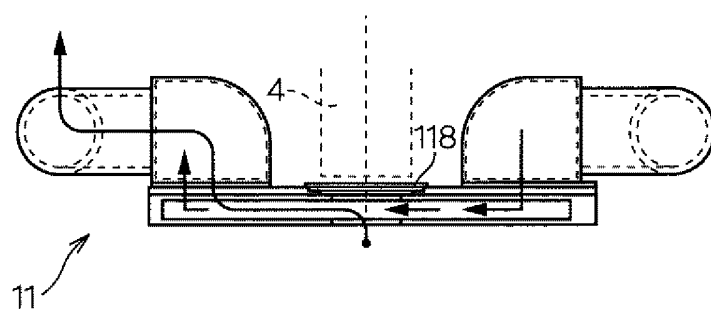
(a)



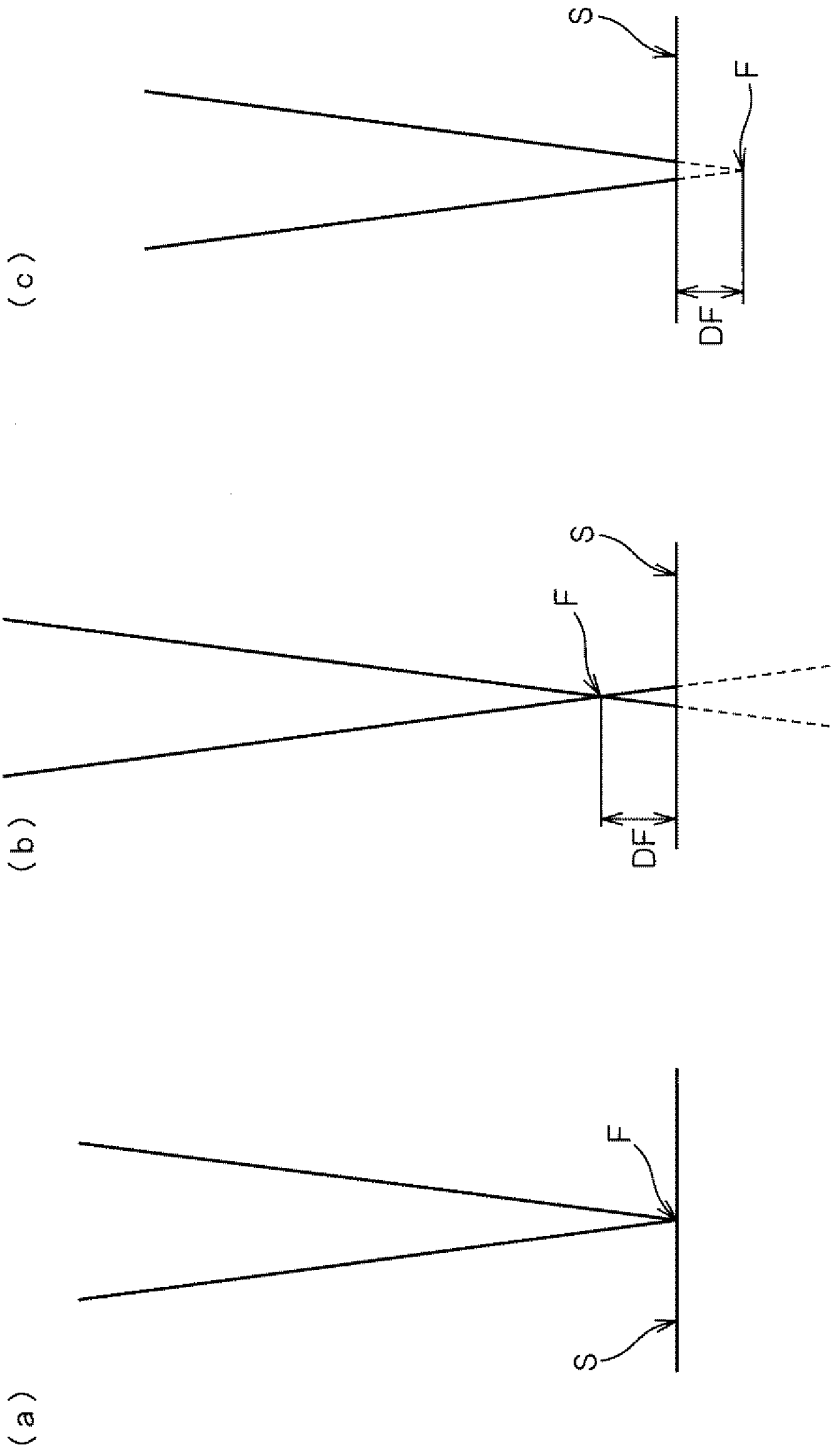
(b)



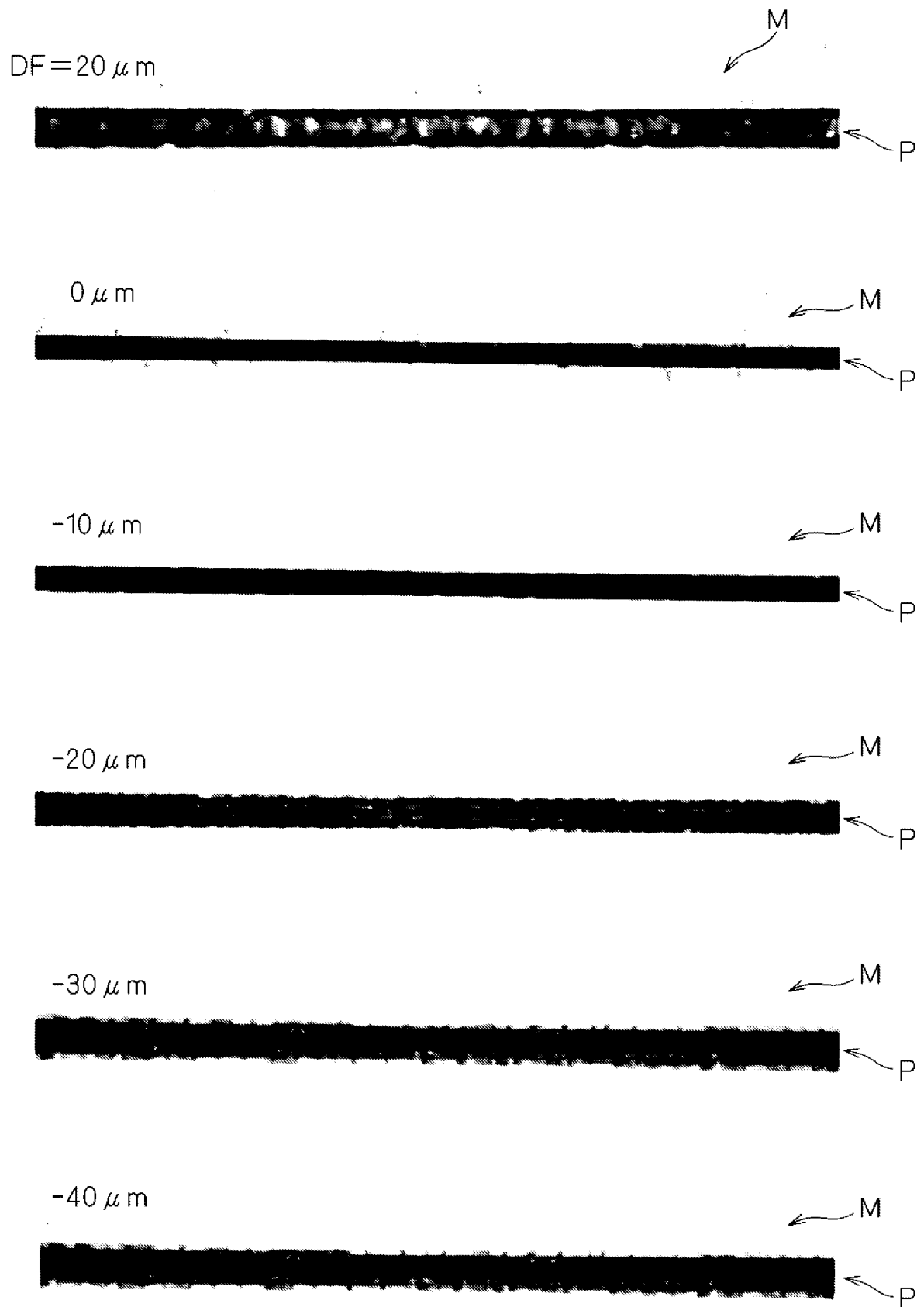
(c)



