

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2010/090111 A1

(43) 国際公開日

2010年8月12日(12.08.2010)

PCT

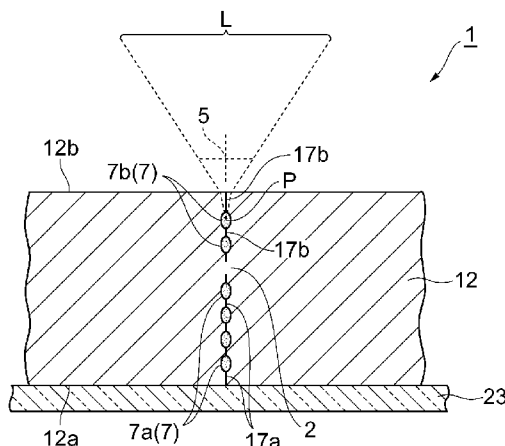
- (51) 国際特許分類:  
B23K 26/38 (2006.01) H01L 21/301 (2006.01)  
B23K 26/00 (2006.01) B23K 101/40 (2006.01)  
B23K 26/40 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/051047
- (22) 国際出願日: 2010年1月27日(27.01.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2009-027263 2009年2月9日(09.02.2009) JP
- (71) 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 静岡県浜松市東区市野町1126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 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 中川 愛湖(NAKAGAWA Aiko) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126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 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: WORKPIECE CUTTING METHOD

(54) 発明の名称: 加工対象物切断方法

[図12]



(57) Abstract: A crack (17a) is generated from a modification region (7a) to the front surface (12a) of a workpiece (1) and a crack (17b) is generated from a modification region (7b) to the back surface (12b) of the workpiece (1) with an intervening unmodified region (2). The continuous progression of cracking in the thickness direction of the silicon substrate (12) when multiple lines of modification regions (7) are formed can thereby be prevented. Moreover, by generating stress in the workpiece (1), the crack (17a) and the crack (17b) are connected in the unmodified region (2) and the workpiece (1) is cut. The snaking, etc., of cracks in the back surface (12b) of the workpiece (1) is thereby prevented and the workpiece (1) can be cut along the planned cutting line (5) with good precision.

(57) 要約: 非改質領域2を介在させた状態で、改質領域7aから加工対象物1の表面12aに亀裂17aを生じさせ、改質領域7bから加工対象物1の裏面12bに亀裂17bを生じさせる。これにより、改質領域7を複数形成する際に、シリコン基板12の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止し得る。そして、加工対象物1に応力を生じさせることで、非改質領域2において亀裂17aと亀裂17bとを繋げて加工対象物1を切断する。これにより、加工対象物1の裏面12

bにおける亀裂の蛇行等を防止して、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って精度良く切断し得る。

WO 2010/090111 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

**発明の名称**：加工対象物切断方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、シリコン基板を備える板状の加工対象物を切断予定ラインに沿って切断するための加工対象物切断方法に関する。

### 背景技術

[0002] 従来における上記技術分野の加工対象物切断方法として、シリコン基板を備える板状の加工対象物に対し、例えば波長1300nmの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シリコン基板に形成するものが知られている（例えば、特許文献1参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2006-108459号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 波長1300nmのレーザ光は、例えば波長1064nmのレーザ光よりもシリコン基板における透過率が高いため、波長1300nmのレーザ光を使用すると、シリコン基板のレーザ光入射面から深い位置であっても、大きな改質領域を形成することができる。そのため、切断予定ラインに沿ってシリコン基板の厚さ方向に改質領域を複数列形成して加工対象物を切断するような場合に、その改質領域の列数を減少させて、タクトタイムの短縮化を図ることができる。

[0005] ただし、波長1300nmのレーザ光を使用すると、大きな改質領域を形成することができる一方で、シリコン基板の厚さ方向に改質領域を複数列形成する際に、シリコン基板の厚さ方向に亀裂が連続的に進行し、加工対象物の主面において亀裂が蛇行するなど、加工対象物の切断精度が低下するおそ

れがある。

[0006] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、切断予定ラインに沿ってシリコン基板の厚さ方向に形成する改質領域の列数を減少させることができると共に、シリコン基板を備える板状の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できる加工対象物切断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

[0007] 上記目的を達成するために、本発明に係る加工対象物切断方法は、シリコン基板を備える板状の加工対象物に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シリコン基板に改質領域を形成し、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加工対象物切断方法であって、改質領域として第1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て第1の改質領域から加工対象物の一方の主面に第1の亀裂を生じさせ、第1の改質領域に対して加工対象物の他方の主面側に、第1の改質領域との間に非改質領域が介在するように、改質領域として第2の改質領域を形成することにより、非改質領域において第1の亀裂と繋がらないように、切断予定ラインに沿って第2の改質領域から他方の主面に第2の亀裂を生じさせる工程と、加工対象物に応力を生じさせることにより、第1の亀裂と第2の亀裂とを繋げて、切断予定ラインに沿って加工対象物を切断する工程と、を含むことを特徴とする。

[0008] この加工対象物切断方法においては、第1の改質領域と第2の改質領域との間に非改質領域を介在させた状態で、第1の改質領域から加工対象物の一方の主面に第1の亀裂を生じさせ、第2の改質領域から加工対象物の他方の主面に第2の亀裂を生じさせる。これにより、シリコン基板の厚さ方向に改質領域を複数列形成する際に、その改質領域の列数を減少させるべく1064nmよりも長い波長のレーザ光を使用しても、シリコン基板の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止することができる。そして、この加工対象物切断方法においては、加工対象物に応力を生じさせることで、第1の亀裂

と第2の亀裂とを繋げて加工対象物を切断する。これにより、加工対象物の主面における亀裂の蛇行等を防止して、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できる。以上のように、この加工対象物切断方法によれば、切断予定ラインに沿ってシリコン基板の厚さ方向に形成する改質領域の列数を減少させることができると共に、シリコン基板を備える板状の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できる。

[0009] また、切断予定ラインに沿って切断された加工対象物の一对の切断面のうち、一方の切断面の非改質領域に、シリコン基板の厚さ方向と交差する方向に延在する凸部が形成され、他方の切断面の非改質領域に、凸部に対応する凹部が形成されるように、第1の改質領域及び第2の改質領域を形成することが好ましい。このように第1の改質領域及び第2の改質領域を形成すると、シリコン基板の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのをより確実に防止することができると共に、第1の亀裂と第2の亀裂とを繋げて、加工対象物を切断予定ラインに沿ってより精度良く切断することができる。

[0010] このとき、シリコン基板の主面を(100)面として、切断面が(110)面となり、凸部及び凹部を形成する面が(111)面となるように、第1の改質領域及び第2の改質領域を形成することが好ましい。このように第1の改質領域及び第2の改質領域を形成することで、切断予定ラインに沿って加工対象物を切断した際に、凸部の高さ及び凹部の深さを抑えて、より滑らかな切断面を得ることができる。

[0011] 更に、凸部の高さが $2\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ となり、シリコン基板の厚さ方向における凸部の幅が $6\mu\text{m}\sim 17\mu\text{m}$ となるように、第1の改質領域及び第2の改質領域を形成することが好ましい。このように第1の改質領域及び第2の改質領域を形成することで、切断予定ラインに沿って加工対象物を切断した際に、加工対象物の主面における亀裂の蛇行等を防止することができるばかりでなく、割れ残りを防止することができる。

[0012] また、切断予定ラインに沿ってシリコン基板の厚さ方向に第1の改質領域を複数列形成することや、切断予定ラインに沿ってシリコン基板の厚さ方向

に第2の改質領域を複数列形成することが好ましい。これにより、シリコン基板の厚さ方向における第1の亀裂及び第2の亀裂並びに非改質領域の幅を、シリコン基板の厚さに応じて調整することができる。

[0013] また、改質領域は、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、又は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である溶融処理領域を含み、非改質領域は単結晶構造の領域である場合がある。

[0014] また、レーザ光の波長は1080nm以上であることが好ましい。この場合、シリコン基板における透過率が高くなるので、レーザ光の照射によって形成される第1の改質領域や第2の改質領域を大きくして、シリコン基板の厚さ方向に形成する改質領域の列数をより確実に減少させることができる。

[0015] また、シリコン基板の厚さ方向における非改質領域の幅がシリコン基板の厚さの10%~30%となるように、第1の改質領域及び第2の改質領域を形成することが好ましい。このように第1の改質領域及び第2の改質領域を形成すると、切断予定ラインに沿って加工対象物を切断した際に、加工対象物の主面における亀裂の蛇行や割れ残りを防止して、加工対象物を切断予定ラインに沿って精度良く且つ確実に切断することができる。

[0016] また、第1の改質領域を形成した後かつ第2の改質領域を形成する前に、第1の改質領域と第2の改質領域との間に介在させられる非改質領域に、改質領域として第3の改質領域を形成するときには、切断予定ラインと交差する方向に延在する第1の明度領域、及び切断予定ラインの延在方向において第1の明度領域の両側に隣接する第2の明度領域を有する品質パターンを含む変調パターンに基づいて、レーザ光を空間光変調器で変調することが好ましい。このようにして第3の改質領域を形成することで、改質領域の列数を減少させるべく1064nmよりも長い波長のレーザ光を使用しても、加工対象物の厚さ方向に改質領域を複数列形成する際に加工対象物の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止することができる。しかも、加工対象物に応力を生じさせると、第3の改質領域が形成されていない場合に比べ、改質

領域を起点として発生した亀裂が加工対象物の厚さ方向に容易に伸展するので、加工対象物を切断予定ラインに沿ってより精度良く切断することができる。

- [0017] また、第3の改質領域を形成するときには、変調パターンは、品質パターン、レーザ加工装置に生じる個体差を補正するための個体差補正パターン、並びに加工対象物の材料及び加工対象物のレーザ光入射面からレーザ光の集光点までの距離に応じて生じる球面収差を補正するための球面収差補正パターンを含み、第1の改質領域及び第2の改質領域を形成するときには、個体差補正パターン及び球面収差補正パターンを含む変調パターンに基づいて、レーザ光を空間光変調器で変調することが好ましい。この場合、第1の改質領域、第2の改質領域及び第3の改質領域のそれぞれが亀裂を発生させ易いものとなるため、切断予定ラインに沿って加工対象物の厚さ方向に形成する改質領域の列数をより確実に減少させることができる。

### 発明の効果

- [0018] 本発明によれば、切断予定ラインに沿ってシリコン基板の厚さ方向に形成する改質領域の列数を減少させることができると共に、シリコン基板を備える板状の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できる。

### 図面の簡単な説明

- [0019] [図1]改質領域の形成に用いられるレーザ加工装置の概略構成図である。  
[図2]改質領域の形成の対象となる加工対象物の平面図である。  
[図3]図2の加工対象物のIII-III線に沿っての断面図である。  
[図4]レーザ加工後の加工対象物の平面図である。  
[図5]図4の加工対象物のV-V線に沿っての断面図である。  
[図6]図4の加工対象物のVI-VI線に沿っての断面図である。  
[図7]レーザ加工後のシリコンウェハの切断面の写真を表した図である。  
[図8]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9] レーザ光のピークパワー密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10] 第1の実施形態に係る加工対象物切断方法が適用される加工対象物の平面図である。

[図11] 図10の加工対象物の切断予定ラインに沿っての一部断面図である。

[図12] 第1の実施形態に係る加工対象物切断方法を説明するための加工対象物の一部断面図である。

[図13] 第1の実施形態に係る加工対象物切断方法を説明するための加工対象物の一部断面図である。

[図14] 6列の改質領域を起点として厚さ625 $\mu\text{m}$ のシリコン基板を切断した場合のシリコン基板の切断面の写真を示す図である。

[図15] 図14のシリコン基板の切断面を裏面側から見た場合の写真を示す図である。

[図16] 比較例によって切断されたシリコン基板の切断面の写真を示す図である。

[図17] 図14の切断面と略直交する切断面の非改質領域に形成された凸部及び凹部の写真を示す図である。

[図18] 図17の凸部を示す模式図である。

[図19] 3列の改質領域を起点として厚さ300 $\mu\text{m}$ のシリコン基板を切断した場合のシリコン基板の切断面の写真を示す図である。

[図20] 3列の改質領域を起点として厚さ200 $\mu\text{m}$ のシリコン基板を切断した場合のシリコン基板の切断面の写真を示す図である。

[図21] 第2の実施形態に係る加工対象物切断方法が適用される加工対象物の平面図である。

[図22] 第2の実施形態に係る加工対象物切断方法の実施に用いられるレーザ加工装置の構成図である。

[図23] 図22の反射型空間光変調器の部分断面図である。

[図24] 図22のレーザ加工装置を備えるレーザ加工システムの構成図である。

。

[図25] 図 2 4 のレーザ加工システムにおいて用いられる品質パターンを示す図である。

[図26] 図 2 4 のレーザ加工システムにおいて実施されるレーザ加工方法の一例を示すフローチャートである。

[図27] 改質領域を起点として加工対象物を切断したときの切断面を示す第 1 の図である。

[図28] 改質領域を形成するためのレーザ光の集光スポットの模式図である。

[図29] 改質領域を起点として加工対象物を切断したときの切断面を示す第 2 の図である。

### 発明を実施するための形態

[0020] 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。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0021] 本実施形態に係る加工対象物切断方法においては、板状の加工対象物に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成する。そこで、まず、本実施形態に係る加工対象物切断方法における改質領域の形成について、図 1 ~ 図 9 を参照して説明する。

[0022] 図 1 に示すように、レーザ加工装置 100 は、レーザ光（加工用レーザ光）L をパルス発振するレーザ光源 101 と、レーザ光 L の光軸の向きを 90° 変えるように配置されたダイクロイックミラー 103 と、レーザ光 L を集光するための集光用レンズ 105 と、を備えている。また、レーザ加工装置 100 は、集光用レンズ 105 で集光されたレーザ光 L が照射される加工対象物 1 を支持するための支持台 107 と、支持台 107 を X、Y、Z 軸方向に移動させるためのステージ 111 と、レーザ光 L の出力やパルス幅等を調節するためにレーザ光源 101 を制御するレーザ光源制御部 102 と、ステージ 111 の移動を制御するステージ制御部 115 と、を備えている。

[0023] このレーザ加工装置 100 においては、レーザ光源 101 から出射されたレーザ光 L は、ダイクロイックミラー 103 によってその光軸の向きを 90° 変えられ、支持台 107 上に載置された加工対象物 1 の内部に集光レンズ 105 によって集光される。これと共に、ステージ 111 が移動させられ、加工対象物 1 がレーザ光 L に対して切断予定ライン 5 に沿って相対移動させられる。これにより、切断予定ライン 5 に沿って、切断の起点となる改質領域が加工対象物 1 に形成されることとなる。以下、この改質領域について詳細に説明する。

[0024] 図 2 に示すように、板状の加工対象物 1 には、加工対象物 1 を切断するための切断予定ライン 5 が設定されている。切断予定ライン 5 は、直線状に延びた仮想線である。加工対象物 1 の内部に改質領域を形成する場合、図 3 に示すように、加工対象物 1 の内部に集光点 P を合わせた状態で、レーザ光 L を切断予定ライン 5 に沿って（すなわち、図 2 の矢印 A 方向に）相対的に移動させる。これにより、図 4 ~ 図 6 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、切断予定ライン 5 に沿って形成された改質領域 7 が切断起点領域 8 となる。

[0025] 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 の表面 3 に実際に引かれた線であってもよい。また、改質領域 7 は、連続的に形成される場合もあるし、断続的に形成される場合もある。また、改質領域 7 は少なくとも加工対象物 1 の内部に形成されていればよい。また、改質領域 7 を起点に亀裂が形成される場合があり、亀裂及び改質領域 7 は、加工対象物 1 の外表面（表面、裏面、若しくは外周面）に露出しているてもよい。

[0026] ここでは、レーザ光 L が加工対象物 1 を透過すると共に加工対象物 1 の内部の集光点近傍にて特に吸収され、これにより、加工対象物 1 に改質領域 7 が形成される（内部吸収型レーザ加工）。よって、加工対象物 1 の表面 3 ではレーザ光 L が殆ど吸収されないので、加工対象物 1 の表面 3 が熔融するこ