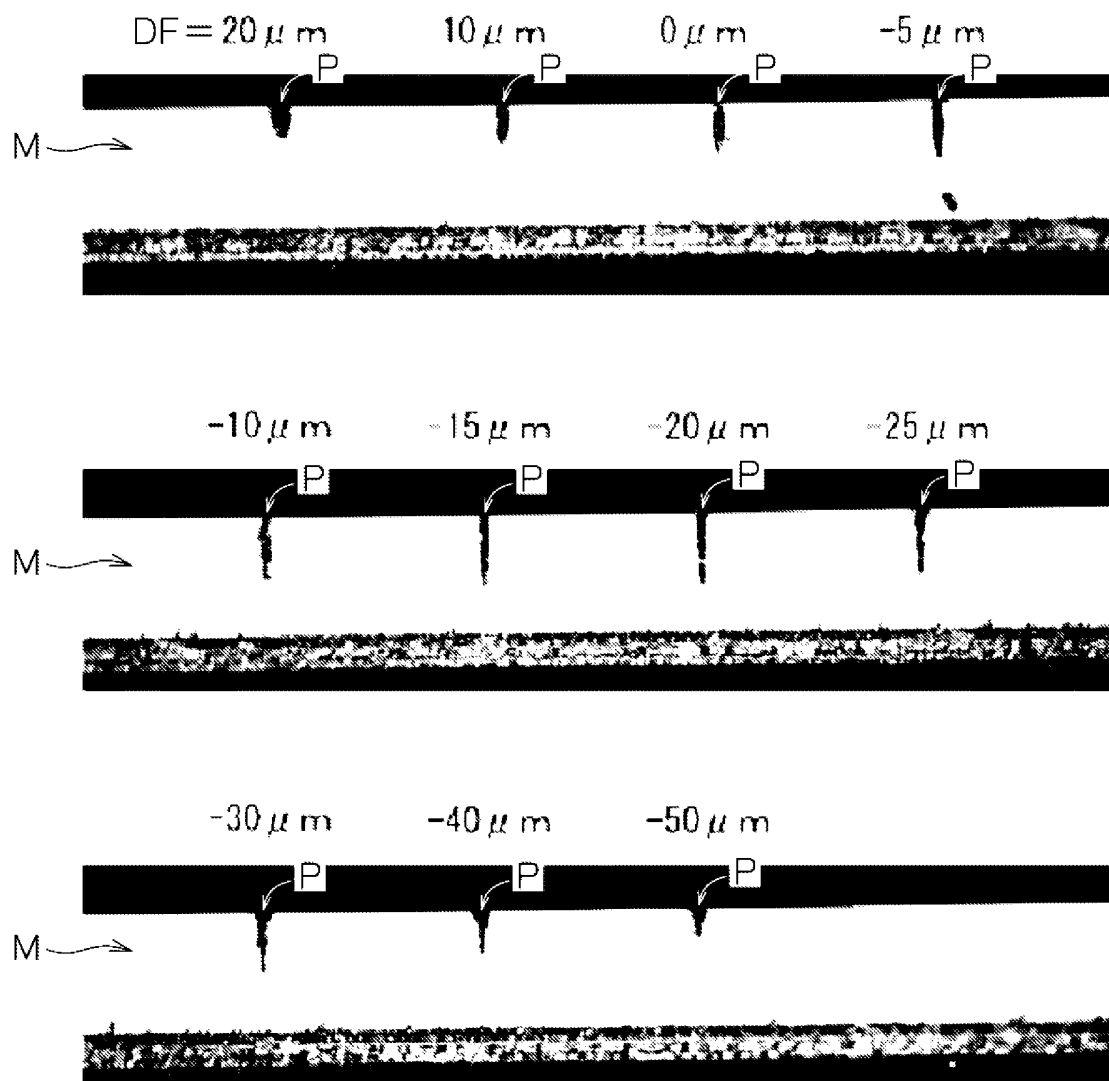
[図4]



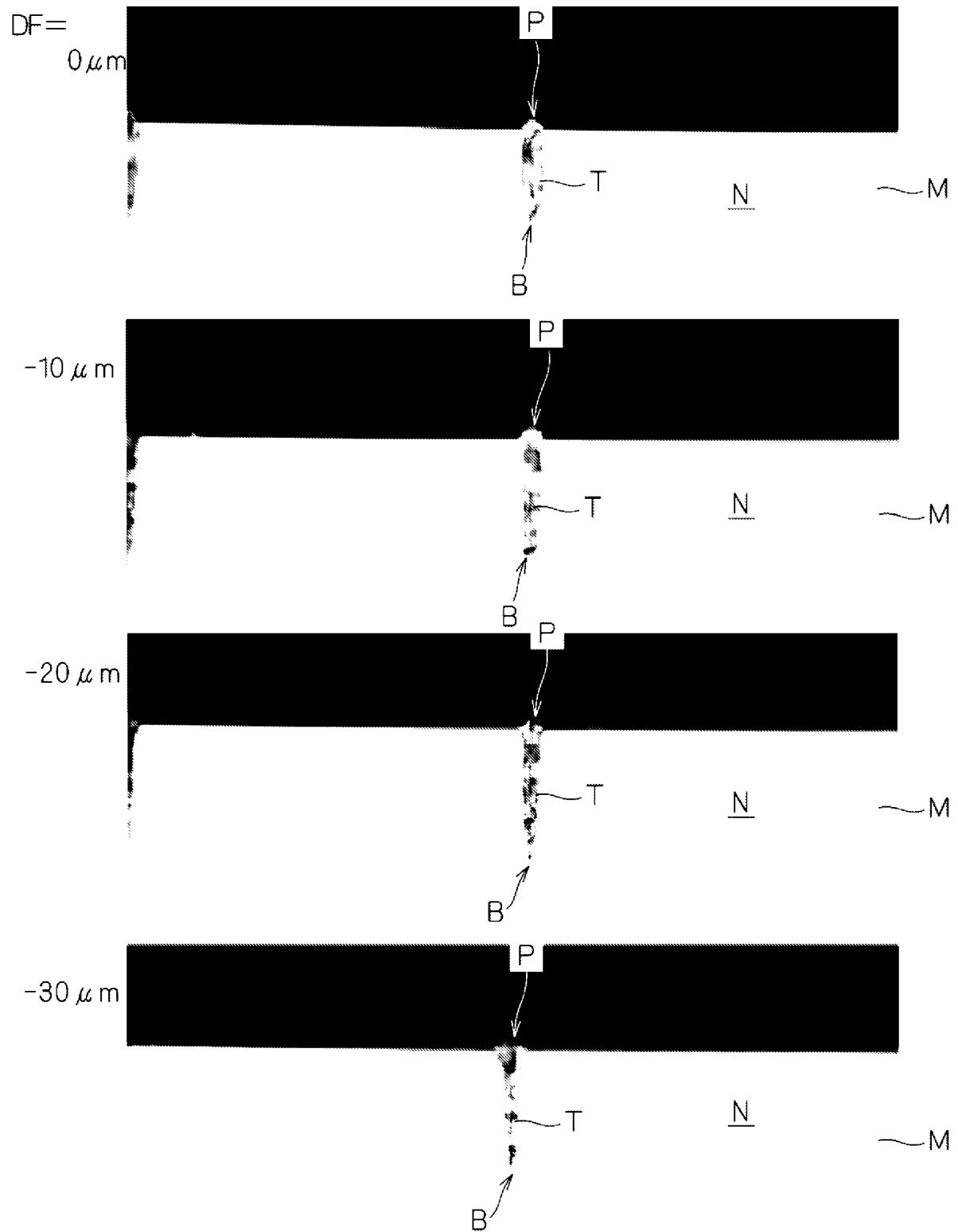
[図5]



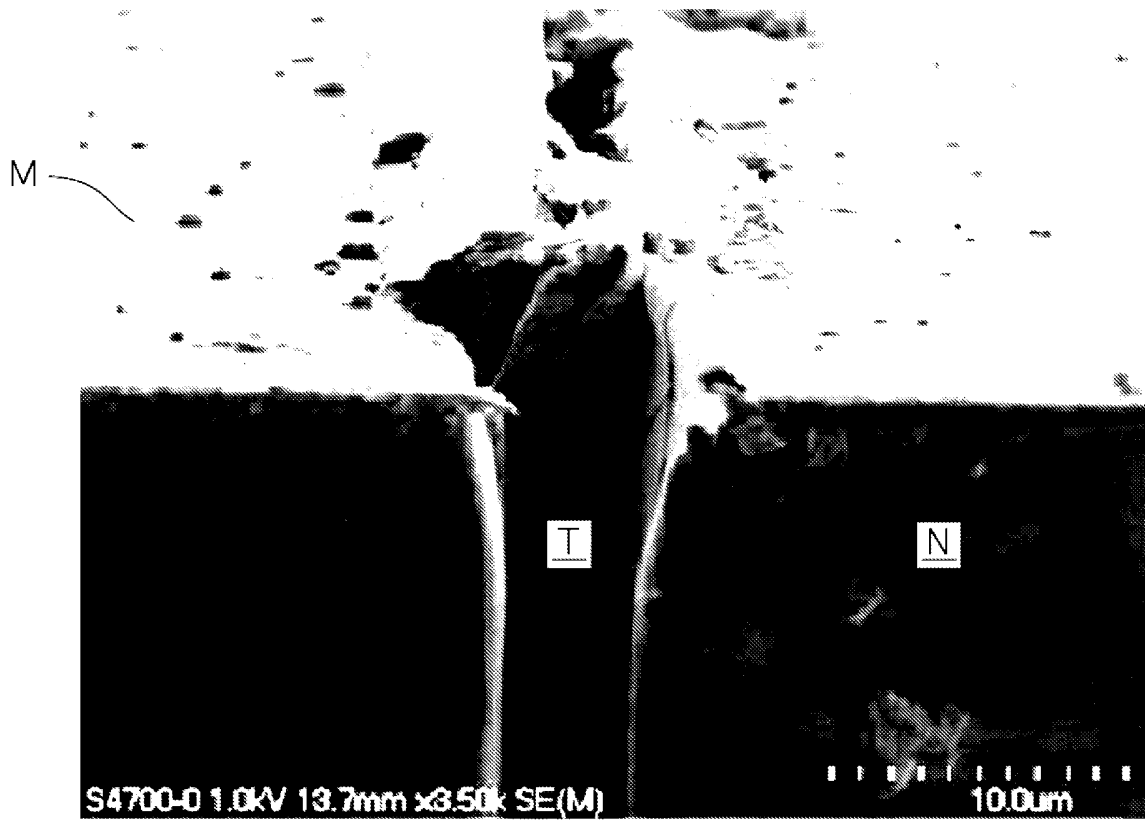
[図6]



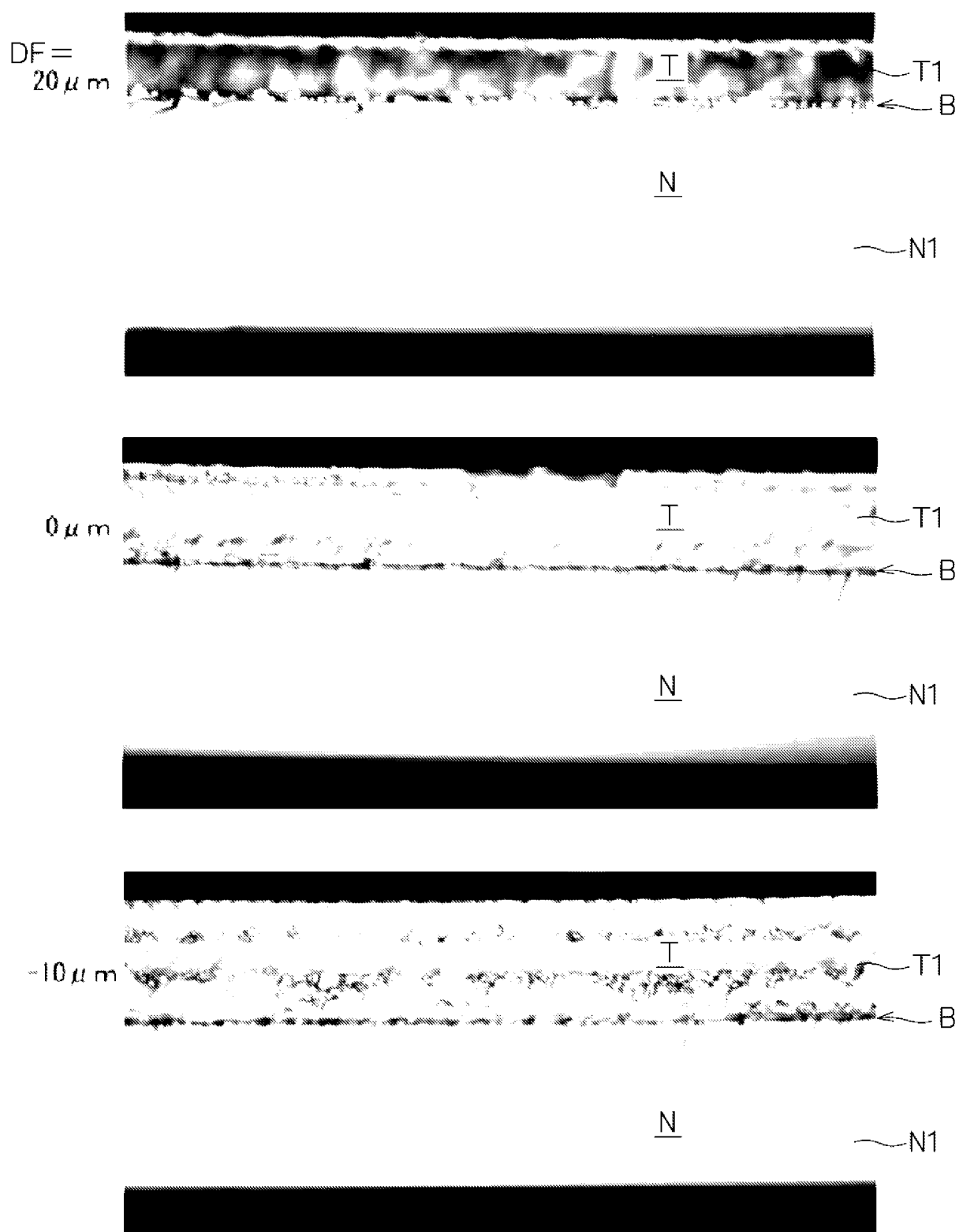
[図7]



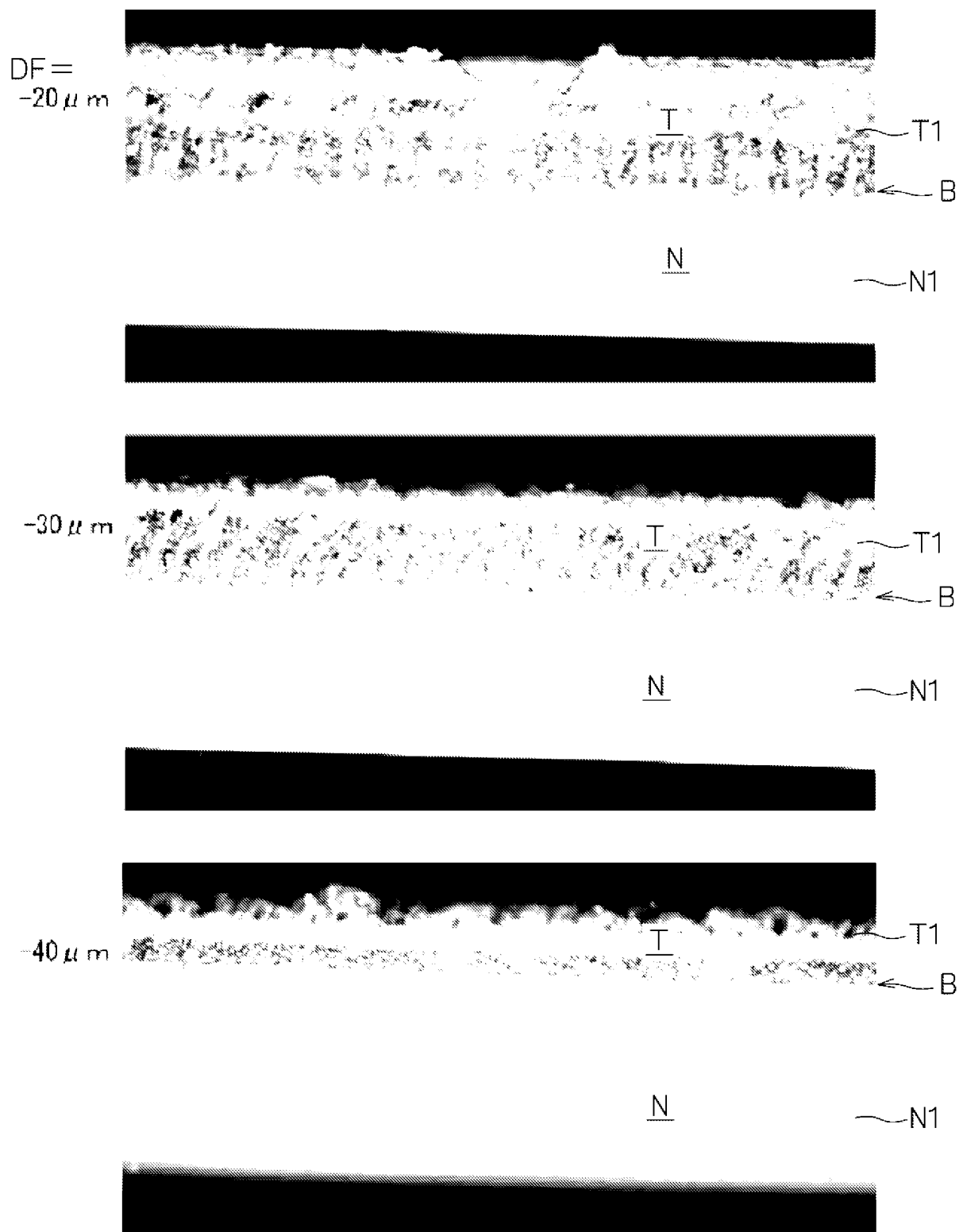
[図8]

 $DF = -20 \mu m$ 

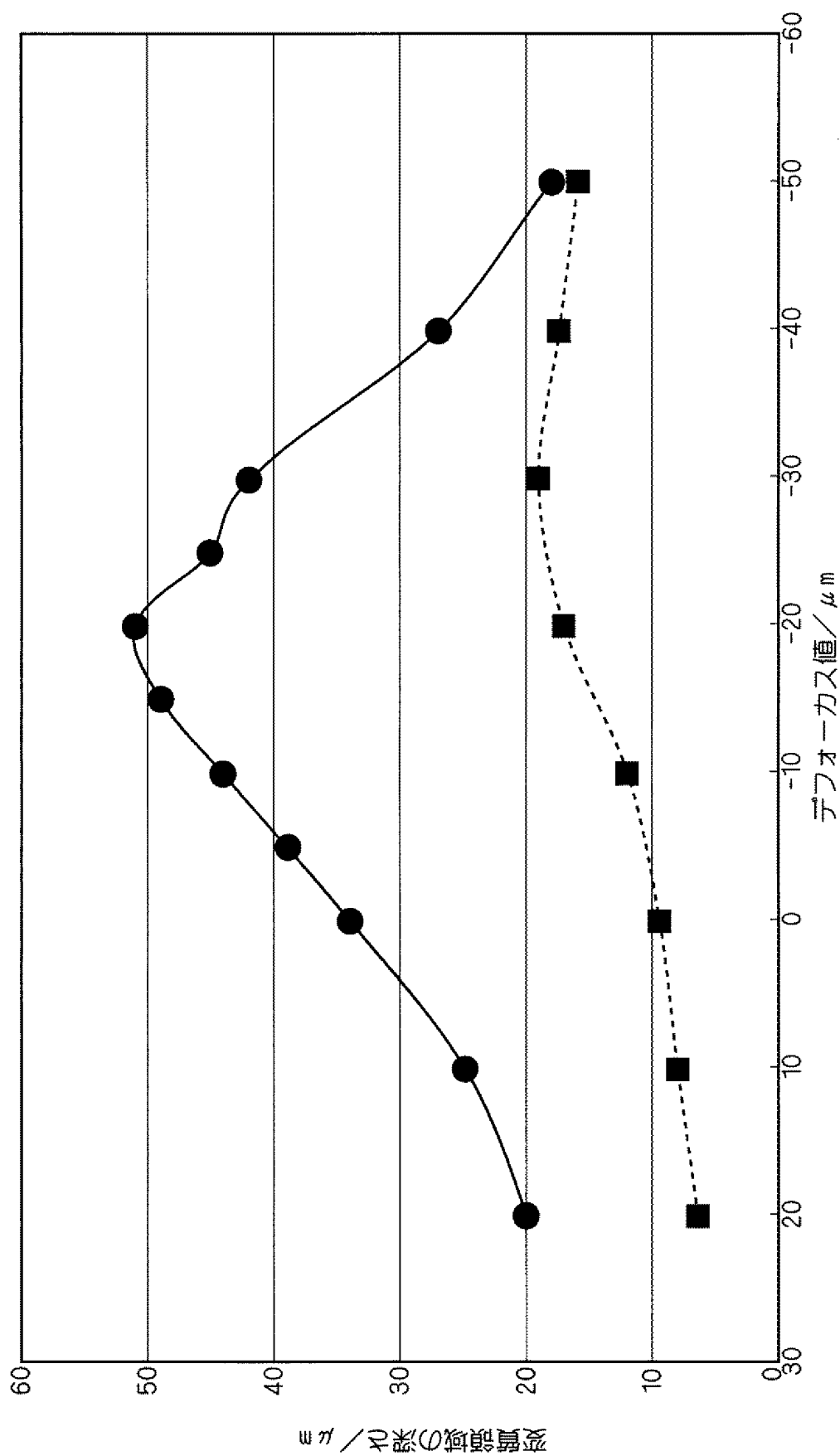
[図9]