とはない。一般的に、表面 3 から溶融され除去されて穴や溝等の除去部が形成される場合、加工領域は表面 3 側から徐々に裏面側に進行する（表面吸収型レーザ加工）。

[0027] ところで、本実施形態に係る加工対象物切断方法にて形成される改質領域は、密度、屈折率、機械的強度やその他の物理的特性が周囲とは異なる状態になった領域をいう。例えば、（１）溶融処理領域、（２）クラック領域、絶縁破壊領域、（３）屈折率変化領域等があり、これらが混在した領域もある。

[0028] 本実施形態に係る加工対象物切断方法における改質領域は、レーザ光の局所的な吸収や多光子吸収という現象により形成される。多光子吸収とは、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ため、材料に吸収が生じる条件は  $h\nu > E_g$  であるが、光学的に透明でも、レーザ光  $L$  の強度を非常に大きくすると  $n h\nu > E_g$  の条件（ $n = 2, 3, 4, \dots$ ）で材料に吸収が生じる現象をいう。多光子吸収による溶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。

[0029] また、D. Du, X. Liu, G. Korn, J. Squier, and G. Mourou, "Laser Induced Breakdown by Impact Ionization in  $SiO_2$  with Pulse Widths from 7ns to 150fs", Appl Phys Lett 64(23), Jun. 6, 1994 に記載されているようにパルス幅が数ピコ秒からフェムト秒の超短パルスレーザ光を利用することにより形成される改質領域を利用してもよい。

（１）改質領域が溶融処理領域を含む場合

[0030] 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  $1 \times 10^8$  ( $W/cm^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \mu s$  以下の条件でレーザ光  $L$  を照射する。これにより、集光点近傍にてレーザ光  $L$  が吸収されて加工対象物の内部が局所的に加熱され、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。

- [0031] 溶融処理領域とは、一旦溶融後再固化した領域や、まさに溶融状態の領域や、溶融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、溶融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、溶融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。
- [0032] 図7は、レーザ光が照射されたシリコンウェハ（半導体基板）の一部における断面の写真を表した図である。図7に示すように、半導体基板11の内部に溶融処理領域13が形成されている。
- [0033] 入射するレーザ光の波長に対して透過性の材料の内部に溶融処理領域13が形成されたことを説明する。図8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線図である。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。
- [0034] 例えば、Nd:YAGレーザの波長である $1064\text{nm}$ 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光Lが80%以上透過することが分かる。図7に示す半導体基板11の厚さは $350\mu\text{m}$ であるので、溶融処理領域13は半導体基板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、レーザ光Lが半導体基板11の内部で吸収されるのは僅かであり、殆どが透過する。しかし、 $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が $1\mu\text{s}$ 以下の条件でレーザ光Lをシリコンウェハ内部に集光することで集光点とその近傍で局所的にレーザ光が吸収され溶融処理領域13が半導体基板11の内部に形成される。
- [0035] なお、シリコンウェハには、溶融処理領域を起点として亀裂が発生する場

合がある。また、溶融処理領域に亀裂が内包されて形成される場合があり、この場合には、その亀裂が、溶融処理領域においての全面に渡って形成されていたり、一部分のみや複数部分に形成されていたりすることがある。更に、この亀裂は、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。溶融処理領域から亀裂が自然に成長する場合には、溶融処理領域が溶融している状態から成長する場合と、溶融処理領域が溶融している状態から再固化する際に成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も溶融処理領域はシリコンウェハの内部に形成され、切断面においては、図7に示すように、内部に溶融処理領域が形成されている。

#### (2) 改質領域がクラック領域を含む場合

[0036] 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 μs以下の条件でレーザ光Lを照射する。このパルス幅の大きさは、加工対象物の内部にレーザ光Lが吸収されてクラック領域が形成される条件である。これにより、加工対象物の内部には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、1つ又は複数のクラックを含むクラック領域が形成される。クラック領域は絶縁破壊領域とも言える。

[0037] 図9は、電界強度とクラックの大きさとの関係の実験結果を示す線図である。横軸はピークパワー密度であり、レーザ光L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L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 $10^{11}$  ( $W/cm^2$ )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。

(3) 改質領域が屈折率変化領域を含む場合

[0038] 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 $1 \times 10^8$  ( $W/cm^2$ )以上で且つパルス幅が $1\text{ ns}$ 以下の条件でレーザ光Lを照射する。このように、パルス幅が極めて短い状態で加工対象物の内部にレーザ光Lが吸収されると、そのエネルギーが熱エネルギーに転化せず、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、屈折率変化領域が形成される。

[0039] なお、改質領域とは、熔融処理領域、絶縁破壊領域、屈折率変化領域等やそれらが混在した領域を含めて、その材料において改質領域の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域であったり、格子欠陥が形成された領域であったりする。これらをまとめて高密転移領域と言うこともできる。

[0040] また、熔融処理領域や屈折率変化領域、改質領域の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域、格子欠陥が形成された領域は、更にそれら領域の内部や改質領域と非改質領域との界面に亀裂（割れ、マイクロクラック）を内包している場合がある。内包される亀裂は改質領域の全面に渡る場合や一部分のみや複数部分に形成される場合がある。

[0041] ちなみに、加工対象物の結晶構造やその劈開性等を考慮して、改質領域を次のように形成すれば、精度よく加工対象物を切断することが可能になる。

[0042] また、上述した改質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）、或いは改質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、改質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。

[0043] 次に、本実施形態に係る加工対象物切断方法について説明する。

[第1の実施形態]

- [0044] 図10は、第1の実施形態に係る加工対象物切断方法が適用される加工対象物の平面図であり、図11は、図10の加工対象物の切断予定ラインに沿っての一部断面図である。図10及び11に示すように、板状の加工対象物1はシリコン基板12を備えている。加工対象物1の表面（すなわち、シリコン基板12の表面）12aには、複数の機能素子を含んで機能素子層（図示せず）が形成されている。
- [0045] シリコン基板12は単結晶構造を採り、表面12aを（100）面として、オリエンテーションフラット6に平行な面が（110）面となっている。機能素子は、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、シリコン基板12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。
- [0046] 以上のように構成された加工対象物1に対して、第1の実施形態に係る加工対象物切断方法が適用される。
- [0047] まず、図11に示すように、加工対象物1の表面12aにエキスパンドテープ23を貼り付ける。続いて、加工対象物1の裏面（すなわち、シリコン基板12の裏面）12bを上側にして加工対象物1をレーザ加工装置の支持台（図示せず）上に固定する。そして、図10に示すように、隣り合う機能素子間を通る切断予定ライン5を、オリエンテーションフラット6に垂直な方向及び平行な方向に格子状に設定する。
- [0048] 続いて、図12に示すように、加工対象物1の裏面12bをレーザ光入射面としてシリコン基板12の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射し、支持台の移動によって、オリエンテーションフラット6に垂直な方向及び平行な方向に格子状に設定された各切断予定ライン5に沿って集光点Pを相対的に移動させる。この各切断予定ライン5に沿った集光点Pの相対的な移動を1本の切断予定ライン5に対して複数回行うが、集光点Pを合わせる位置の裏面12bからの距離を各回で変えることにより、表面12a側から順に、1本の切断予定ライン5に対して複数列の改質領域7をシリコン基板1

2の内部に1列ずつ形成する。

[0049] なお、レーザ光Lの波長は1080nm以上であることが好ましい。波長1080nm以上のレーザ光Lを使用すると、シリコン基板12における透過率が高くなるので、レーザ光Lの照射によって形成される改質領域7を大きくして、シリコン基板12の厚さ方向に形成する改質領域7の列数を減少させることができ、タクトタイムの短縮化を図ることが可能となる。

[0050] 望ましくは、レーザ光Lの波長は、シリコン基板12の厚さに対してシリコン基板12の表面12a及び裏面12bのそれぞれの反射成分を除去した内部の透過率が90%以上となる波長であることが好ましい。ダイシング装置では、ウェハの厚さに応じたレーザ光源を複数台搭載することは現実的ではなく、本発明のように精密な加工が可能で且つウェハの厚さに応じて波長を可変し得るレーザ光源は存在しない。また、ダイシング装置には、薄いウェハから厚いウェハまで、あらゆる厚さのウェハを切断することが求められる。従って、厚いウェハを基準として透過率が90%以上となる波長のレーザ光源を用いることが好ましい。想定される厚いウェハとして厚さとして300 $\mu$ m以上が考えられるので、この300 $\mu$ mの厚さのシリコンウェハの透過率が約90%ある1080nm以上の波長のレーザ光、更にウェハの厚さが500 $\mu$ mであれば、1100nm以上の波長のレーザをダイシング装置に適用することが望ましい。

[0051] ここで、オリエンテーションフラット6に平行な切断予定ライン5に沿った改質領域7の形成について、より詳細に説明する。図12に示すように、まず、表面12a側から順に、1本の切断予定ライン5に対して複数列（ここでは、4列）の改質領域（第1の改質領域）7aをシリコン基板12の内部に1列ずつ形成し、これにより、切断予定ライン5に沿って改質領域7aから加工対象物1の表面12aに亀裂（第1の亀裂）17aを生じさせる。続いて、改質領域7aに対して加工対象物1の裏面12b側に、改質領域7aとの間に非改質領域2が介在するように、1本の切断予定ライン5に対して複数列（ここでは、2列）の改質領域（第2の改質領域）7bをシリコン

基板 12 の内部に 1 列ずつ形成し、これにより、非改質領域 2 において亀裂 17 a と繋がらないように、切断予定ライン 5 に沿って改質領域 7 b から加工対象物 1 の裏面 12 b に亀裂（第 2 の亀裂） 17 b を生じさせる。このとき、亀裂 17 a と亀裂 17 b とは、非改質領域 2 において繋がっていない。すなわち、切断は完了しておらず、加工対象物 1 は切断予定ライン 5 に沿って完全に切断されていない。

[0052] なお、非改質領域 2 は単結晶構造の領域である。これに対し、改質領域 7 a, 7 b は、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、又は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である熔融処理領域を含む。

[0053] 改質領域 7 の形成に続いて、図 13 に示すように、エキスパンドテープ 23 を拡張させる。エキスパンドテープの拡張に伴い、加工対象物 1 に拡張方向に力が作用し、改質領域 7 を起点として加工対象物 1 がチップ状に切断されて、1 個の機能素子を有する半導体チップ 25 が多数得られる。このとき、エキスパンドテープ 23 が拡張させられた状態にあるため、各半導体チップ 25 が互いに離間することになる。

[0054] ここで、オリエンテーションフラット 6 に平行な切断予定ライン 5 においては、図 13 に示すように、エキスパンドテープ 23 を拡張させて加工対象物 1 に応力を生じさせることにより、非改質領域 2 において亀裂 17 a と亀裂 17 b とを繋げて、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 を半導体チップ 25 に切断する。このとき、切断予定ライン 5 に沿って切断された加工対象物 1 の一对の切断面 12 c, 12 c のうち、一方の切断面 12 c の非改質領域 2 には、シリコン基板 12 の厚さ方向と略直交する方向に延在する凸部 18 が形成され、他方の切断面 12 c の非改質領域 2 には、凸部 18 と相補的な関係を有する凹部 19 が形成される。

[0055] なお、上述したように、シリコン基板 12 の表面 12 a が (100) 面であり、オリエンテーションフラット 6 に平行な面が (110) 面であるから、オリエンテーションフラット 6 に平行な切断予定ライン 5 においては、切

断面12cは(110)面となる。このとき、凸部18及び凹部19はそれぞれ断面V字状に形成され、凸部18及び凹部19を形成する斜面は(111)面となる。なお、改質領域7と表面12a(若しくは、裏面12b)との間に形成される亀裂は結晶面とは異なる方向に形成され、改質領域7と改質領域7との間の非改質領域2の一部分には結晶面に沿った方向に割れが発生(劈開)することでウェハは切断される。

[0056] 以上説明したように、第1の実施形態に係る加工対象物切断方法においては、改質領域7aと改質領域7bとの間に非改質領域2を介在させた状態で、改質領域7aから加工対象物1の表面12aに亀裂17aを生じさせ、改質領域7bから加工対象物1の裏面12bに亀裂17bを生じさせる。これにより、シリコン基板12の厚さ方向に改質領域7を複数列形成する際に、その改質領域7の列数を減少させるべく波長1064nm以上のレーザ光Lを使用しても、シリコン基板12の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止することができる。そして、第1の実施形態に係る加工対象物切断方法においては、加工対象物1に応力を生じさせることで、非改質領域2において亀裂17aと亀裂17bとを繋げて加工対象物1を切断する。これにより、加工対象物1の裏面12bにおける亀裂の蛇行等を防止して、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って精度良く切断することができる。以上のように、第1の実施形態に係る加工対象物切断方法によれば、切断予定ライン5に沿ってシリコン基板12の厚さ方向に形成する改質領域7の列数を減少させることができると共に、シリコン基板12を備える板状の加工対象物1を切断予定ライン5に沿って精度良く切断することができる。

[0057] また、第1の実施形態に係る加工対象物切断方法においては、切断予定ライン5に沿って切断された加工対象物1の一对の切断面12c、12cのうち、一方の切断面12cの非改質領域2に、シリコン基板12の厚さ方向と略直交する方向に延在する凸部18が形成され、他方の切断面12cの非改質領域2に、凸部18に対応する凹部19が形成されるように、改質領域7a、7bを形成する。同時に、第1の実施形態に係る加工対象物切断方法に

においては、シリコン基板 12 の表面 12 a を (100) 面として、切断面 12 c が (110) 面となり、凸部 18 及び凹部 19 を形成する面が (111) 面となるように、改質領域 7 a, 7 b を形成する。このように改質領域 7 a, 7 b を形成することで、加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って精度良く切断することができるだけでなく、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 を切断した際に、凸部 18 の高さ及び凹部 19 の深さを抑えて、滑らかな切断面 12 b を得ることができる。

[0058] なお、凸部 18 及び凹部 19 は、切断面 12 c において改質領域 7 a と改質領域 7 b との間に介在させられる非改質領域 2 のみに形成されることが好ましい。例えば、シリコン基板 12 の厚さ方向において隣り合う改質領域 7 a, 7 a の間や隣り合う改質領域 7 b, 7 b の間に凸部 18 や凹部 19 が形成されることは、切断精度の低下という点で好ましくない。また、加工対象物 1 の表面 12 a と改質領域 7 a との間や加工対象物 1 の裏面 12 b と改質領域 7 b との間に凸部 18 や凹部 19 が形成されることは、チップングやクラッキングの発生という点で好ましくない。

[0059] 次に、本発明に係る加工対象物切断方法の実施例について説明する。

[0060] 図 14 は、6 列の改質領域を起点として厚さ  $625\ \mu\text{m}$  のシリコン基板を切断した場合のシリコン基板の切断面の写真を示す図である。図 14 に示すように、シリコン基板 12 の切断面 12 c には、切断予定ラインに沿ってシリコン基板 12 の厚さ方向に並ぶように、シリコン基板 12 の表面 12 a に亀裂を生じさせる改質領域  $7a_1 \sim 7a_4$ 、及びシリコン基板 12 の裏面 12 b に亀裂を生じさせる改質領域  $7b_5, 7b_6$  が形成されている。また、切断面 12 c において改質領域  $7a_4$  と改質領域  $7b_5$  との間の非改質領域 2 には、凸部 18 が形成されている。なお、表面 12 a は (100) 面であり、切断面 12 c は (110) 面であって、このとき、凸部 18 を形成する面は (111) 面となった。

[0061] 各改質領域  $7a_1 \sim 7a_4, 7b_5, 7b_6$  を形成するに際しては、シリコン基板 12 の裏面 12 b をレーザ光入射面として、波長  $1342\ \text{nm}$  のレーザ光