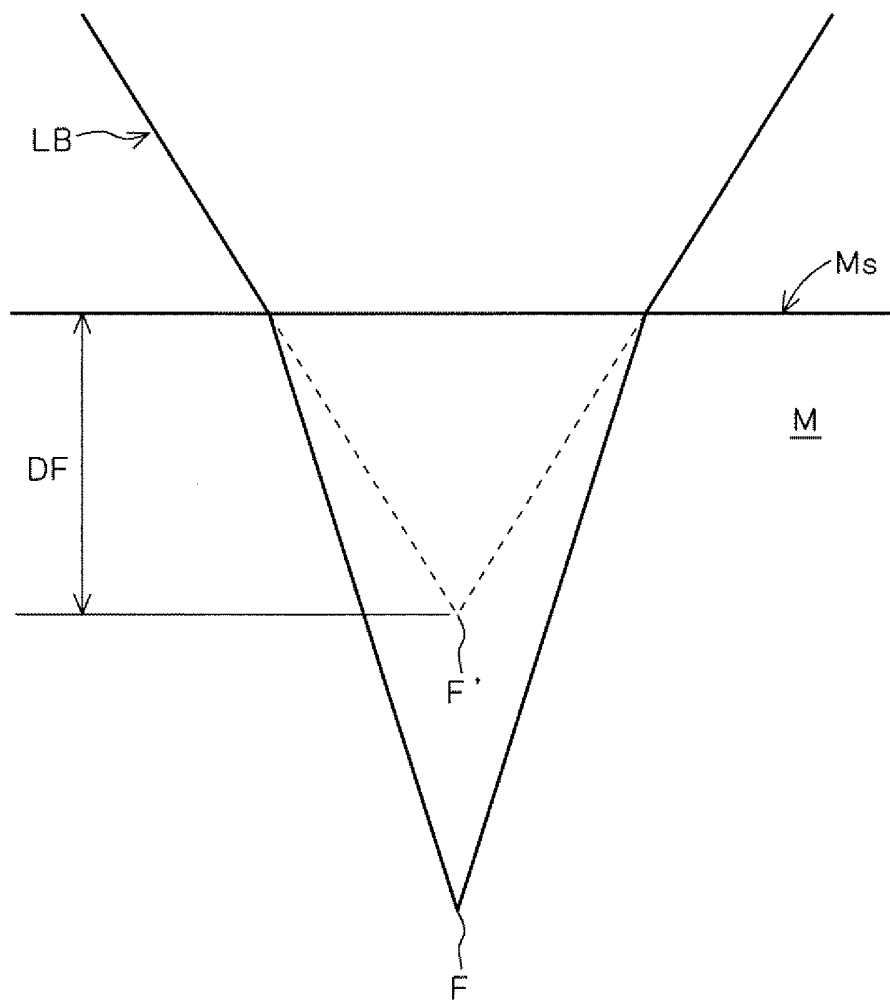
[図10]



[図11]



[図12]



[図13]

DF=
0 μm



R $\rightarrow$ T' N' $\sim$ M'

-10 μm



R $\rightarrow$ T' N' $\sim$ M'

-20 μm



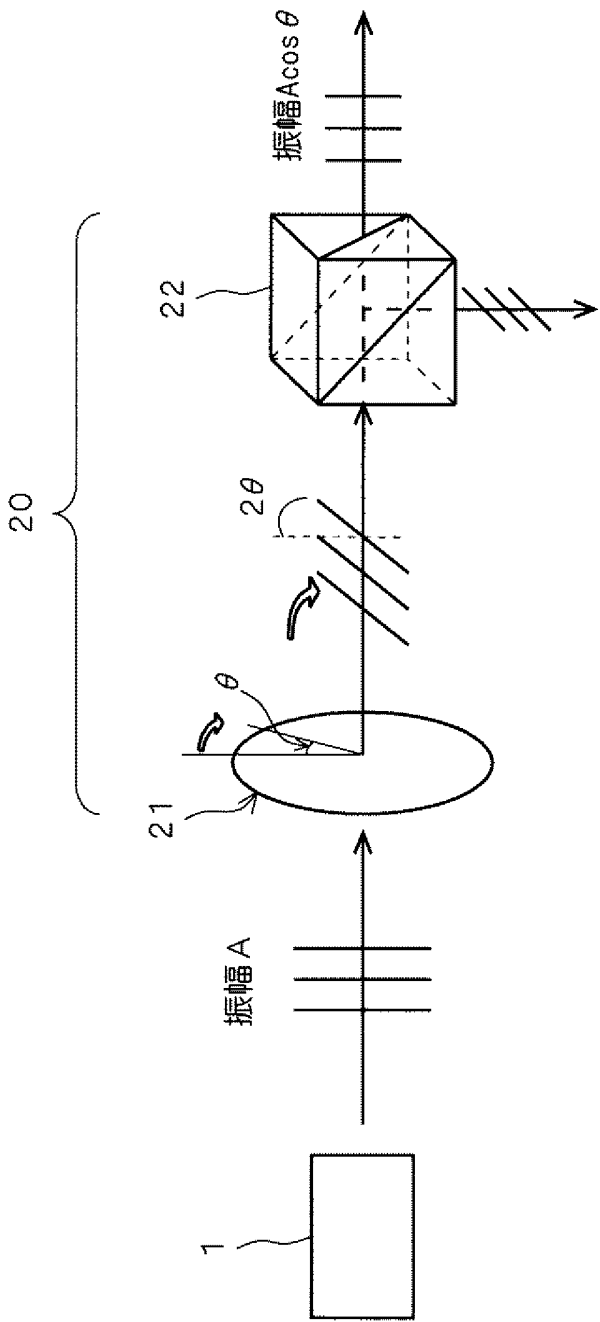
R $\rightarrow$ T' N' $\sim$ M'

-30 μm

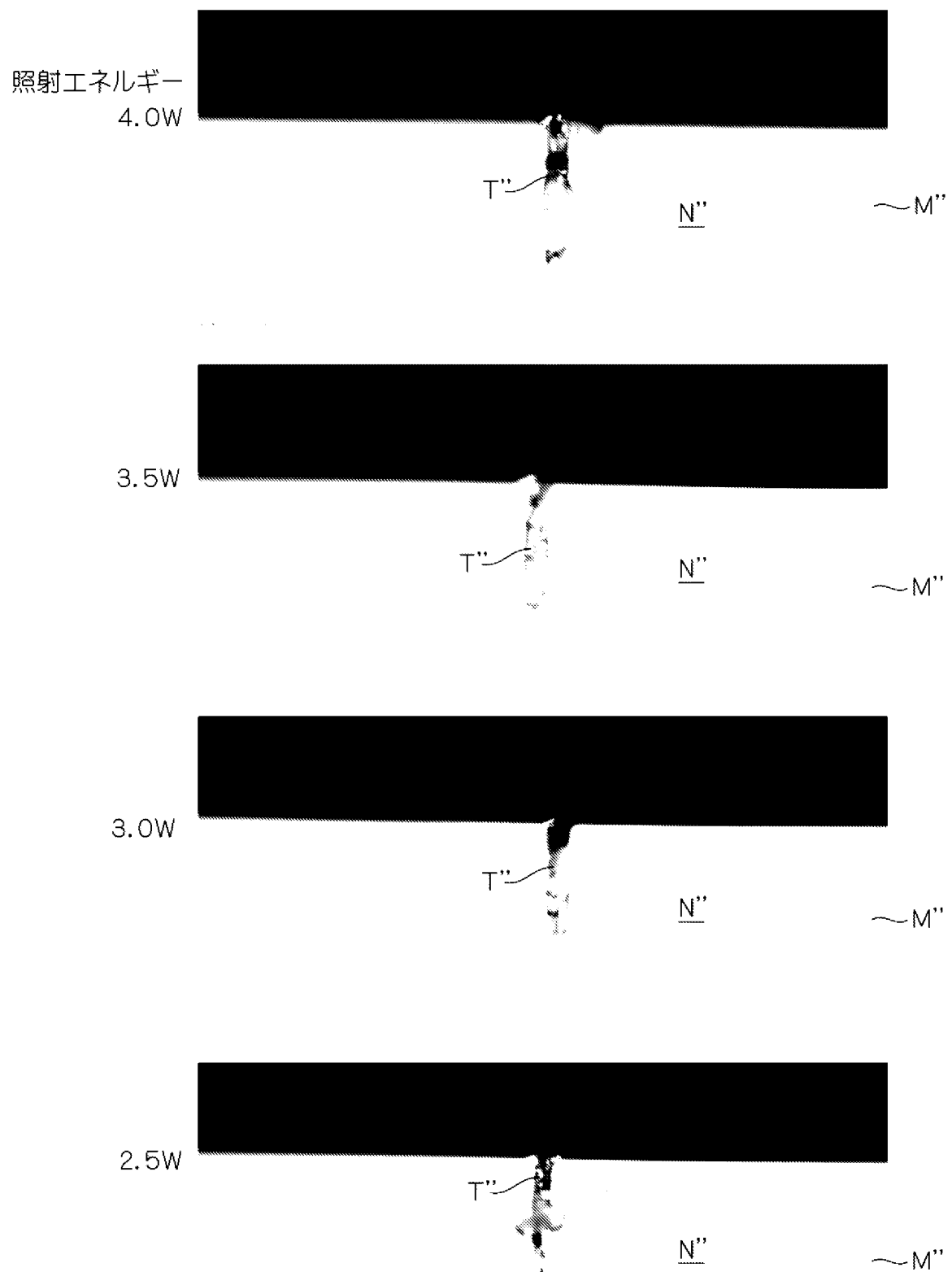


R $\rightarrow$ T' N' $\sim$ M'