Lをパルス幅90ns、周波数90kHzでパルス発振させ、シリコン基板12に対してレーザ光Lの集光点Pを切断予定ラインに沿って加工速度340mm/sで相対的に移動させた。これにより、1パルスのレーザ光Lの照射によって形成される改質スポット間の距離（加工ピッチ）は3.78μmとなっている。その他の条件は表1に示す通りである。なお、表1において、集光点位置は、レーザ光入射面であるシリコン基板12の裏面12bから、レーザ光Lの集光点Pが合わされる位置までの距離であり、改質領域の幅は、シリコン基板12の厚さ方向における改質領域の幅の平均値である（後述する表3及び4においても同様）。

[表1]

	集光点位置 (μm)	改質領域の幅 (μm)	レーザ光のエネルギー (μJ)
改質領域7a <sub>1</sub>	593	56	15
改質領域7a <sub>2</sub>	523	56	15
改質領域7a <sub>3</sub>	422	53	15
改質領域7a <sub>4</sub>	306	50	15
改質領域7b <sub>5</sub>	162	36	8
改質領域7b <sub>6</sub>	92	33	8

[0062] この実施例によれば、図15に示すように、対向する一对の切断面12c、12cに生じる蛇行が裏面12bにおいて最大3μm程度に収まり、シリコン基板12の切断精度が維持された。また、切断面12cの非改質領域2に凸部18（或いは、凹部19）が形成されることで、シリコン基板12を切断することにより得られたチップの抗折強度が向上した。

[0063] これに対し、図16（a）に示すように、切断予定ラインに沿ってシリコン基板12の厚さ方向に改質領域7を7列形成すると、図16（b）に示すように、対向する一对の切断面12c、12cに生じる蛇行が裏面12bにおいて最大20μm程度となり、シリコン基板12の切断精度が低下した。

[0064] これは、波長1342nmのレーザ光Lの使用により、改質領域7が大きくなる一方で、シリコン基板12の厚さ方向に改質領域7を7列形成する際に、シリコン基板12の表面12aから裏面12bに亀裂が連続的に進行するからである（つまり、上述した実施例のように、非改質領域2において亀

裂 17 a と亀裂 17 b との繋がりが断たれるということがないからである)。そして、シリコン基板 12 の表面 12 a から裏面 12 b に亀裂が連続的に進行すると、図 16 (a) に示すように、裏面 12 b に最も近い最後の改質領域 7 を形成する際に、方向性の制御が困難な割れであるツイストハックル TH が発生し、そのツイストハックル TH が裏面 12 b に到達して、裏面 12 b において切断面 12 c の蛇行が大きくなってしまふ。なお、裏面 12 b において切断面 12 c の蛇行が大きくなると、切断面 12 c からのパーティクルの発生量が多くなるという問題も生じる。

[0065] 図 17 は、図 14 の切断面と略直交する切断面の非改質領域に形成された凸部及び凹部の写真を示す図である。図 17 に示すように、シリコン基板 12 の一对の切断面 12 c、12 c のうち、一方の切断面 12 c の非改質領域 2 には、シリコン基板 12 の厚さ方向と略直交する方向に延在する断面 V 字状の凸部 18 が形成され、他方の切断面 12 c の非改質領域 2 には、凸部 18 と相補的な関係を有する断面 V 字状の凹部 19 が形成された。

[0066] 図 18 は、図 17 の凸部を示す模式図である。図 18 に示すように、凸部 18 の高さを X とし、シリコン基板 12 の厚さ方向における凸部 18 の幅を Y とすると、表 2 に示す結果が得られた。なお、凸部 18 を形成する斜面 ( (111) 面 ) が切断面 12 c ( (110) 面 ) に対してなす角度は 35.3° である。

[表2]

	X (μm)	Y (μm)	切断精度	割れ残り
#1	0	0	不良	なし
#2	2	6	良好	なし
#3	4	11	良好	なし
#4	6	17	良好	なし
#5	8	23	不良	なし
#6	10	28	不良	あり

[0067] 表 2 に示すように、#1 の場合には、切断面 12 c に生じる蛇行が裏面 12 b において最大 20 μm 程度となり、切断精度について不良との結果が得られた。また、#5 及び #6 の場合には、切断面 12 c における凹凸が 8 μ

mを超えることから、切断精度について不良との結果が得られた。更に、#6の場合には、割れ残り（格子状に設定された全ての切断予定ラインに沿ってシリコン基板12が完全に切断されない現象）が生じた。

[0068] これらに対し、#2～#4の場合には、切断精度について良好との結果が得られると共に、割れ残りも生じなかった。従って、凸部18の高さが $2\mu\text{m}$ ～ $6\mu\text{m}$ となり、シリコン基板12の厚さ方向における凸部18の幅が $6\mu\text{m}$ ～ $17\mu\text{m}$ となるように、改質領域7a、7bを形成することが好ましい。このように改質領域7a、7bを形成することで、切断予定ラインに沿ってシリコン基板12を切断した際に、シリコン基板12の裏面12bにおける亀裂の蛇行等を防止することができるばかりでなく、割れ残りを防止することができる。

[0069] 図19は、3列の改質領域を起点として厚さ $300\mu\text{m}$ のシリコン基板を切断した場合のシリコン基板の切断面の写真を示す図である。図19に示すように、シリコン基板12の切断面12cには、切断予定ラインに沿ってシリコン基板12の厚さ方向に並ぶように、シリコン基板12の表面12aに亀裂を生じさせる改質領域7a<sub>1</sub>、及びシリコン基板12の裏面12bに亀裂を生じさせる改質領域7b<sub>2</sub>、7b<sub>3</sub>が形成されている。また、切断面12cにおいて改質領域7a<sub>1</sub>と改質領域7b<sub>2</sub>との間の非改質領域2には、凸部18が形成されている。なお、表面12aは(100)面であり、切断面12cは(110)面であって、このとき、凸部18を形成する面は(111)面となった。

[0070] 各改質領域7a<sub>1</sub>、7b<sub>2</sub>、7b<sub>3</sub>を形成するに際しては、シリコン基板12の裏面12bをレーザ光入射面として、波長 $1342\text{nm}$ のレーザ光Lをパルス幅 $90\text{ns}$ 、周波数 $90\text{kHz}$ でパルス発振させ、シリコン基板12に対してレーザ光Lの集光点Pを切断予定ラインに沿って加工速度 $340\text{mm/s}$ で相対的に移動させた。これにより、1パルスのレーザ光Lの照射によって形成される改質スポット間の距離（加工ピッチ）は $3.78\mu\text{m}$ となっている。その他の条件は表3に示す通りである。

[表3]

	集光点位置 ( $\mu\text{m}$ )	改質領域の幅 ( $\mu\text{m}$ )	レーザ光のエネルギー ( $\mu\text{J}$ )
改質領域 7a <sub>1</sub>	253	43	12
改質領域 7b <sub>2</sub>	163	36	8
改質領域 7b <sub>3</sub>	92	30	8

[0071] また、図20は、3列の改質領域を起点として厚さ200 $\mu\text{m}$ のシリコン基板を切断した場合のシリコン基板の切断面の写真を示す図である。図20に示すように、シリコン基板12の切断面12cには、切断予定ラインに沿ってシリコン基板12の厚さ方向に並ぶように、シリコン基板12の表面12aに亀裂を生じさせる改質領域7a<sub>1</sub>、及びシリコン基板12の裏面12bに亀裂を生じさせる改質領域7b<sub>2</sub>、7b<sub>3</sub>が形成されている。また、切断面12cにおいて改質領域7a<sub>1</sub>と改質領域7b<sub>2</sub>との間の非改質領域2には、凸部18が形成されている。なお、表面12aは(100)面であり、切断面12cは(110)面であって、このとき、凸部18を形成する面は(111)面となった。

[0072] 各改質領域7a<sub>1</sub>、7b<sub>2</sub>、7b<sub>3</sub>を形成するに際しては、シリコン基板12の裏面12bをレーザ光入射面として、波長1342nmのレーザ光Lをパルス幅90ns、周波数90kHzでパルス発振させ、シリコン基板12に対してレーザ光Lの集光点Pを切断予定ラインに沿って加工速度340mm/sで相対的に移動させた。これにより、1パルスのレーザ光Lの照射によって形成される改質スポット間の距離(加工ピッチ)は3.78 $\mu\text{m}$ となっている。その他の条件は表4に示す通りである。

[表4]

	集光点位置 ( $\mu\text{m}$ )	改質領域の幅 ( $\mu\text{m}$ )	レーザ光のエネルギー ( $\mu\text{J}$ )
改質領域 7a <sub>1</sub>	178	29	6
改質領域 7b <sub>2</sub>	103	22	4
改質領域 7b <sub>3</sub>	60	20	4

[0073] これらの実施例によれば、非改質領域2において亀裂17aと亀裂17bとの繋がりを断ち、シリコン基板12を切断予定ラインに沿って切断良く切

断することができた。

[0074] 以上の実施例で説明したように、シリコン基板 12 の厚さ方向に形成する改質領域 7 の列数を減少させるために波長 1064 nm 以上のレーザ光 L を使用した場合において、シリコン基板 12 を切断予定ラインに沿って切断良く切断するためには、非改質領域 2 において亀裂 17 a と亀裂 17 b との繋がりを断つことが重要である。このような非改質領域 2 を形成するための条件を表 5 に示す。なお、表 5 において、非改質領域の幅は、シリコン基板 12 の厚さ方向における非改質領域 2 の幅（すなわち、シリコン基板 12 の表面 12 a に亀裂を生じさせる改質領域 7 a のうち最も裏面 12 b 側に位置する改質領域 7 a（ただし、改質領域 7 a が 1 列の場合にはその改質領域 7 a）における裏面 12 b 側の端部と、シリコン基板 12 の裏面 12 b に亀裂を生じさせる改質領域 7 b のうち最も表面 12 a 側に位置する改質領域 7 b（改質領域 7 b が 1 列の場合にはその改質領域 7 b）における表面 12 a 側の端部との距離）の平均値である。

[表5]

シリコン基板の厚さ ( $\mu\text{m}$ )	改質領域 7 a の 列数	改質領域 7 b の 列数	非改質領域の幅 ( $\mu\text{m}$ )
625	4~5	12~20	70~110
300	1~2	8~13	34~ 64
200	1~2	5~ 8	32~ 54

[0075] 表 5 に示すように、シリコン基板 12 の厚さ方向における非改質領域 2 の幅がシリコン基板 12 の厚さの 10%~30% となるように、改質領域 7 a、7 b を形成することが好ましい。このように改質領域 7 a、7 b を形成すると、切断予定ラインに沿ってシリコン基板 12 を切断した際に、シリコン基板 12 の裏面 12 b における亀裂の蛇行や割れ残りを防止して、シリコン基板 12 を切断予定ラインに沿って精度良く且つ確実に切断することができる。

[0076] 本発明は、上述した第 1 の実施形態に限定されるものではない。例えば、上記第 1 の実施形態では、加工対象物 1 の裏面 12 b をレーザ光入射面としたが、加工対象物 1 の表面 12 a をレーザ光入射面としてもよい。

## [第2の実施形態]

- [0077] 図21は、第2の実施形態に係る加工対象物切断方法が適用される加工対象物の平面図である。図21に示されるように、板状の加工対象物1は、シリコン基板11と、シリコン基板11の表面11a上に形成された機能素子層16と、を備えている。
- [0078] 機能素子層16は、シリコン基板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複数形成された機能素子15を含んでいる。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る。
- [0079] 加工対象物1には、隣り合う機能素子15、15間を通るように切断予定ライン5が格子状に設定される。加工対象物1は、切断予定ライン5に沿って切断され、切断された個々のチップは、1個の機能素子15を有する半導体装置となる。
- [0080] 図22は、第2の実施形態に係る加工対象物切断方法の実施に用いられるレーザ加工装置の構成図である。図22に示されるように、レーザ加工装置300は、レーザ光源202、反射型空間光変調器203、4f光学系241及び集光光学系204を備えている。反射型空間光変調器203、4f光学系241及び集光光学系204は筐体234内に收容されており、レーザ光源202は、筐体234を含む筐体231内に收容されている。
- [0081] レーザ光源202は、例えば波長1080nm以上のパルスレーザ光であるレーザ光Lを出射するものであり、例えばファイバレーザが用いられている。ここでのレーザ光源202は、水平方向にレーザ光Lを出射するように、筐体234の天板236にねじ等で固定されている。
- [0082] 反射型空間光変調器203は、レーザ光源202から出射されたレーザ光Lを変調するものであり、例えば反射型液晶(LCOS: Liquid Crystal on Silicon)の空間光変調器(SLM: Spatial Light Modulator)が用いられている。ここでの反射型空間光変調器203は、水平方向から入射す

るレーザ光Lを水平方向に対し斜め上方に反射しつつ変調する。

[0083] 図23は、図22の反射型空間光変調器の部分断面図である。図23に示されるように、反射型空間光変調器203は、シリコン基板213、駆動回路層914、複数の画素電極214、誘電体多層膜ミラー等の反射膜215、配向膜999a、液晶層216、配向膜999b、透明導電膜217、及びガラス基板等の透明基板218を備え、これらがこの順に積層されている。

[0084] 透明基板218は、XY平面に沿った表面218aを有しており、該表面218aは反射型空間光変調器203の表面を構成する。透明基板218は、例えばガラス等の光透過性材料を主に含んでおり、反射型空間光変調器203の表面218aから入射した所定波長のレーザ光Lを、反射型空間光変調器203の内部へ透過する。透明導電膜217は、透明基板218の裏面218b上に形成されており、レーザ光Lを透過する導電性材料（例えばITO）を主に含んで構成されている。

[0085] 複数の画素電極214は、複数の画素の配列に従って二次元状に配列されており、透明導電膜217に沿ってシリコン基板213上に配列されている。各画素電極214は、例えばアルミニウム等の金属材料からなり、これらの表面214aは、平坦かつ滑らかに加工されている。複数の画素電極214は、駆動回路層914に設けられたアクティブ・マトリクス回路によって駆動される。

[0086] アクティブ・マトリクス回路は、複数の画素電極214とシリコン基板213との間に設けられ、反射型空間光変調器203から出力しようとする光像に応じて各画素電極214への印加電圧を制御する。このようなアクティブ・マトリクス回路は、例えば図示しないX軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第1のドライバ回路と、Y軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第2のドライバ回路とを有しており、制御部250によって双方のドライバ回路で指定された画素の画素電極214に所定電圧が印加されるよう構成されている。

- [0087] なお、配向膜 999 a, 999 b は、液晶層 216 の両端面に配置されており、液晶分子群を一定方向に配列させる。配向膜 999 a, 999 b は、例えばポリイミドといった高分子材料からなり、液晶層 216 との接触面にラビング処理等が施されたものが適用される。
- [0088] 液晶層 216 は、複数の画素電極 214 と透明導電膜 217 との間に配置されており、各画素電極 214 と透明導電膜 217 とにより形成される電界に応じてレーザ光 L を変調する。すなわち、アクティブ・マトリクス回路によって或る画素電極 214 に電圧が印加されると、透明導電膜 217 と該画素電極 214 との間に電界が形成される。
- [0089] この電界は、反射膜 215 及び液晶層 216 のそれぞれに対し、各々の厚さに応じた割合で印加される。そして、液晶層 216 に印加された電界の大きさに応じて液晶分子 216 a の配列方向が変化する。レーザ光 L が透明基板 218 及び透明導電膜 217 を透過して液晶層 216 に入射すると、このレーザ光 L は液晶層 216 を通過する間に液晶分子 216 a によって変調され、反射膜 215 において反射した後、再び液晶層 216 により変調されてから取り出されることとなる。
- [0090] これにより、変調パターン（変調用画像）に入射し透過するレーザ光 L にあつては、その波面が調整され、該レーザ光 L を構成する各光線において進行方向に直交する所定方向の成分の位相にずれが生じる。
- [0091] 図 22 に戻り、4f 光学系 241 は、反射型空間光変調器 203 によって変調されたレーザ光 L の波面形状を調整するものである。この 4f 光学系 241 は、第 1 レンズ 241 a 及び第 2 レンズ 241 b を有している。
- [0092] レンズ 241 a, 241 b は、反射型空間光変調器 203 と第 1 レンズ 241 a との距離（光路長）が第 1 レンズ 241 a の焦点距離  $f_1$  となり、集光光学系 204 とレンズ 241 b との距離（光路長）がレンズ 241 b の焦点距離  $f_2$  となり、第 1 レンズ 241 a と第 2 レンズ 241 b との距離（光路長）が  $f_1 + f_2$  となり、かつ第 1 レンズ 241 a と第 2 レンズ 241 b とが両側テレセントリック光学系となるように、反射型空間光変調器 203

と集光光学系204との間に配置されている。この4f光学系241によれば、反射型空間光変調器203で変調されたレーザ光Lの波面形状が空間伝播によって変化し収差が増大するのを抑制することができる。

[0093] 集光光学系204は、4f光学系241によって変調されたレーザ光Lを加工対象物1の内部に集光するものである。この集光光学系204は、複数のレンズを含んで構成されており、圧電素子等を含んで構成された駆動ユニット232を介して筐体234の底板233に設置されている。

[0094] また、レーザ加工装置300は、加工対象物1の表面3を観察するための表面観察ユニット211と、集光光学系204と加工対象物1との距離を微調整するためのAF (AutoFocus) ユニット212と、を筐体231内に備えている。

[0095] 表面観察ユニット211は、可視光VL1を出射する観察用光源211aと、加工対象物1の表面3で反射された可視光VL1の反射光VL2を受光して検出する検出器211bと、を有している。表面観察ユニット211では、観察用光源211aから出射された可視光VL1が、ミラー208及びダイクロイックミラー209、210、238で反射・透過され、集光光学系204で加工対象物に向けて集光される。そして、加工対象物1の表面3で反射された反射光VL2が、集光光学系204で集光されてダイクロイックミラー238、210で透過・反射された後、ダイクロイックミラー209を透過して検出器211bにて受光される。

[0096] AFユニット212は、AF用レーザ光LB1を出射し、加工対象物1の表面3で反射されたAF用レーザ光LB1の反射光LB2を受光し検出することで、切断予定ライン5に沿った表面3の変位データ（加工対象物1の厚さ方向における表面3の位置（高さ）データ）を取得する。そして、AFユニット212は、改質領域7を形成する際、取得した変位データに基づいて駆動ユニット232を駆動させ、加工対象物1の表面3のうねりに沿うように集光光学系204をその光軸方向に往復移動させる。

[0097] 更に、レーザ加工装置300は、該レーザ加工装置300を制御するため

のものとして、CPU、ROM、RAM等からなる制御部250を備えている。この制御部250は、レーザ光源202を制御し、レーザ光源202から出射されるレーザ光Lの出力やパルス幅等を調節する。また、制御部250は、改質領域7を形成する際、レーザ光Lの同時集光位置が加工対象物1の表面3から所定距離に位置しかつ切断予定ライン5に沿って相対的に移動するように、筐体231やステージ111の位置、及び駆動ユニット232の駆動を制御する。

[0098] また、制御部250は、改質領域7を形成する際、反射型空間光変調器203における各画素電極214と透明導電膜217との間に所定電圧を印加し、液晶層216に所定の変調パターンを表示させる。これにより、レーザ光Lを反射型空間光変調器203で所望に変調することができる。

[0099] ここで、レーザ加工装置300を用いて加工対象物1を加工する場合について説明する。一例として、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を照射することにより、切断予定ライン5に沿って、切断の起点となる改質領域7を加工対象物1の内部に形成する場合について説明する。

[0100] まず、加工対象物1の裏面21にエキスパンドテープを貼り付け、該加工対象物1をステージ111上に載置する。続いて、加工対象物1の表面3をレーザ光照射面として加工対象物1にレーザ光Lをパルス照射しながら、加工対象物1とレーザ光Lとを切断予定ライン5に沿って相対移動（スキャン）させ、改質領域7を形成する。

[0101] すなわち、レーザ加工装置300においては、レーザ光源202から出射されたレーザ光Lは、筐体231内において水平方向に進行した後、ミラー205aによって下方に反射され、アッテネータ207によって光強度が調整される。このレーザ光Lは、ミラー205bによって水平方向に反射され、ビームホモジナイザ260によって強度分布が均一化されて反射型空間光変調器203に入射する。

[0102] 反射型空間光変調器203に入射したレーザ光Lは、液晶層216に表示

された変調パターンを透過し該変調パターンに応じて変調された後、水平方向に対し斜め上方に出射される。続いて、レーザ光Lは、ミラー206aによって上方に反射された後、 $\lambda/2$ 波長板228によって偏光方向が切断予定ライン5に沿う方向となるよう変更され、ミラー206bによって水平方向に反射されて4f光学系241に入射される。

[0103] 続いて、集光光学系204に入射するレーザ光Lが平行光となるように波面形状が調整される。具体的には、レーザ光Lは、第1レンズ241aを透過し収束され、ミラー219によって下方へ反射され、共焦点Oを経て発散する。発散したレーザ光Lは、第2レンズ241bを透過し、平行光となるように再び収束される。

[0104] 続いて、レーザ光Lは、ダイクロイックミラー210, 218を順次透過して集光光学系204に入射し、ステージ111上に載置された加工対象物1の内部に集光光学系204によって集光される。その結果、加工対象物1内の厚さ方向の所定深さに、改質スポットが形成される。

[0105] そして、レーザ光Lの集光点Pを切断予定ライン5に沿って相対移動させ、複数の改質スポットによって改質領域7を形成する。その後、エキスパンドテープを拡張することで、改質領域7を切断の起点として加工対象物1を切断予定ライン5に沿って切断し、切断された複数のチップを半導体装置（例えばメモリ、IC、発光素子、受光素子等）として得る。

[0106] 次に、上述したレーザ加工装置300を備えるレーザ加工システム400について説明する。図24に示されるように、レーザ加工システム400は、パーソナルコンピュータ（以下、「PC」という）401, 402、コントローラ403及びレーザ加工装置300を備えている。レーザ加工装置300は、上述したように、反射型空間光変調器203で変調したレーザ光Lを加工対象物1に照射することにより、加工対象物1に改質領域7を形成するものである。

[0107] PC401の記憶部（メモリやハードディスク等）401aには、加工対象物1に対する改質領域7の形成条件がデータベースとして記憶されている

。ユーザがPC401を操作して所望の形成条件を入力すると、当該形成条件はLAN (Local Area Network) を介してコントローラ403に入力される。

[0108] コントローラ (パターン指定手段) 403は、加工対象物1に対する改質領域7の形成条件が入力された際に、当該形成条件に応じて、改質領域7に対し一種又は複数種の要素パターンを選定し、LANを介して当該要素パターンをPC402に指定する。ここで、要素パターンとは、レーザ加工装置300の反射型空間光変調器203においてレーザ光Lに所定の変調を施すための変調パターンの要素となるパターンであり、複数種の要素パターンがPC402の記憶部 (メモリやハードディスク等) 402aにデータベースとして記憶されている。

[0109] 記憶部 (パターン記憶手段) 402aは、レーザ加工装置300に生じる個体差 (例えば、反射型空間光変調器203の液晶層216に生じる歪) を補正するための個体差補正パターン (D-01) を要素パターンとして記憶している。また、記憶部402aは、レーザ光Lの集光点Pで生じる球面収差を補正するための球面収差補正パターン (S-0001~S-1000) を要素パターンとして記憶している。レーザ光Lの集光点Pで生じる球面収差は、加工対象物1の材料や、加工対象物1のレーザ光入射面からレーザ光Lの集光点Pまでの距離に応じて変化するので、球面収差補正パターンは、当該材料や当該距離をパラメータとして設定され、記憶部402aに記憶されている。

[0110] 更に、記憶部402aは、品質パターン (J-01~J-10) を要素パターンとして記憶している。図25に示されるように、品質パターンは、切断予定ライン5と略直交する方向に延在する第1の明度領域R1、及び切断予定ライン5の延在方向において第1の明度領域R1の両側に位置する第2の明度領域R2を有している。

[0111] 品質パターンは、加工対象物1の裏面21側の位置、加工対象物1の表面3側の位置、及び裏面21側の位置と表面3側の位置との間の中間位置に、

裏面 2 1 側の位置、中間位置、表面 3 側の位置の順序で（或いは、表面 3 側の位置、中間位置、裏面 2 1 側の位置の順序で）改質領域 7 を形成する場合において、中間位置に改質領域 7 を形成するときに用いられる。つまり、品質パターンは、裏面 2 1 側の位置に改質領域 7 を形成した後かつ表面 3 側の位置に改質領域 7 を形成する前に（或いは、表面 3 側の位置に改質領域 7 を形成した後かつ裏面 2 1 側の位置に改質領域 7 を形成する前に）、中間位置に改質領域 7 を形成するときに用いられる。

[0112] なお、裏面 2 1 側の位置に改質領域 7 を形成するとは、加工対象物 1 の厚さ方向において、加工対象物 1 の中心位置から加工対象物 1 の裏面 2 1 側に改質領域 7 の中心位置が偏倚するように、改質領域 7 を形成することを意味し、表面 3 側の位置に改質領域 7 を形成するとは、加工対象物 1 の厚さ方向において、加工対象物 1 の中心位置から加工対象物 1 の表面 3 側に改質領域 7 の中心位置が偏倚するように、改質領域 7 を形成することを意味する。そして、裏面 2 1 側の位置と表面 3 側の位置との間の中間位置に改質領域 7 を形成するとは、裏面 2 1 側の位置に形成される改質領域 7 と表面 3 側の位置に形成される改質領域 7 との間に形質領域を形成することを意味する（すなわち、加工対象物 1 の厚さ方向において、加工対象物 1 の中心位置に改質領域 7 の中心位置が一致するように、改質領域 7 を形成するという意味ではない）。

[0113] 図 2 4 に戻り、P C（パターン作成手段）4 0 2 は、コントローラ 4 0 3 による要素パターンの指定に基づいて、改質領域 7 に対し一種又は複数種の要素パターンを記憶部 4 0 2 a から読み出す。つまり、P C 4 0 2 は、加工対象物 1 に対する改質領域 7 の形成条件に応じて、改質領域 7 に対し一種又は複数種の要素パターンを記憶部 4 0 2 a から取得する。

[0114] そして、P C 4 0 2 は、一種の要素パターンを取得した場合には、対応する改質領域 7 の形成のために当該一種の要素パターンを変調パターンとする。また、P C 4 0 2 は、複数種の要素パターンを取得した場合には、対応する改質領域 7 の形成のために、当該複数種の要素パターンを合成した合成パ

ターンを変調パターンとする。PC402は、このようにして変調パターンを作成した後、DVI (Digital Visual Interface) を介して当該変調パターンを改質領域7に対応付けてレーザ加工装置300に出力する。

[0115] なお、加工対象物1に複数種の改質領域7を形成する場合（例えば、1本の切断予定ライン5に対して、加工対象物1の厚さ方向に並ぶように複数列の改質領域7を形成する場合）には、PC402は、全種の改質領域7について改質領域7ごとに変調パターンを作成した後に、当該変調パターンを改質領域7ごとに対応付けてレーザ加工装置300に出力する。

[0116] ここで、上述した品質パターンについて、より詳細に説明する。図25に示されるように、切断予定ライン5の延在方向において、第1の明度領域R1の幅は、変調パターンのうちレーザ光Lを変調するための有効領域Rの幅に対して20%~50%の割合となっている。ただし、切断予定ライン5の延在方向において、第1の明度領域R1の幅は、第2の明度領域R2のそれぞれの幅よりも狭くなってもよいし（例えば、図24のJ-01を参照）、或いは第2の明度領域R2のそれぞれの幅よりも広がってもよい（例えば、図24のJ-10を参照）。なお、品質パターンの有効領域Rは、レーザ光Lのうち集光光学系204に入射する分（集光光学系204の入射瞳に入射する分）に相当する領域である。

[0117] そして、第1の明度領域R1の平均明度と第2の明度領域R2の平均明度とは、互いに異なっていれば、どちらが明るくてもよい。ただし、第1の明度領域R1と第2の明度領域R2との明度差を大きくする観点からは、品質パターンを構成する各画素の明度を256階調で表した場合、第1の明度領域R1の平均明度と第2の明度領域R2の平均明度とが128階調ずれていることが好ましい。

[0118] 次に、上述したレーザ加工システム400において実施されるレーザ加工方法の一例について、図26を参照しつつ説明する。まず、ユーザがPC401を操作して、加工対象物1に対する改質領域7の形成条件を入力する（ステップS11）。ここでは、加工対象物1の厚さが300 $\mu$ mに設定され

、加工対象物 1 の材料がシリコンに設定されている。また、1 本の切断予定ライン 5 に対して、加工対象物 1 の厚さ方向に並ぶように形成される複数列の改質領域 7 として、3 列の改質領域 SD 1, SD 2, SD 3 が設定されている。そして、改質領域 SD 1 の形成については、加工対象物 1 のレーザ光入射面からレーザ光 L の集光点 P までの距離（深さ）が  $260\ \mu\text{m}$  に設定され、レーザ光 L の出力が  $0.6\text{W}$  に設定されている。また、改質領域 SD 2 の形成については、当該距離が  $180\ \mu\text{m}$  に設定され、当該出力が  $0.6\text{W}$  に設定されている。更に、改質領域 SD 3 の形成については、当該距離が  $70\ \mu\text{m}$  に設定され、当該出力が  $0.6\text{W}$  に設定されている。なお、改質領域 SD 2 の形成については、品質パターンが「あり」に設定されている。

[0119] ここで、改質領域 SD 1 は、改質領域の形成の時点で当該改質領域から加工対象物 1 の裏面 2 1 に亀裂 1 7 b を生じさせる改質領域 7 b に相当し、改質領域 SD 3 は、改質領域の形成の時点で当該改質領域から加工対象物 1 の表面 3 に亀裂 1 7 a を生じさせる改質領域 7 a に相当する。従って、第 2 の実施形態の本具体例は、改質領域 SD 1 と改質領域 SD 3 との間に介在させられる非改質領域 2 に、改質領域 SD 2 が形成される点で、上述した第 2 の実施形態と異なる。

[0120] 続いて、加工対象物 1 に対する改質領域 7 の形成条件がコントローラ 4 0 3 に入力されると、コントローラ 4 0 3 が、当該形成条件に応じて改質領域 SD 1, SD 2, SD 3 ごとに一種又は複数種の要素パターンを選定し、当該要素パターンを改質領域 SD 1, SD 2, SD 3 ごとに対応付けて PC 4 0 2 に指定する（ステップ S 1 2）。これにより、PC 4 0 2 に、適切な要素パターンを容易にかつ確実に取得させることができる。

[0121] 続いて、改質領域 SD 1, SD 2, SD 3 ごとに要素パターンが指定されると、PC 4 0 2 が、当該要素パターンを改質領域 SD 1, SD 2, SD 3 ごとに対応付けて記憶部 4 0 2 a から選択する（ステップ S 1 3）。ここでは、改質領域 SD 3 に対応付けて個体差補正パターン D-0 1 及び球面収差補正パターン S-0 0 2 5 が要素パターンとして選択される。また、改質領

域SD2に対応付けて個体差補正パターンD-01、球面収差補正パターンS-0060及び品質パターンJ-03が要素パターンとして選択される。更に、改質領域SD1に対応付けて個体差補正パターンD-01及び球面収差補正パターンS-0100が要素パターンとして選択される。

[0122] 続いて、PC402が、改質領域SD1、SD2、SD3の形成のために、改質領域SD1、SD2、SD3ごとに対応付けられた複数種の要素パターンを合成し、その合成パターンを変調パターンとする（ステップS14）。ここでは、改質領域SD3の形成のために、個体差補正パターンD-01と球面収差補正パターンS-0025とが合成されて、変調パターンSD-003が作成される。また、改質領域SD2の形成のために、個体差補正パターンD-01と球面収差補正パターンS-0060と品質パターンJ-03とが合成されて、変調パターンSD-002が作成される。更に、改質領域SD1の形成のために、個体差補正パターンD-01と球面収差補正パターンS-0100とが合成されて、変調パターンSD-001が作成される。