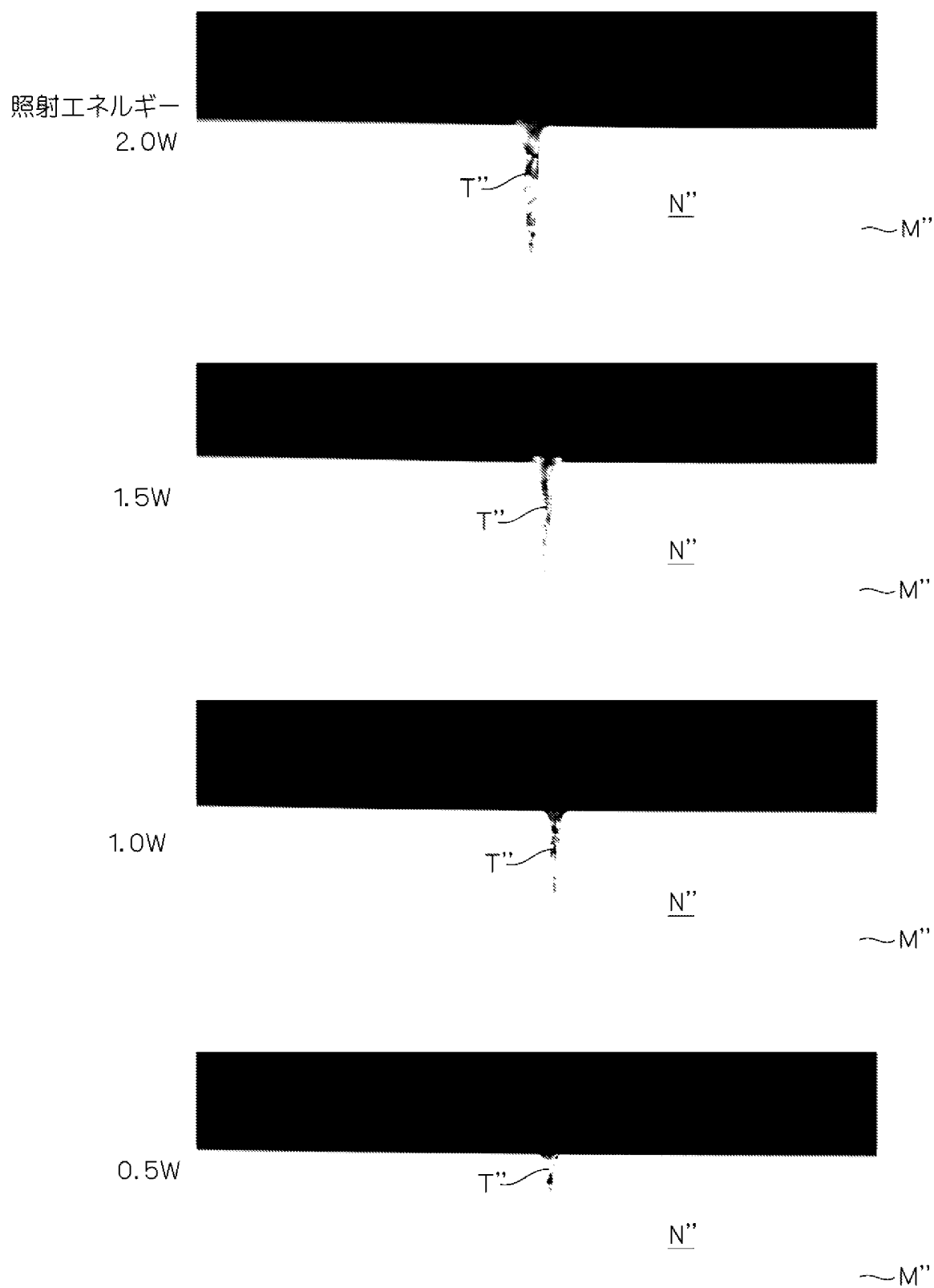
[図14]



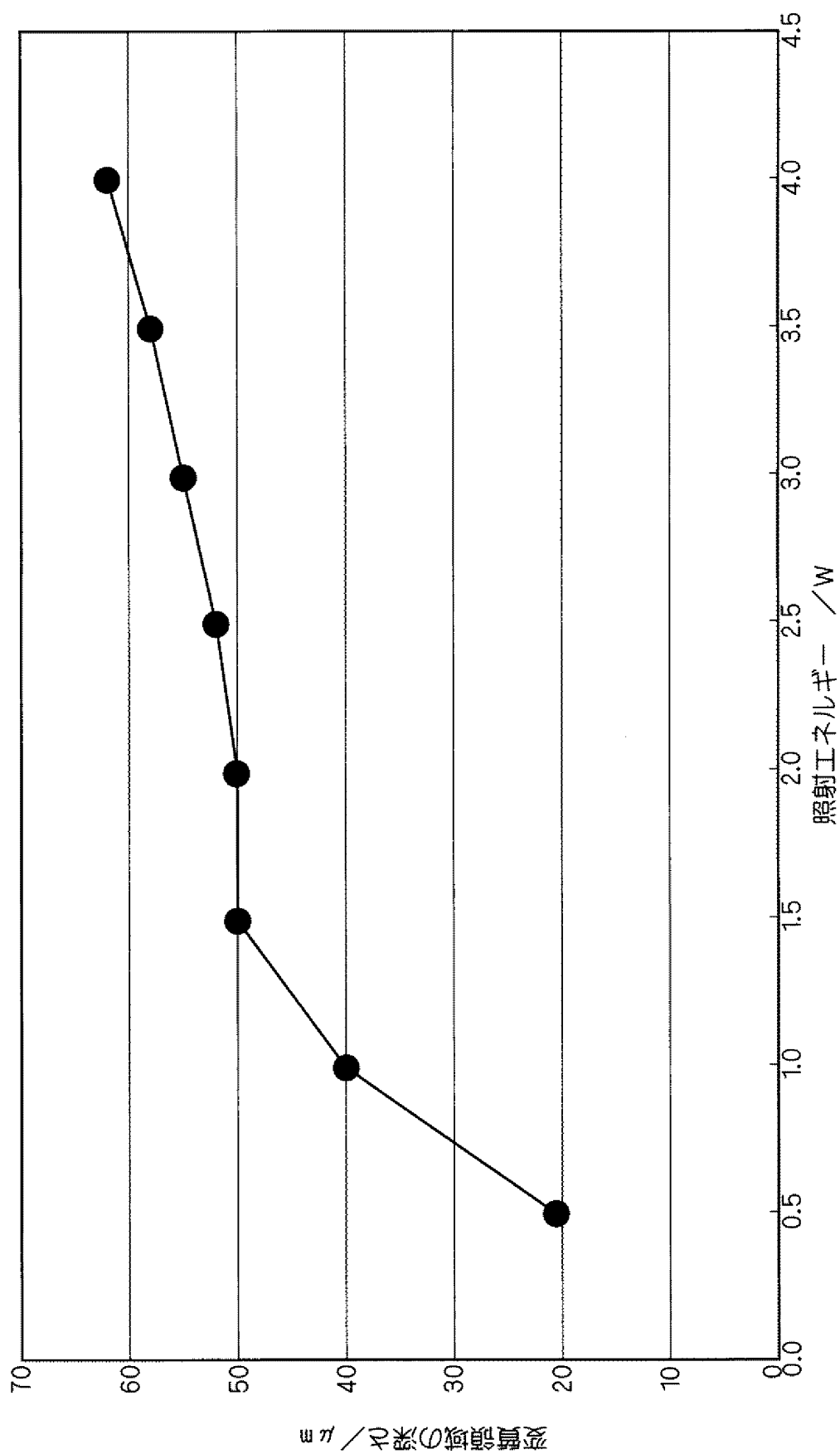
[図15]



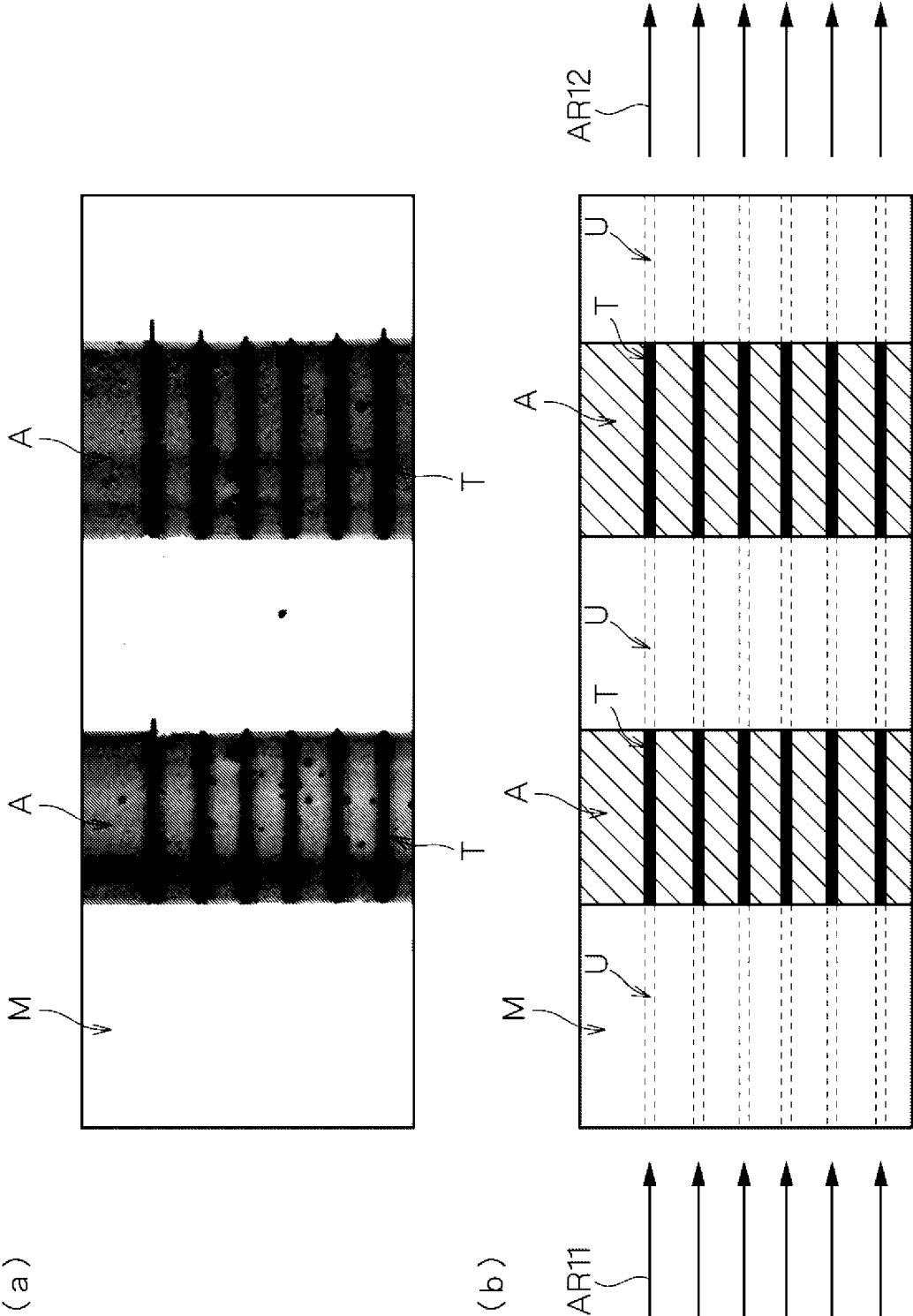
[図16]



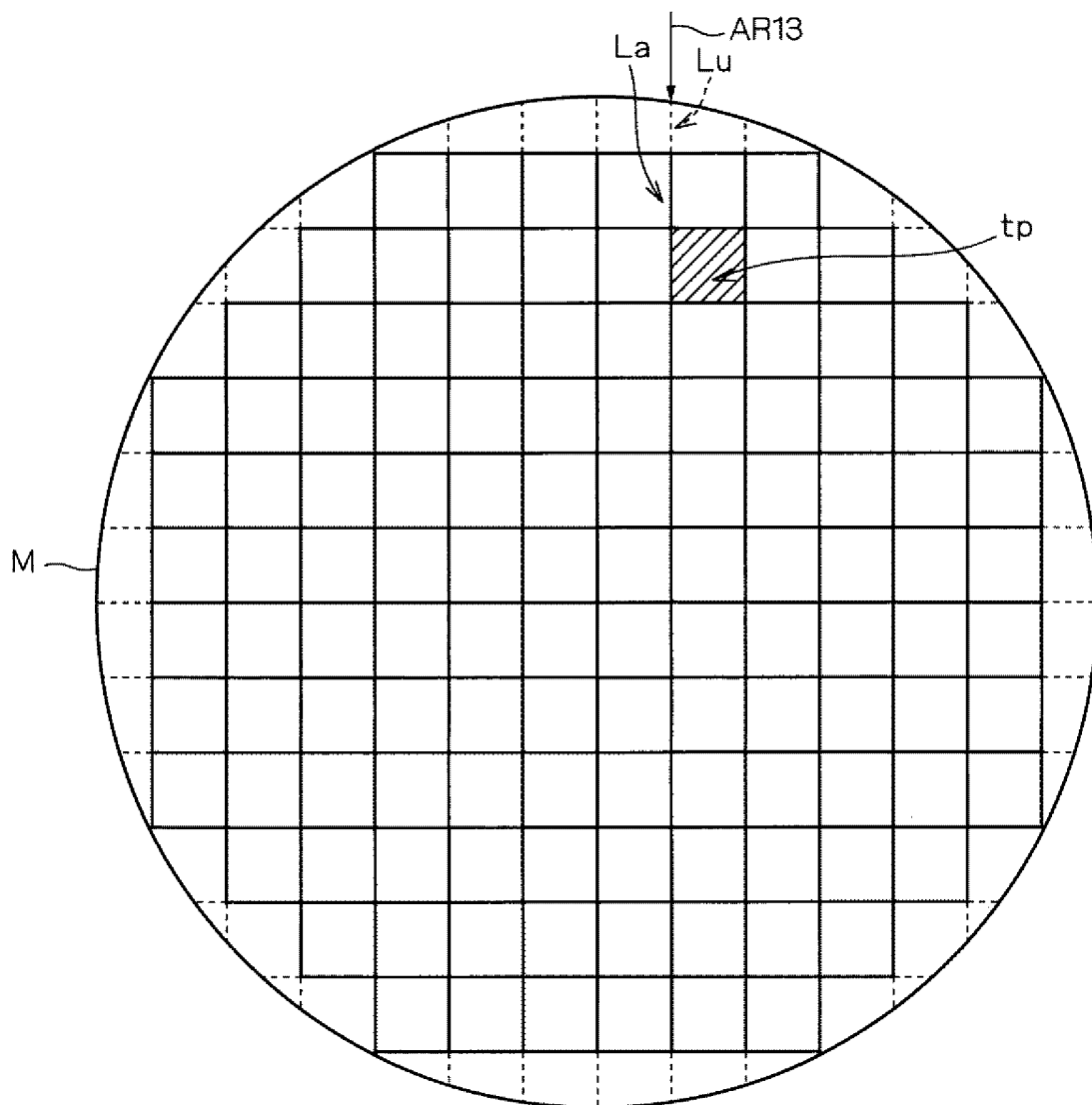
[図17]



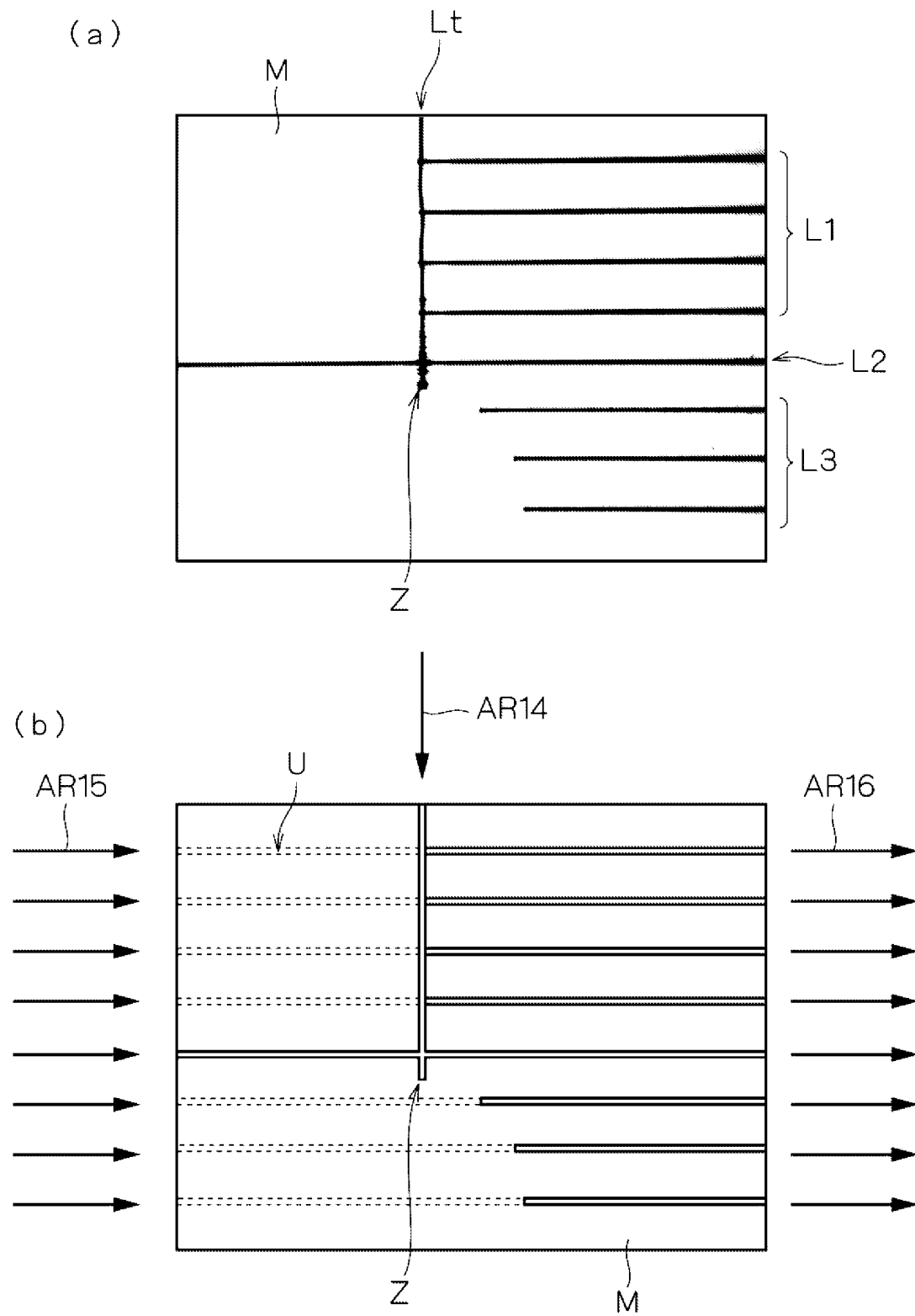
[図18]



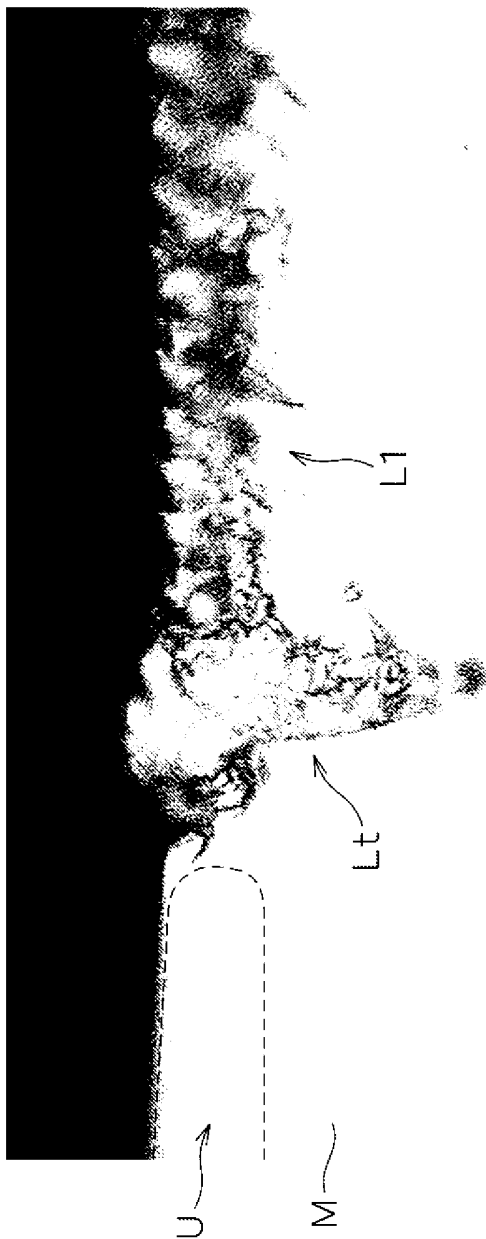
[図19]