[0123] 続いて、PC402が、作成した変調パターンSD-001、SD-002、SD-003を改質領域SD1、SD2、SD3ごとに対応付けてレーザ加工装置300に出力する（ステップS15）。そして、改質領域SD1、SD2、SD3ごとに対応付けられて変調パターンSD-001、SD-002、SD-003が入力されると、レーザ加工装置300がレーザ加工を実施する（ステップS16）。

[0124] より具体的には、レーザ加工装置300においては、改質領域SD1を形成するときには、制御部250を介して変調パターンSD-001が反射型空間光変調器203の液晶層216に表示させられ、変調パターンSD-001によってレーザ光Lが変調される。続いて、改質領域SD2を形成するときには、制御部250を介して変調パターンSD-002が反射型空間光変調器203の液晶層216に表示させられ、変調パターンSD-002によってレーザ光Lが変調される。続いて、改質領域SD3を形成するとき

は、制御部 250 を介して変調パターン SD-003 が反射型空間光変調器 203 の液晶層 216 に表示させられ、変調パターン SD-003 によってレーザ光 L が変調される。

[0125] このように、改質領域 SD1, SD2, SD3 を形成するとき、変調パターンが個体差補正パターン及び球面収差補正パターンを含んでいるので、レーザ加工装置 300 に生じる個体差やレーザ光 L の集光点 P で生じる球面収差に起因した改質領域の形成状態のばらつきを抑制することができる。なお、加工対象物 1 のレーザ光入射面から遠い位置の改質領域 SD1、中間に位置する改質領域 SD2、加工対象物 1 のレーザ光入射面から近い位置の改質領域 SD3 と順次形成することが望ましい。

[0126] また、改質領域 SD1、改質領域 SD2、改質領域 SD3 の順序で改質領域を形成する場合において、中間位置に改質領域 SD2 を形成するときには、変調パターンが、個体差補正パターン及び球面収差補正パターンに加えて品質パターンを含んでいる。このように、品質パターンを用いてレーザ光 L を変調し、中間位置に改質領域 SD2 を形成することで、加工対象物 1 の厚さ方向に改質領域 SD1, SD2, SD3 を形成する際に加工対象物 1 の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止することができる。そして、加工対象物 1 に応力を生じさせると、中間位置に改質領域 SD2 が形成されていない場合に比べ、改質領域を起点として発生した亀裂が加工対象物 1 の厚さ方向に容易に伸展するので、加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って精度良く切断することができる。なお、加工対象物 1 のレーザ光入射面から近い位置の改質領域 SD3、中間に位置する改質領域 SD2、加工対象物 1 のレーザ光入射面から遠い位置の改質領域 SD1 と順次形成してもよい。

[0127] 次に、変調パターン（個体差補正パターン、球面収差補正パターン及び品質パターン）について説明する。図 27 は、改質領域を起点として加工対象物を切断したときの切断面を示す第 1 の図である。ここでは、シリコンからなる厚さ 400  $\mu\text{m}$  の加工対象物 1 の表面 3 をレーザ光入射面として、表面 3 から遠い順に、改質領域 SD1 ~ SD5 を形成した。裏面 21 側の位置の

各改質領域SD1, SD2の形成、及び表面3側の位置の各改質領域SD4, SD5の形成に際しては、それぞれ、レーザ光Lの集光点Pで球面収差を補正し得る球面収差補正パターンSを用い、個体差補正パターンDに加えてその球面収差補正パターンSを含む変調パターンでレーザ光Lを変調した。更に、裏面21側の位置と表面3側の位置との間の中間位置の改質領域SD3の形成に際しては、個体差補正パターンD及び球面収差補正パターンSに加えて品質パターンJを含む変調パターンでレーザ光Lを変調した。

[0128] ここで、改質領域SD1, SD2は、改質領域の形成の時点で当該改質領域から加工対象物1の裏面21に亀裂17bを生じさせる改質領域7bに相当し、改質領域SD4, SD5は、改質領域の形成の時点で当該改質領域から加工対象物1の表面3に亀裂17aを生じさせる改質領域7aに相当する。従って、第2の実施形態の本具体例は、改質領域SD1, SD2と改質領域SD4, SD5との間に介在させられる非改質領域2に、改質領域SD3が形成される点で、上述した第2の実施形態と異なる。

[0129] その結果、改質領域SD1, SD2を形成した時点で発生した亀裂は、加工対象物1の裏面21に到達する一方で、改質領域SD3を形成した時点で発生した亀裂と繋がらなかった。また、改質領域SD4, SD5を形成した時点で発生した亀裂は、加工対象物1の表面3に到達する一方で、改質領域SD3を形成した時点で発生した亀裂と繋がらなかった。これにより、加工対象物1の切断精度の低下を防止しつつ、切断予定ライン5に沿って加工対象物1の厚さ方向に形成する改質領域7の列数を減少させることが可能となった。

[0130] 図28は、改質領域を形成するためのレーザ光の集光スポットの模式図である。個体差補正パターン及び球面収差補正パターンを含む変調パターンでレーザ光Lを変調すると、図28(a)に示されるように、レーザ光Lの集光スポットCS1は、円形状の領域になった。一方、個体差補正パターン及び球面収差補正パターンに加えて品質パターンを含む変調パターンでレーザ光Lを変調すると、図28(b)に示されるように、レーザ光Lの集光ス

ットCS2は、複数の点状の領域が切断予定ライン5の延在方向（すなわち、レーザ光Lの相対移動方向）Aに沿って並設された形状となった。なお、隣り合う点状の領域は、一部分が重なり合っている場合と、隙間をもって離れている場合とがあった。

[0131] これは、切断予定ライン5と略直交する方向に延在する第1の明度領域R1、及び切断予定ライン5の延在方向において第1の明度領域R1の両側に位置する第2の明度領域R2を有する品質パターンによって、反射型空間光変調器203においてレーザ光Lが回折されているからと想定される。このような集光スポットCS2を有するレーザ光Lを照射すれば、加工対象物1の厚さ方向に改質領域7を複数列形成する際に加工対象物1の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止し得る改質領域7を加工対象物1に形成することができる。

[0132] 以上説明したように、レーザ加工システム400を利用して実施される加工対象物切断方法では、加工対象物1に対し裏面21側の位置と表面3側の位置との間の中間位置に改質領域7を形成するためのレーザ光Lの変調に、切断予定ライン5と略直交する方向に延在する第1の明度領域R1、及び切断予定ライン5の延在方向において第1の明度領域R1の両側に位置する第2の明度領域R2を有する品質パターンを用いる。すなわち、表面3をレーザ光入射面として、裏面21側の位置に改質領域7を形成した後かつ表面3側の位置に改質領域7を形成する前に（或いは、裏面21をレーザ光入射面として、表面3側の位置に改質領域7を形成した後かつ裏面21側の位置に改質領域7を形成する前に）、品質パターンを含む変調パターンに基づいて反射型空間光変調器203で変調したレーザ光Lを照射することにより、中間位置に改質領域7を形成する。このようにして中間位置に改質領域7を形成することで、改質領域7の列数を減少させるべく1064nmよりも長い波長のレーザ光Lを使用しても、加工対象物1の厚さ方向に改質領域7を複数列形成する際に加工対象物1の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止することができる。しかも、加工対象物1に応力を生じさせると、中間位

置に改質領域 7 が形成されていない場合に比べ、改質領域 7 を起点として発生した亀裂が加工対象物 1 の厚さ方向に容易に伸展するので、加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って精度良く切断することができる。よって、この加工対象物切断方法によれば、加工対象物 1 の切断精度の低下を防止しつつ、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の厚さ方向に形成する改質領域 7 の列数を減少させて、タクトタイムの短縮化を図ることができる。

[0133] ここで、品質パターンでは、切断予定ライン 5 の延在方向において、第 1 の明度領域 R 1 の幅が、変調パターンのうちレーザ光 L を変調するための有効領域 R の幅に対して 20%~50%の割合となっていることが好ましい。この場合、加工対象物 1 の厚さ方向に改質領域 7 を複数列形成する際に加工対象物 1 の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを確実に防止し得る改質領域 7 を中間位置に形成することができる。なお、切断予定ライン 5 の延在方向において、第 1 の明度領域 R 1 の幅は、第 2 の明度領域 R 2 のそれぞれの幅よりも狭くなってもよいし、或いは第 2 の明度領域 R 2 のそれぞれの幅よりも広がってもよい。

[0134] また、中間位置に改質領域 7 を形成するときには、品質パターン、個体差補正パターン及び球面収差補正パターンを含む変調パターンに基づいて、レーザ光 L を反射型空間光変調器 203 で変調し、裏面 21 側の位置及び表面 3 側の位置に改質領域 7 を形成するときには、個体差補正パターン及び球面収差補正パターンを含む変調パターンに基づいて、レーザ光 L を反射型空間光変調器 203 で変調することが好ましい。この場合、中間位置、裏面 21 側の位置及び表面 3 側の位置に形成された改質領域 7 が亀裂を発生させ易いものとなるため、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の厚さ方向に形成する改質領域 7 の列数をより確実に減少させることができる。

[0135] また、レーザ光 L の波長は 1080 nm 以上であることが好ましい。この場合、加工対象物 1 に対するレーザ光 L の透過率が高くなり、中間位置、裏面 21 側の位置及び表面 3 側の位置に形成された改質領域 7 が亀裂を発生させ易いものとなるため、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の厚さ方向

に形成する改質領域 7 の列数をより確実に減少させることができる。

[0136] 更に、上述した改質領域 7 を起点として切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 を切断することで、加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って精度良く切断することができる。そして、加工対象物 1 を切断することにより半導体装置を製造することで、信頼性の高い半導体装置を得ることができる。

[0137] 以上、本発明の第 2 の実施形態について説明したが、本発明は、以上の第 2 の実施形態に限定されるものではない。

[0138] 例えば、図 29 に示されるように、加工対象物 1 において、裏面 21 側の位置に形成される改質領域 7 (第 1 の実施形態の改質領域 7 b に相当する) の列数、表面 3 側の位置に形成される改質領域 7 (第 1 の実施形態の改質領域 7 a に相当する) の列数、及び中間位置に形成される改質領域 7 (第 1 の実施形態の非改質領域 2 に形成される改質領域) の列数は、加工対象物 1 の厚さや材料に応じて変化させることができる。裏面 21 側の位置に形成される改質領域 7 の列数は、当該改質領域 7 から裏面 21 に亀裂が生じ得るように決定することができ、表面 3 側の位置に形成される改質領域 7 の列数は、当該改質領域 7 から表面 3 に亀裂が生じ得るように決定することができる。また、中間位置に形成される改質領域 7 の列数は、加工対象物 1 の厚さ方向に改質領域 7 を複数列形成する際に加工対象物 1 の厚さ方向に亀裂が連続的に進行するのを防止し得るように決定することができる。

[0139] また、変調パターンの要素となる要素パターンとして、品質パターン、個体差補正パターン及び球面収差補正パターンの他に、レーザ光 L の集光点 P での非点収差を補正するための非点収差補正パターン等を用いてもよい。

[0140] また、空間光変調器は、LCOS-SLM に限定されず、MEMS (メムス) -SLM や DMD (デフォーマブルミラーデバイス) 等であってもよい。更に、空間光変調器は、反射型に限定されず、透過型であってもよい。空間光変調器としては、液晶セルタイプや LCD タイプ等が挙げられる。また、反射型空間光変調器 203 においては、誘電体多層膜ミラーに代えて、シリコン基板の画素電極の反射を利用してもよい。

### 産業上の利用可能性

[0141] 切断予定ラインに沿ってシリコン基板の厚さ方向に形成する改質領域の列数を減少させることができると共に、シリコン基板を備える板状の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できる。

### 符号の説明

[0142] 1…加工対象物、5…切断予定ライン、7…改質領域、12…シリコン基板、12a…表面、12b…裏面、12c…切断面、L…レーザ光、P…集光点。

## 請求の範囲

[請求項1]

シリコン基板を備える板状の加工対象物に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前記シリコン基板に改質領域を形成し、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加工対象物切断方法であって、

前記改質領域として第1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て前記第1の改質領域から前記加工対象物の一方の主面に第1の亀裂を生じさせ、前記第1の改質領域に対して前記加工対象物の他方の主面側に、前記第1の改質領域との間に非改質領域が介在するように、前記改質領域として第2の改質領域を形成することにより、前記非改質領域において前記第1の亀裂と繋がらないように、前記切断予定ラインに沿って前記第2の改質領域から前記他方の主面に第2の亀裂を生じさせる工程と、

前記加工対象物に応力を生じさせることにより、前記第1の亀裂と前記第2の亀裂とを繋げて、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工程と、を含むことを特徴とする加工対象物切断方法。

[請求項2]

前記切断予定ラインに沿って切断された前記加工対象物の一対の切断面のうち、一方の切断面の前記非改質領域に、前記シリコン基板の厚さ方向と交差する方向に延在する凸部が形成され、他方の切断面の前記非改質領域に、前記凸部に対応する凹部が形成されるように、前記第1の改質領域及び前記第2の改質領域を形成することを特徴とする請求項1記載の加工対象物切断方法。

[請求項3]

前記シリコン基板の主面を(100)面として、前記切断面が(110)面となり、前記凸部及び前記凹部を形成する面が(111)面となるように、前記第1の改質領域及び前記第2の改質領域を形成することを特徴とする請求項2記載の加工対象物切断方法。

- [請求項4] 前記凸部の高さが $2\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ となり、前記シリコン基板の厚さ方向における前記凸部の幅が $6\mu\text{m}\sim 17\mu\text{m}$ となるように、前記第1の改質領域及び前記第2の改質領域を形成することを特徴とする請求項2記載の加工対象物切断方法。
- [請求項5] 前記切断予定ラインに沿って前記シリコン基板の厚さ方向に前記第1の改質領域を複数列形成することを特徴とする請求項1記載の加工対象物切断方法。
- [請求項6] 前記切断予定ラインに沿って前記シリコン基板の厚さ方向に前記第2の改質領域を複数列形成することを特徴とする請求項1記載の加工対象物切断方法。
- [請求項7] 前記改質領域は、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、又は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である熔融処理領域を含み、前記非改質領域は単結晶構造の領域であることを特徴とする請求項1記載の加工対象物切断方法。
- [請求項8] 前記レーザ光の波長は $1080\text{nm}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の加工対象物切断方法。
- [請求項9] 前記シリコン基板の厚さ方向における前記非改質領域の幅が前記シリコン基板の厚さの $10\%\sim 30\%$ となるように、前記第1の改質領域及び前記第2の改質領域を形成することを特徴とする請求項1記載の加工対象物切断方法。
- [請求項10] 前記第1の改質領域を形成した後かつ前記第2の改質領域を形成する前に、前記第1の改質領域と前記第2の改質領域との間に介在させられる前記非改質領域に、前記改質領域として第3の改質領域を形成するときには、
- 前記切断予定ラインと交差する方向に延在する第1の明度領域、及び前記切断予定ラインの延在方向において前記第1の明度領域の両側に隣接する第2の明度領域を有する品質パターンを含む変調パターン

に基づいて、前記レーザ光を空間光変調器で変調することを特徴とする請求項 1 記載の加工対象物切断方法。

[請求項11]

前記第 3 の改質領域を形成するときには、前記変調パターンは、前記品質パターン、レーザ加工装置に生じる個体差を補正するための個体差補正パターン、並びに前記加工対象物の材料及び前記加工対象物のレーザ光入射面から前記レーザ光の集光点までの距離に応じて生じる球面収差を補正するための球面収差補正パターンを含み、

前記第 1 の改質領域及び前記第 2 の改質領域を形成するときには、前記個体差補正パターン及び前記球面収差補正パターンを含む変調パターンに基づいて、前記レーザ光を空間光変調器で変調することを特徴とする請求項 10 記載の加工対象物切断方法。