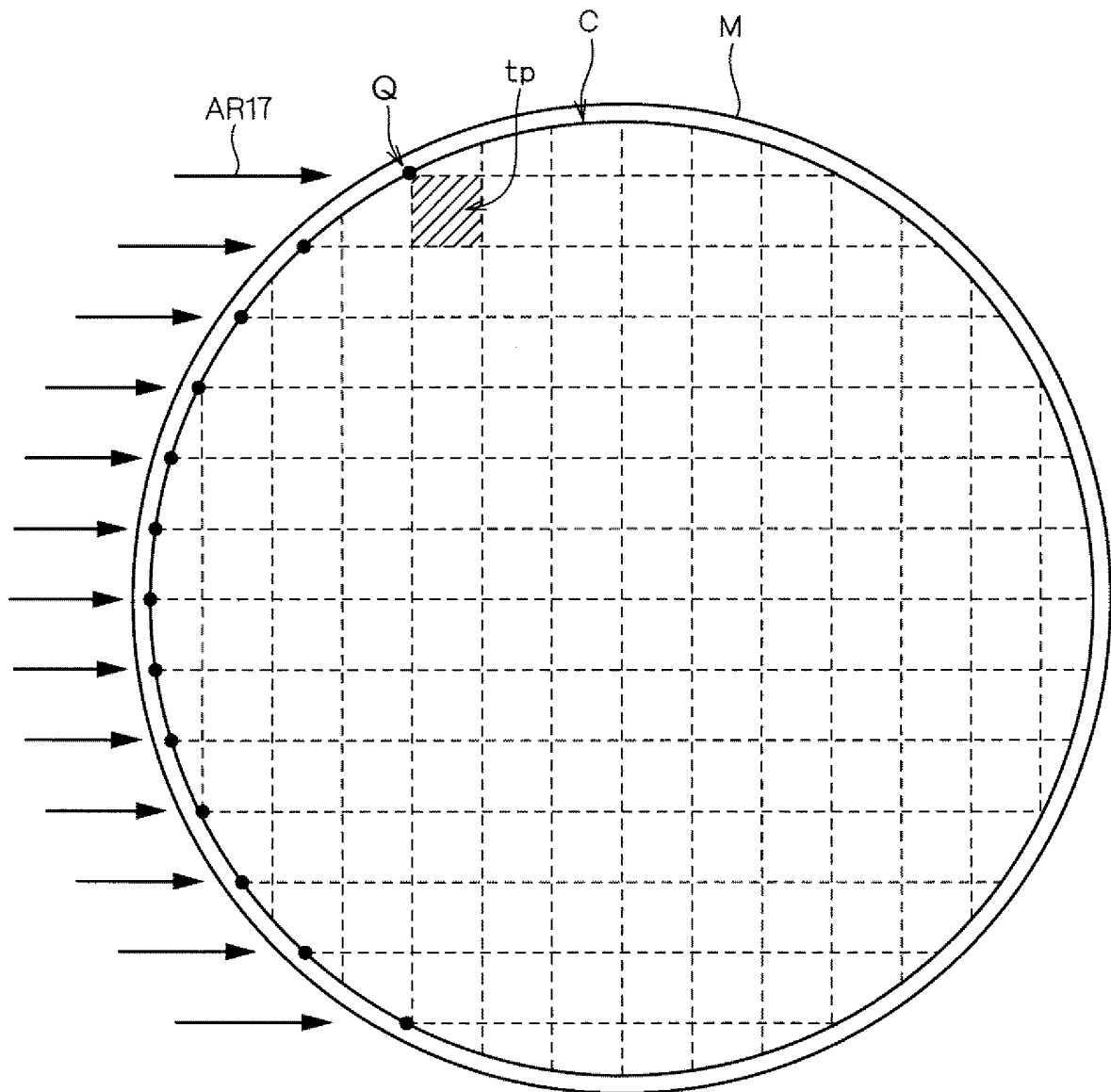
[図20]



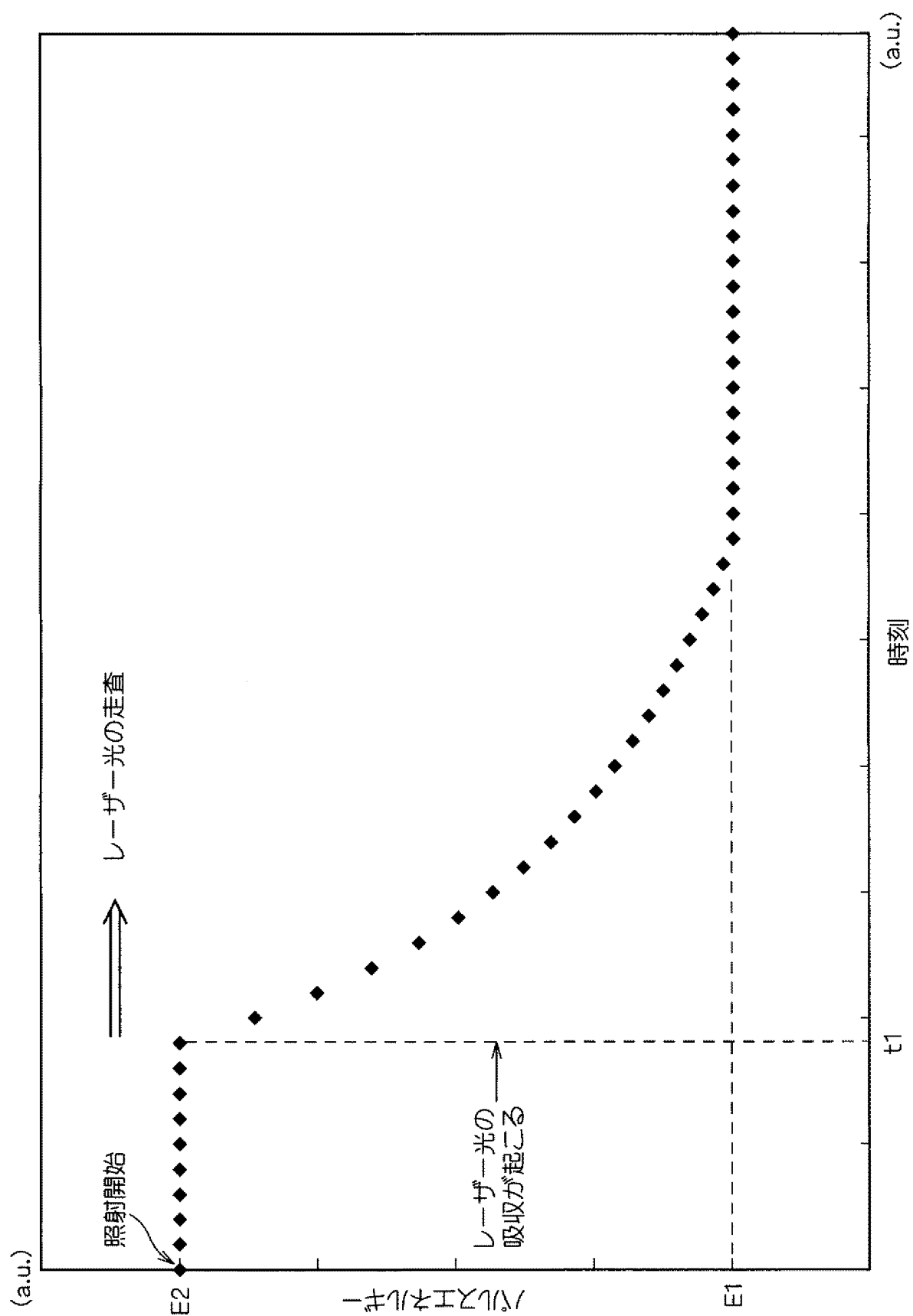
[図21]



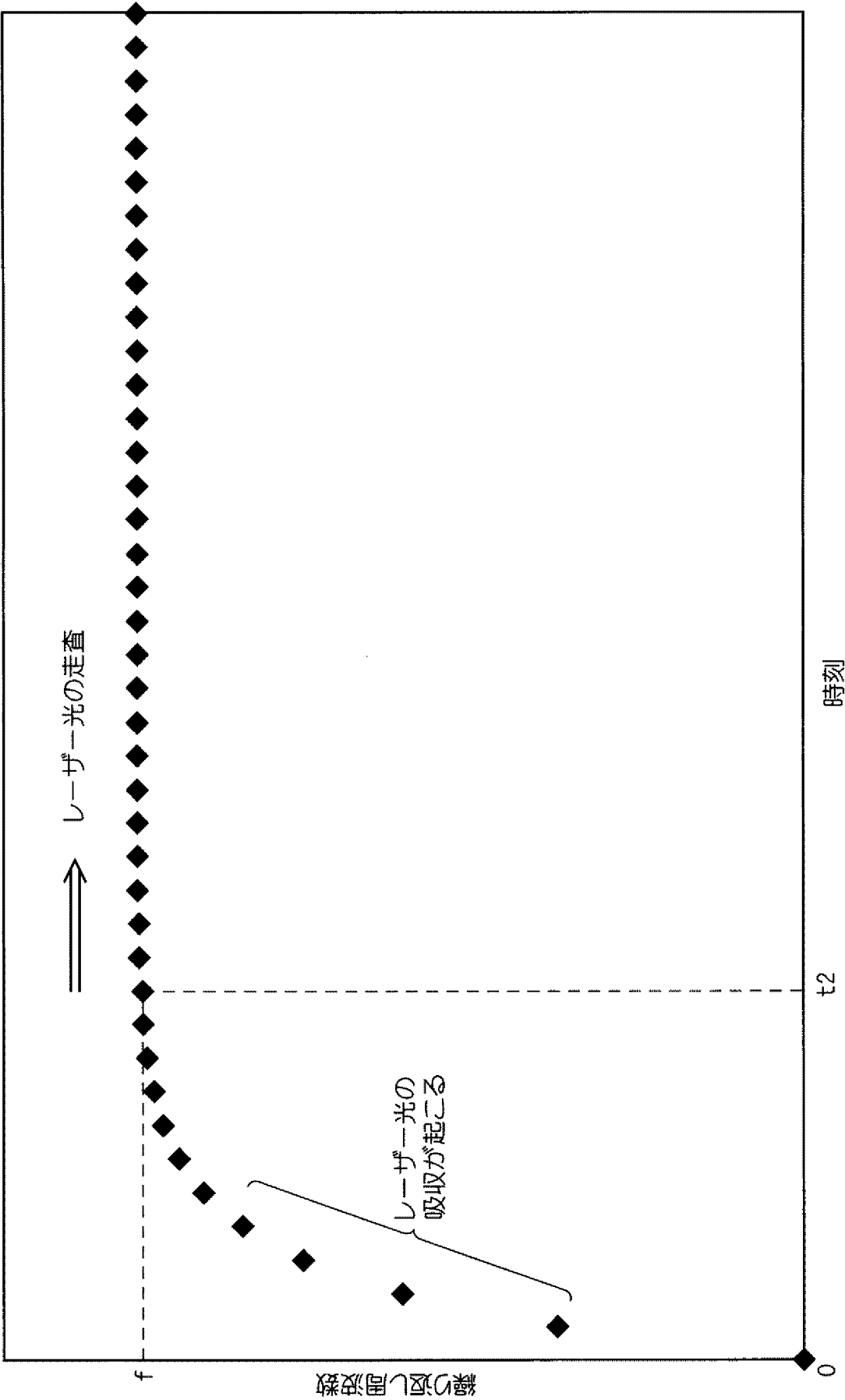
[図22]



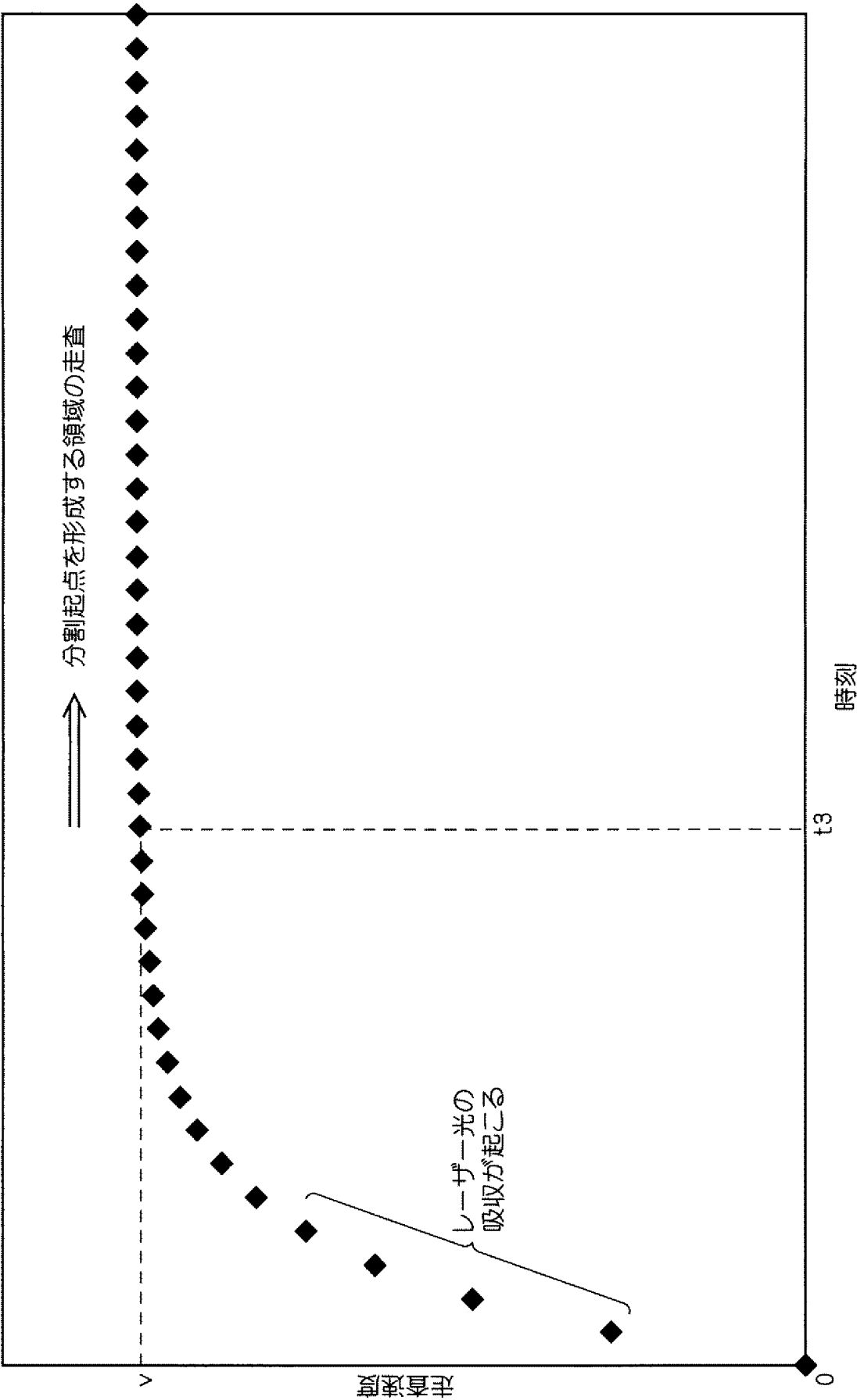
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/012984

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/301(2006.01), B23K26/00(2006.01), B23K26/06(2006.01), B23K26/40(2006.01), B28D5/00(2006.01), B23K101/40(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)

B23K26/00, B23K26/06, B23K26/40, B23K101/40, B28D5/00, H01L21/301

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 2004-165226 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 10 June, 2004 (10.06.04), Page 4, line 36 to page 5, line 24; Fig. 2 & EP 1376687 A2	1-9, 14-17, 19-26
Y	JP 2003-88989 A (Japan Science and Technology Corp.), 25 March, 2003 (25.03.03), Page 4, left column, lines 28 to 33, 39 to 49; Fig. 1 (Family: none)	3-9, 14, 26
Y	JP 2003-2677 A (Seiko Epson Corp.), 08 January, 2003 (08.01.03), Page 5, left column, lines 23 to 30; Fig. 6 (Family: none)	3-9, 14, 26

☒ 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
20 February, 2006 (20.02.06)

Date of mailing of the international search report
28 February, 2006 (28.02.06)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021984

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-268104 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 30 September, 2004 (30.09.04), Full text (Family: none)	15
Y	JP 2004-268309 A (Tekudaiya Kabushiki Kaisha), 30 September, 2004 (30.09.04), Page 5, lines 29 to 36; page 6, lines 38 to 42 (Family: none)	23, 24
Y	JP 2004-104079 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 02 April, 2004 (02.04.04), Page 8, lines 13 to 46; Fig. 2 (Family: none)	26
A	JP 2002-293560 A (Seiko Epson Corp.), 09 October, 2002 (09.10.02), Page 2, left column, lines 12 to 34 (Family: none)	1-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021984

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☒ Claims Nos.: 10-13 and 18
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
 - * Whereas the preparation step in claim 10 is a step to start a pulse laser beam irradiation under an irradiation condition different from that for a starting point forming step, it is unclear how to cause pulse laser beam absorption. (Continued to extra sheet)
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

- * The invention in claim 1 is not considered to make a contribution over the prior art.
 - * The inventions in claims 2-17 and 19-24 relate to a method of forming a degenerated area that is fusion-modified in a body to be divided.
 - * The invention in claims 25 relates to a method of dividing a body to be divided.
 - * The invention in claims 26 relates to a processing method for specifying irradiation conditions at an initial point position at which a body to be processed is irradiated with laser.
1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
 2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
 3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
 4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021984

Continuation of Box No.II-2 of continuation of first sheet (2)

*It is no clear what location is specified by the interface in claim 18, making it impossible to determine a curvature.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01L21/301 (2006.01), B23K26/00 (2006.01), B23K26/06 (2006.01), B23K26/40 (2006.01), B28D5/00 (2006.01), B23K101/40 (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. B23K 26/00, B23K 26/06, B23K 26/40, B23K 101/40, B28D 5/00, H01L 21/301			
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 1971-2006年 日本国実用新案登録公報 1996-2006年 日本国登録実用新案公報 1994-2006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 2004-165226 A (豊田合成株式会社) 2004.06.10, 第4ページ第36行~第5ページ第24行、 及び図2 & E P 1376687 A2	1-9, 14-17, 19-26	
Y	J P 2003-88989 A (科学技術振興事業団) 2003.03.25, 第4ページ左欄第28~33行及び第39 ~49行、並びに図1 (ファミリーなし)	3-9, 14, 26	
☒ 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 20.02.2006		国際調査報告の発送日 28.02.2006	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 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) 小松 竜一 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	3 P 3506

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	J P 2003-2677 A (セイコーエプソン株式会社) 2003.01.08, 第5ページ左欄第23~30行、及び図6 (ファミリーなし)	3-9, 14, 26
Y	J P 2004-268104 A (浜松ホトニクス株式会社) 2004.09.30, 全文 (ファミリーなし)	15
Y	J P 2004-268309 A (テクダイヤ株式会社) 2004.09.30, 第5ページ第29~36行及び第6ページ 第38~42行 (ファミリーなし)	23, 24
Y	J P 2004-104079 A (株式会社村田製作所) 2004.04.02, 第8ページ第13~46行及び図2 (ファ ミリーなし)	26
A	J P 2002-293560 A (セイコーエプソン株式会社) 2002.10.09, 第2ページ左欄第12~34行 (ファミリ ーなし)	1-26

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☒ 請求の範囲 10-13及び18 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
 - ・ 請求の範囲10の準備工程は、起点形成工程と異なる照射条件でパルスレーザー光の照射を開始する工程であるが、一方でどのようにパルスレーザー光の吸収を生じさせるのか不明である。
 - ・ 請求の範囲18の界面とはどの部位を指すかが明確でなく、曲率が決定できない。
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

- ・ 請求の範囲1に係る発明は、先行技術を回避したものとは認められない。
- ・ 請求の範囲2-17及び19-24に係る発明は、被分割体に融解改質された変質領域を形成する方法に関するものである。
- ・ 請求の範囲25に係る発明は、被分割体を分割する方法に関するものである。
- ・ 請求の範囲26に係る発明は、被加工物にレーザを照射する始点位置における照射条件を規定する加工方法に関するものである。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。