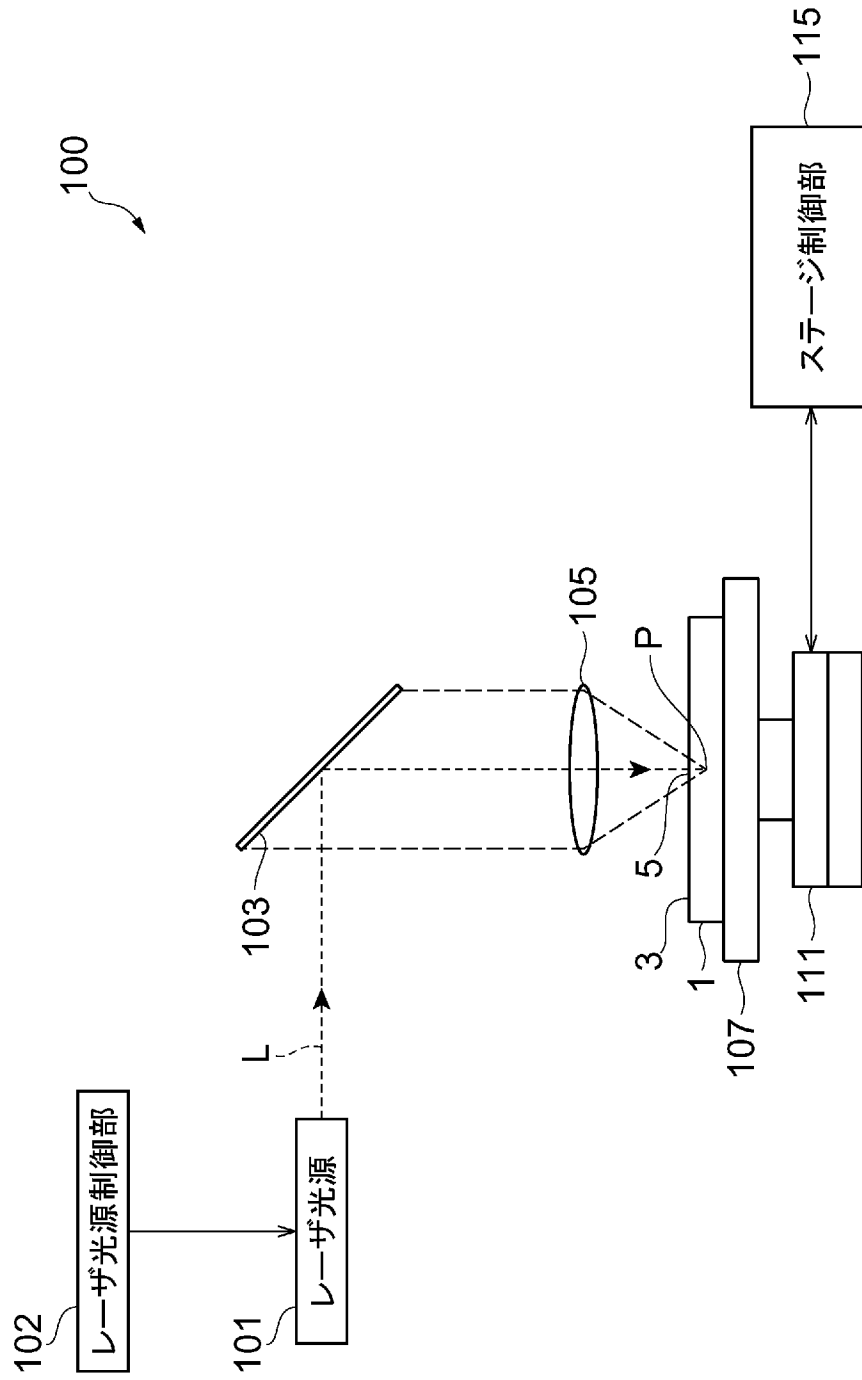
[請求項12]

前記第 3 の改質領域を形成するときの前記レーザ光の集光スポットは、複数の点状の領域が前記切断予定ラインの延在方向に沿って並設された形状となっていることを特徴とする請求項 10 又は 11 記載の加工対象物切断方法。

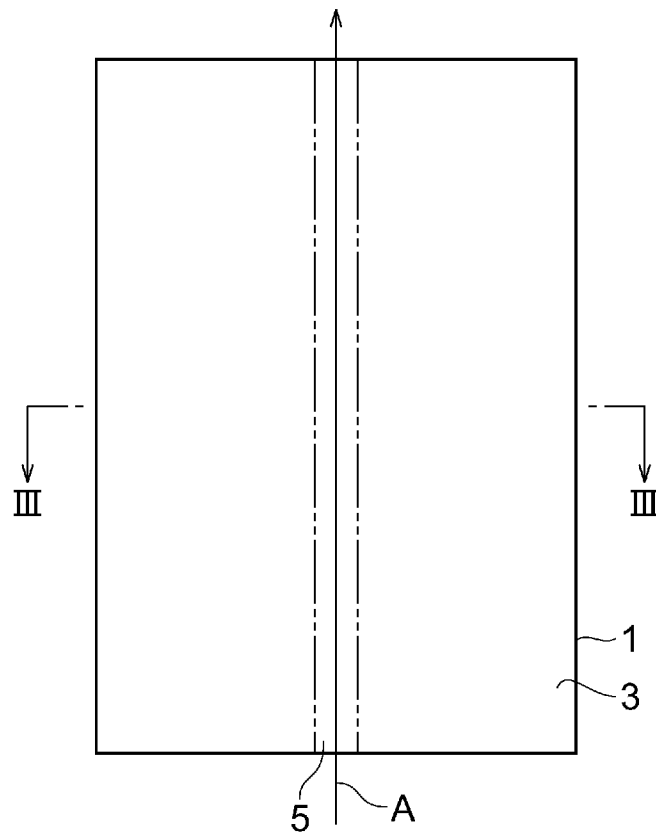
[請求項13]

前記加工対象物を切断することにより半導体装置を製造することを特徴とする請求項 1 ～ 12 のいずれか一項記載の加工対象物切断方法。

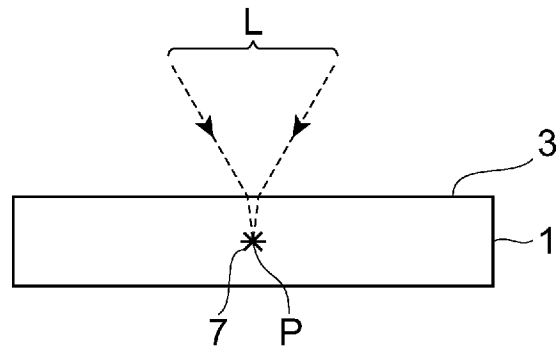
[図1]



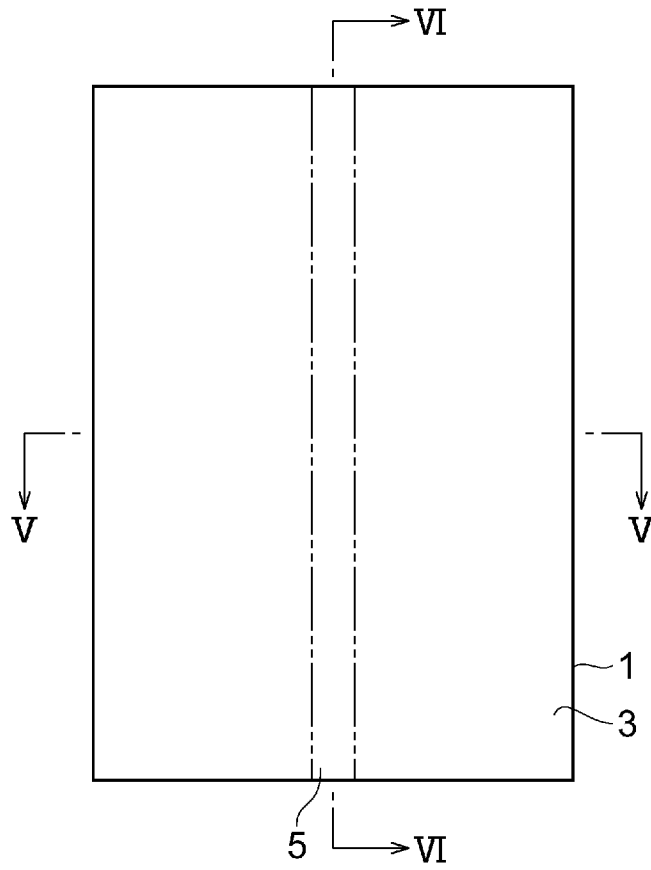
[図2]



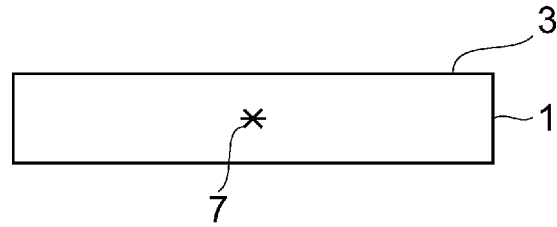
[図3]



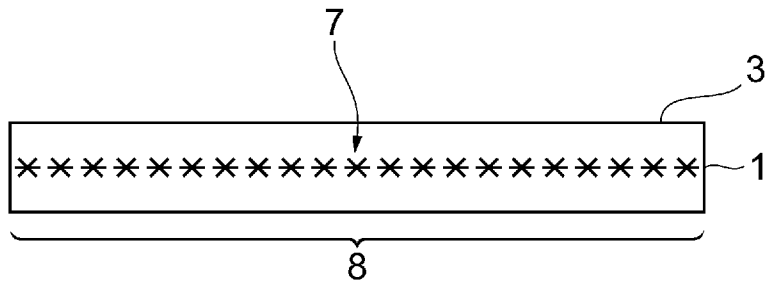
[図4]



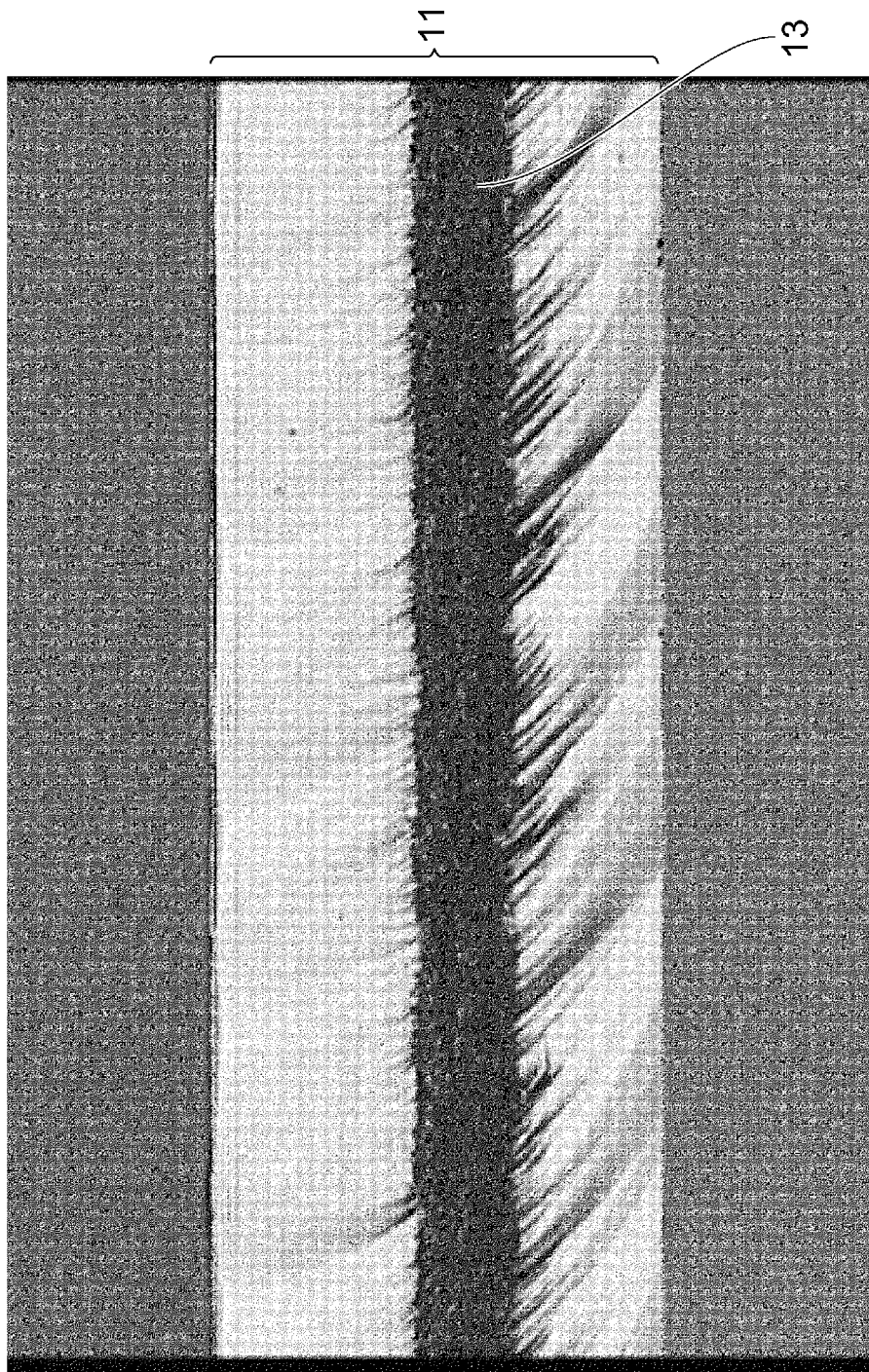
[図5]



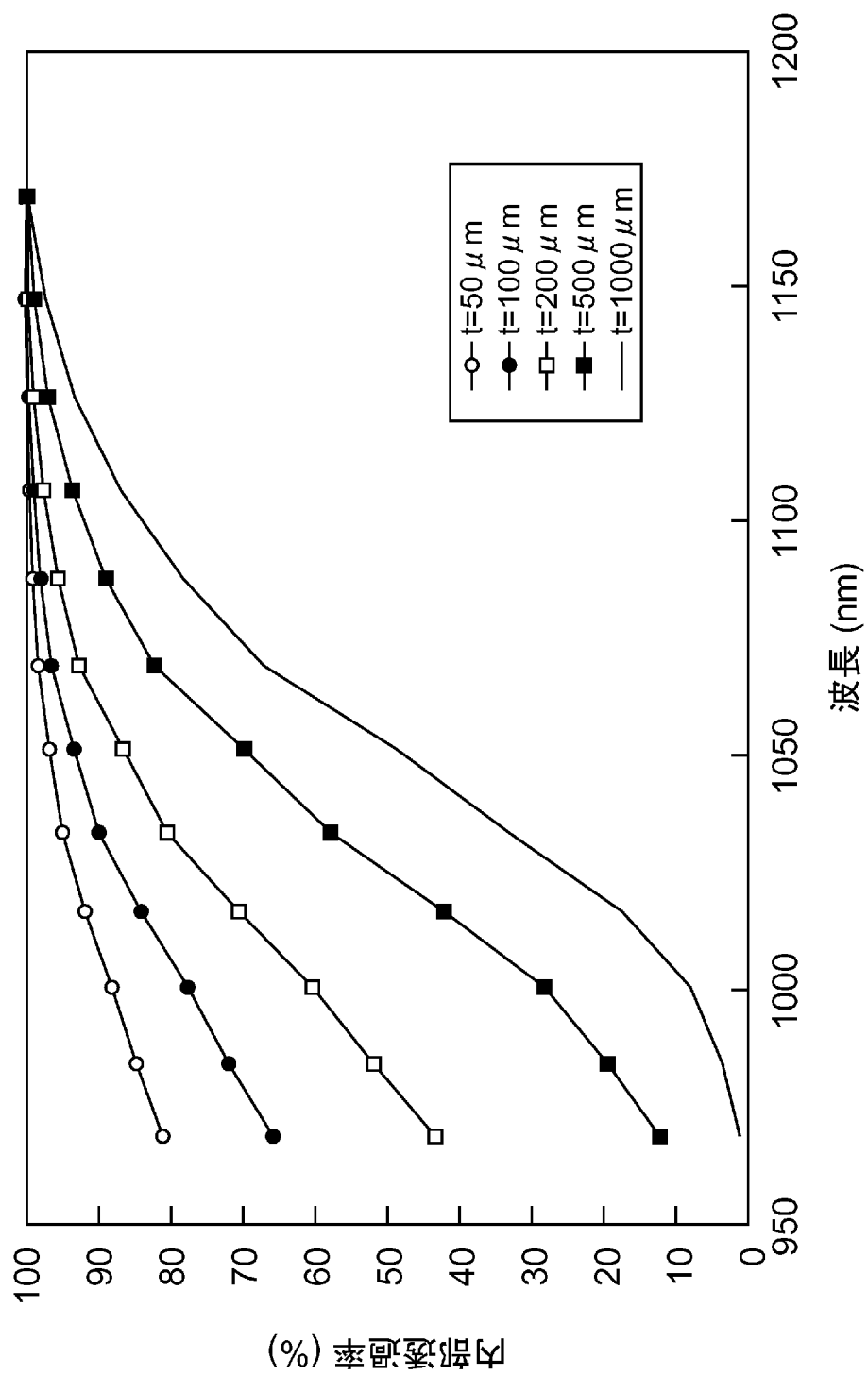
[図6]



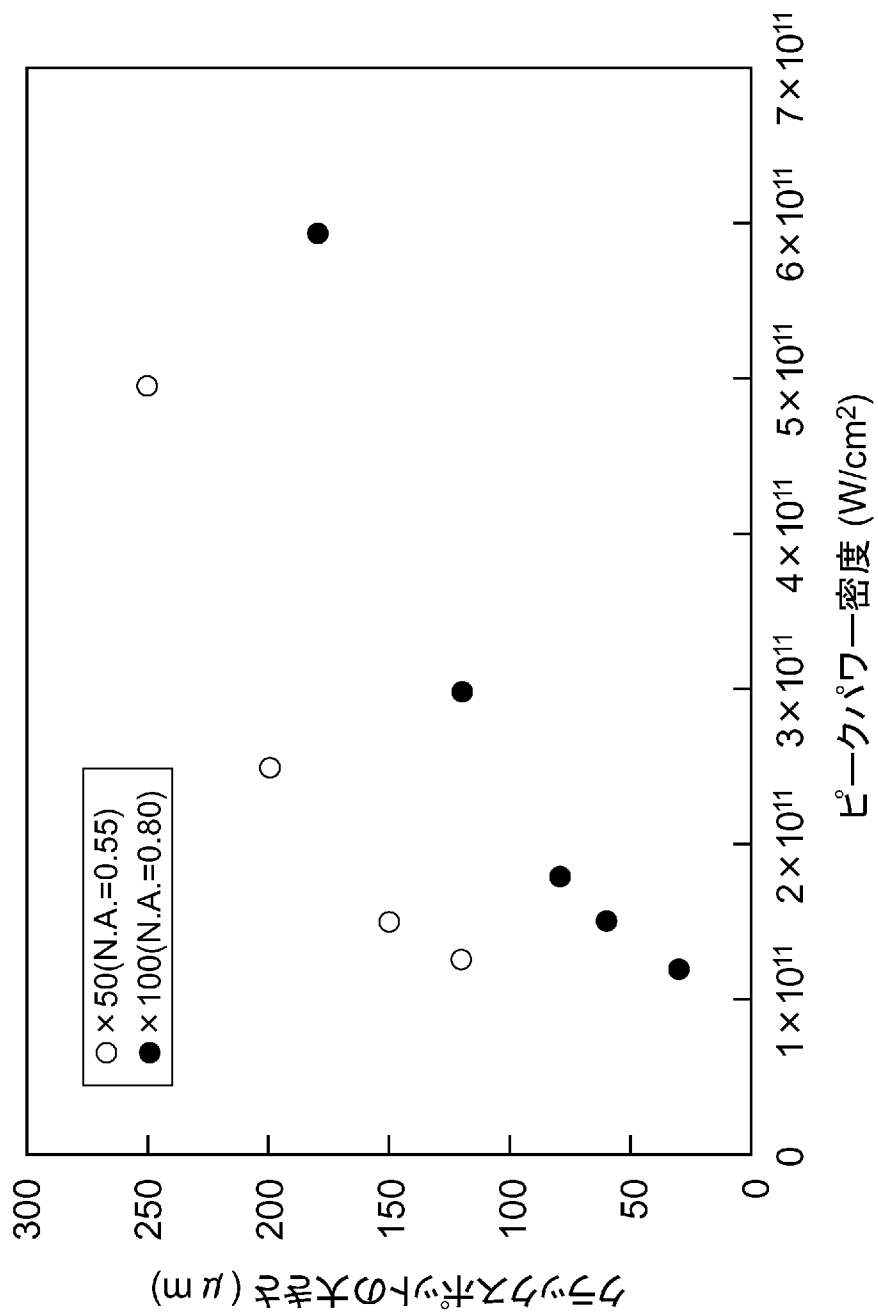
[図7]



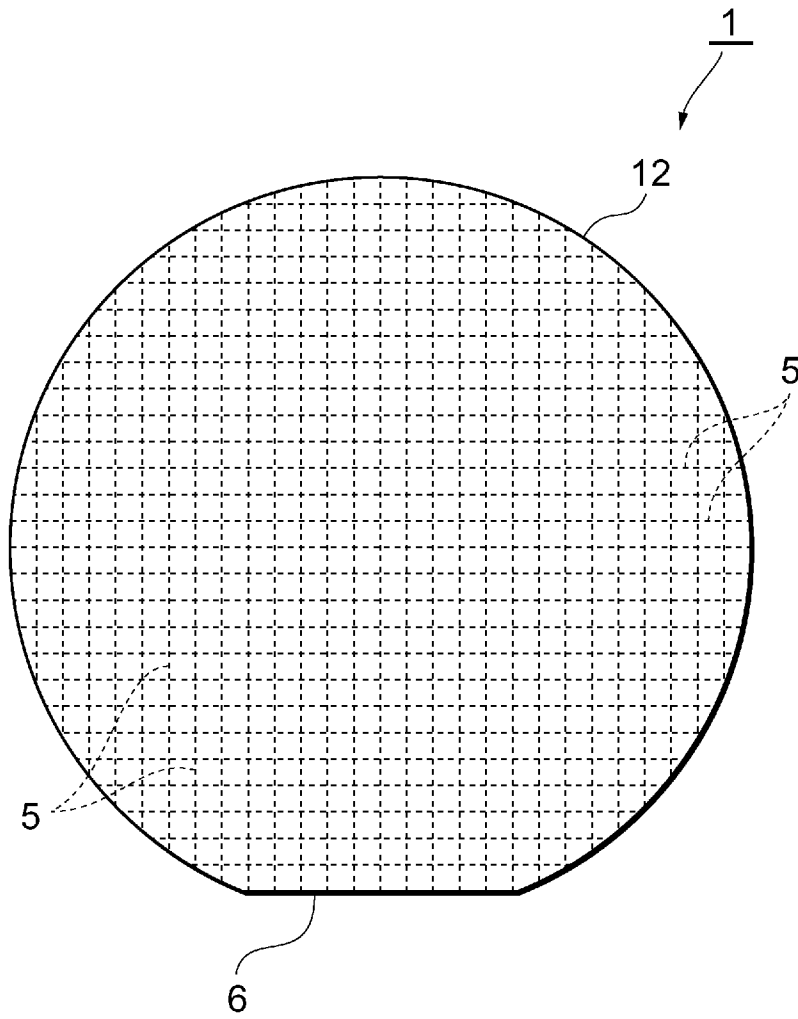
[図8]



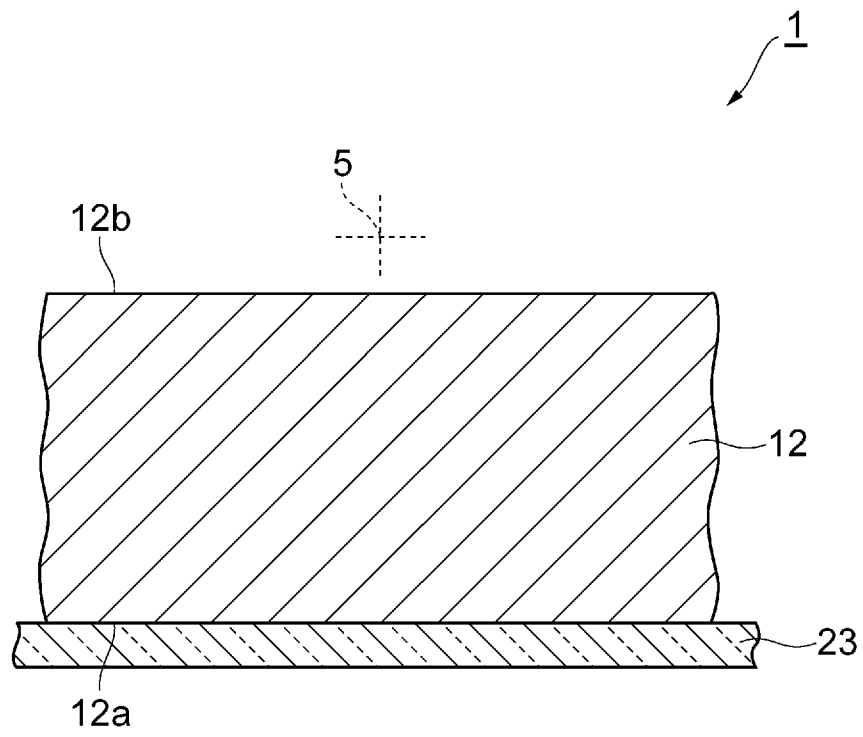
[図9]



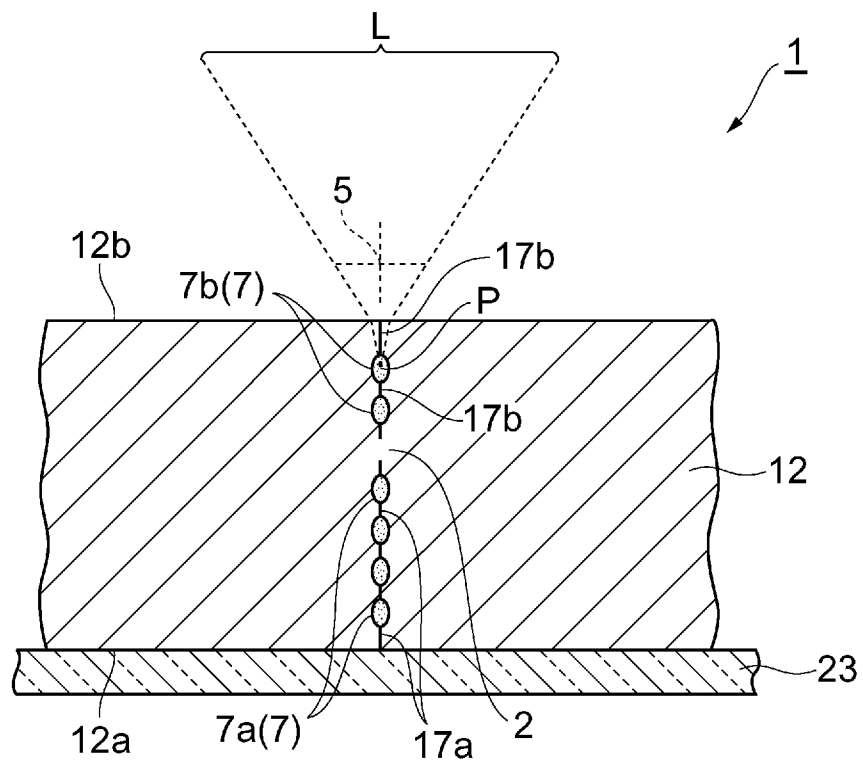
[図10]



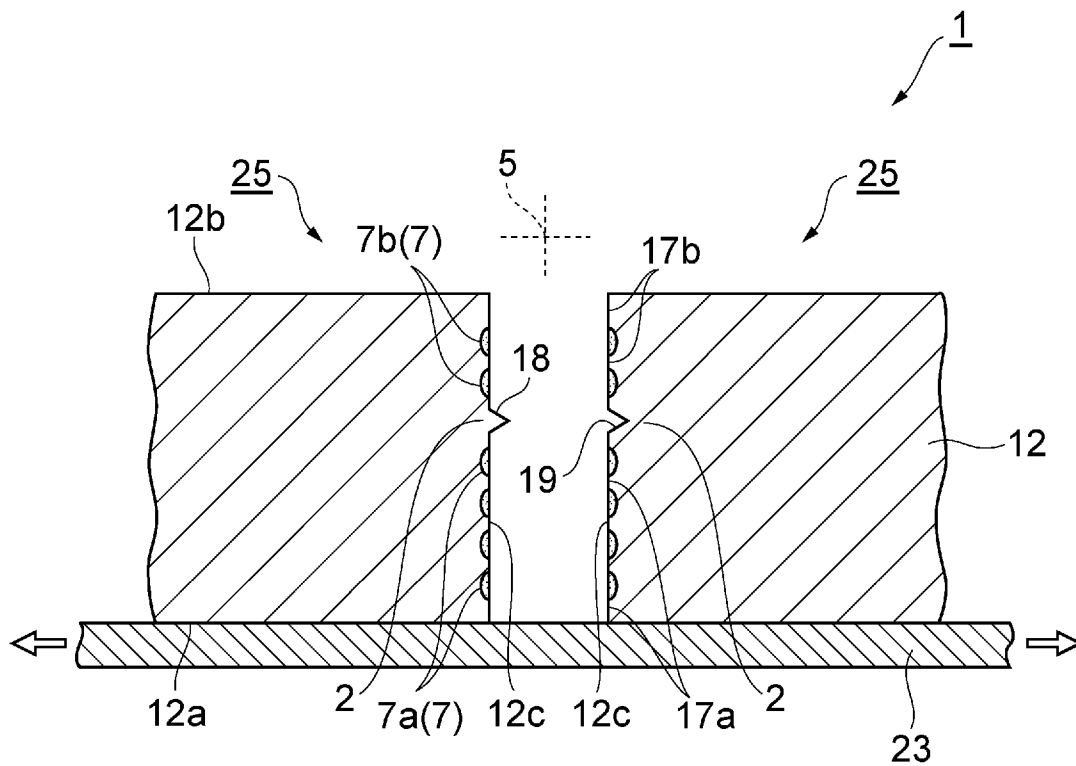
[図11]



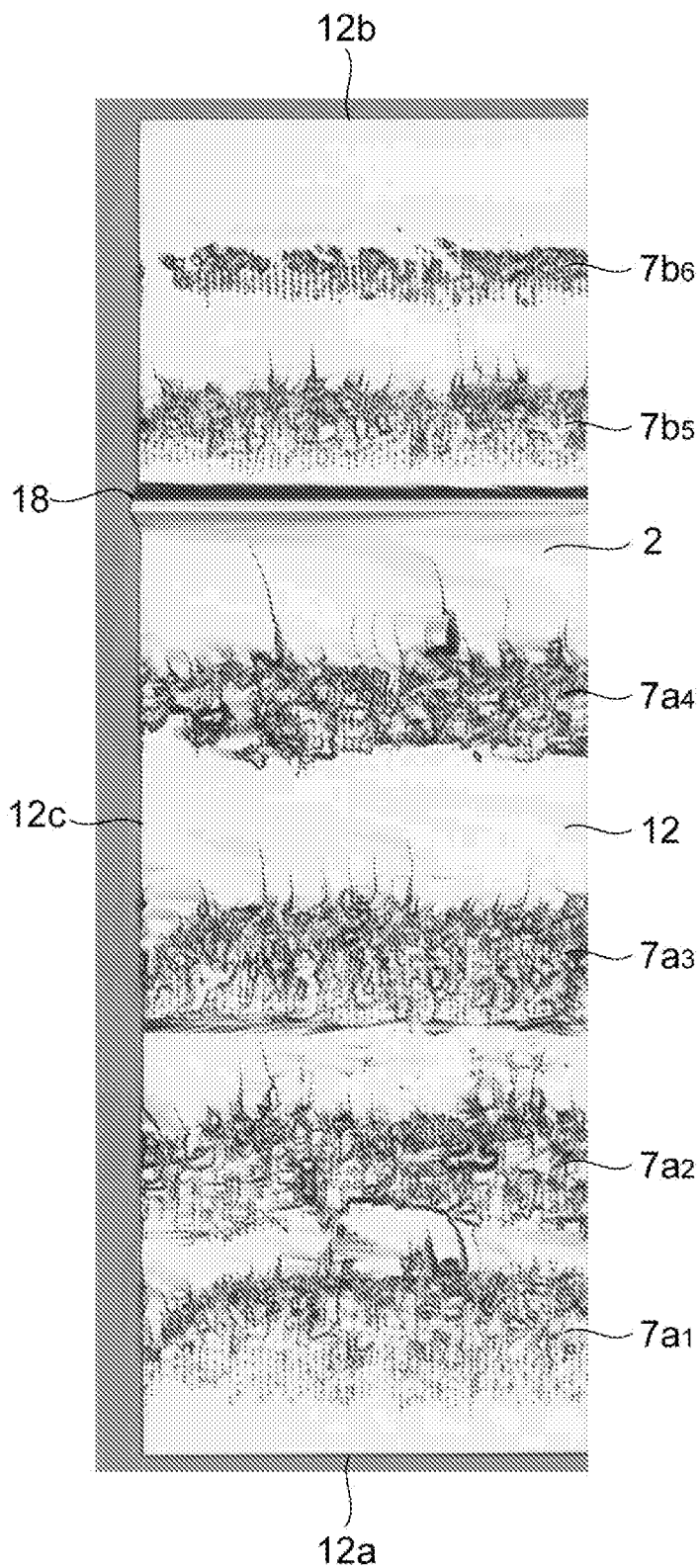
[図12]



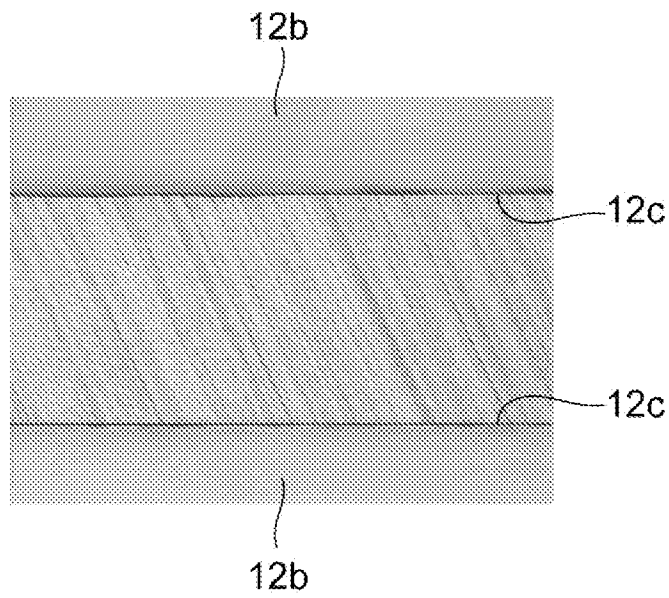
[図13]



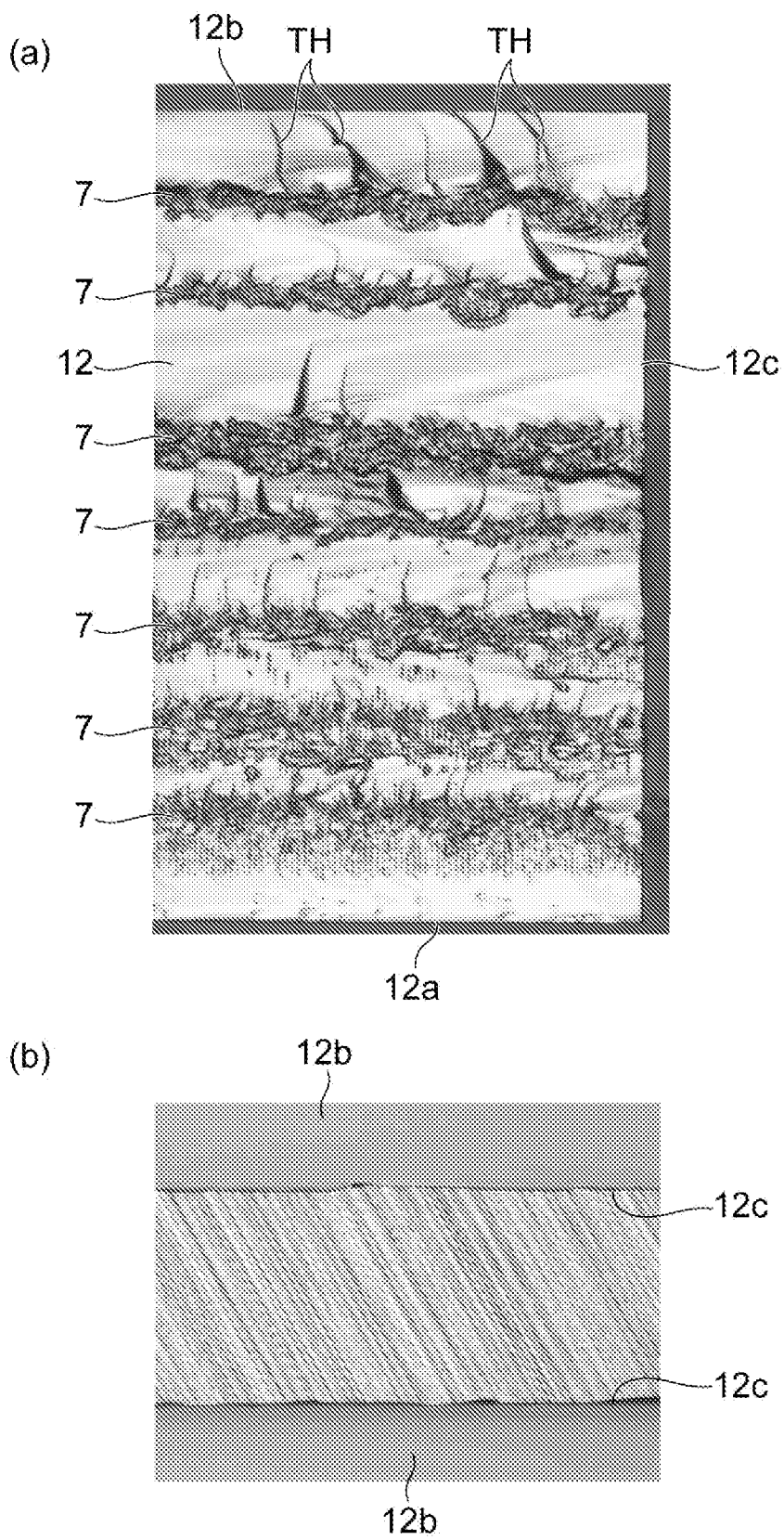
[図14]



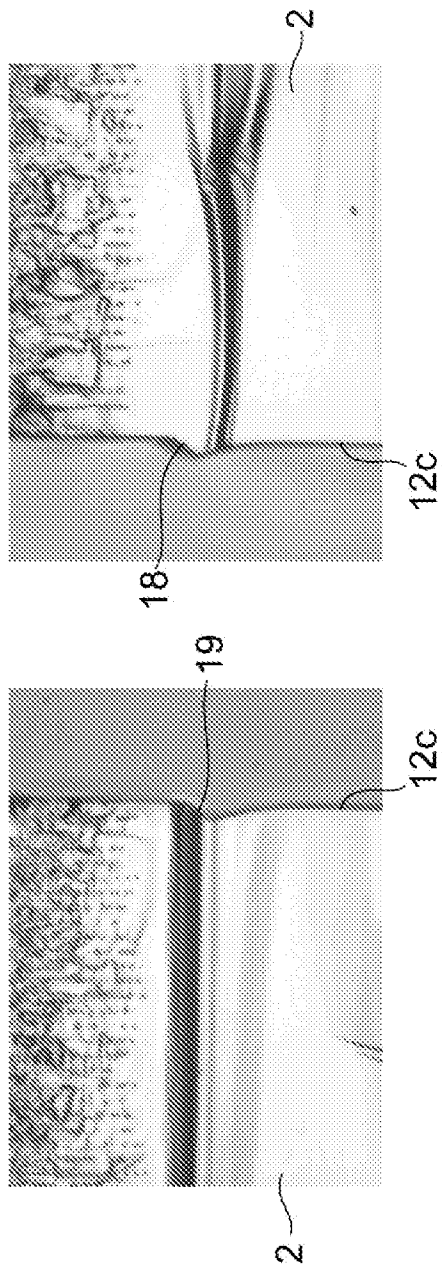
[図15]



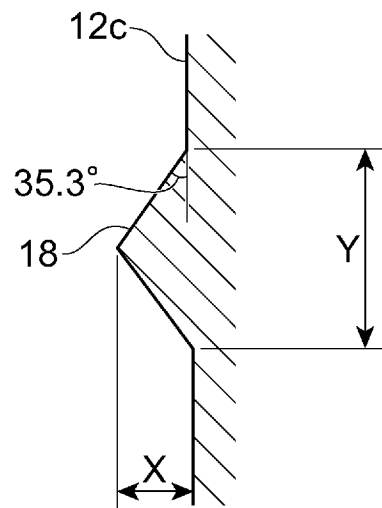
[図16]



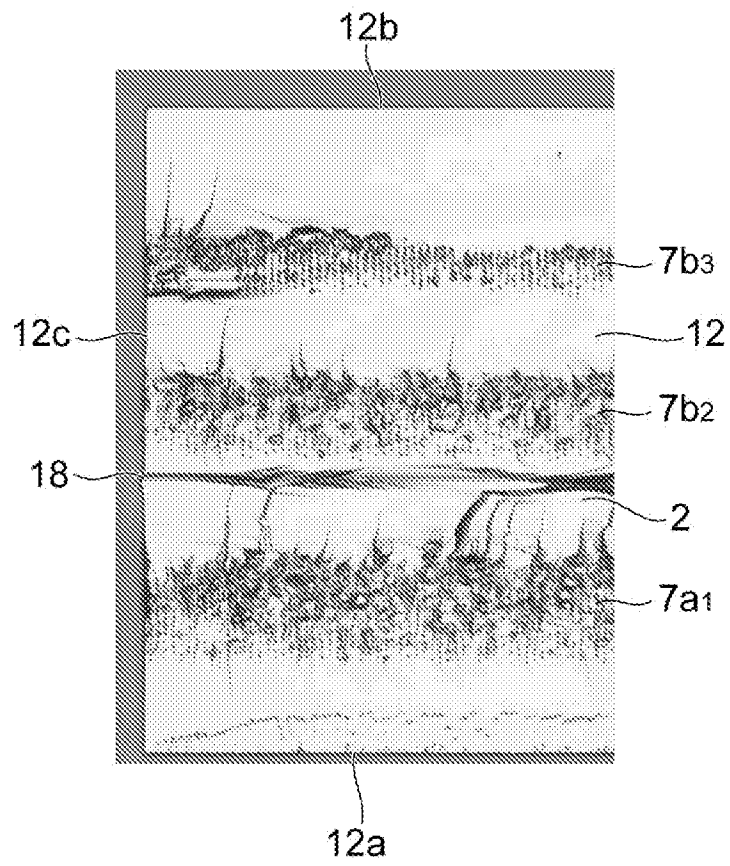
[図17]



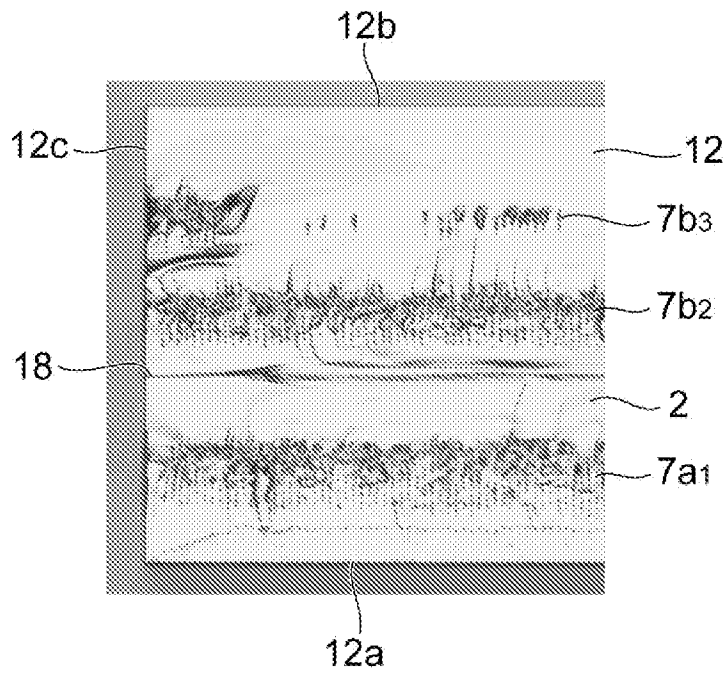
[圖18]



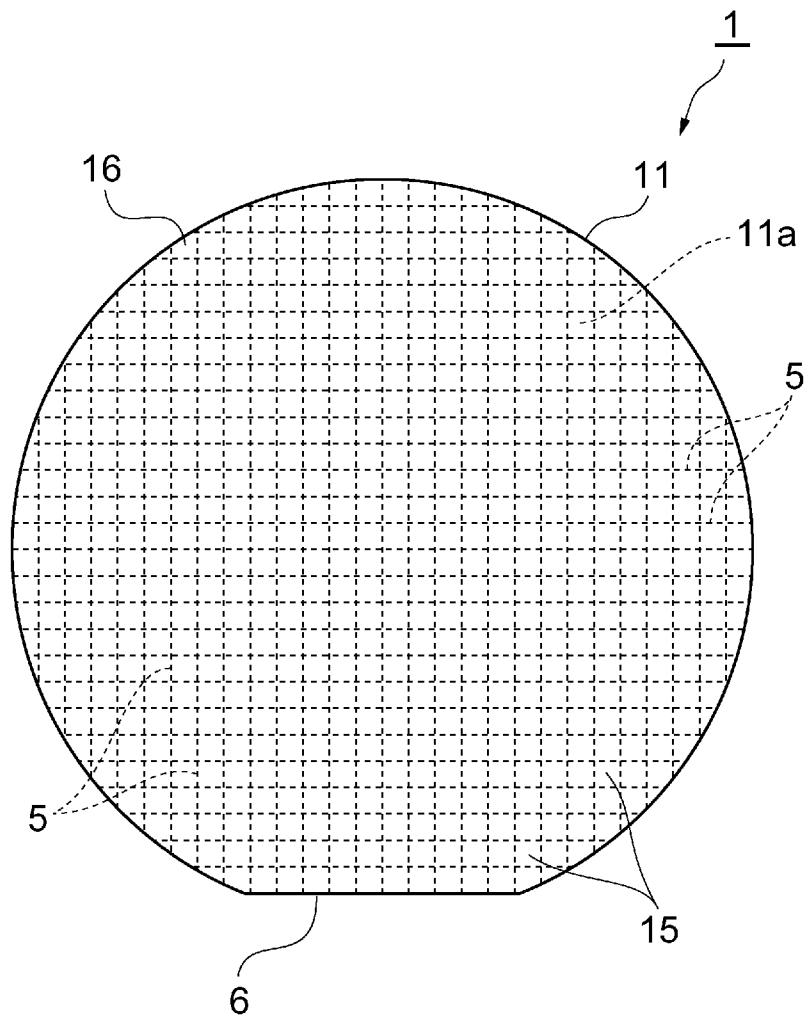
[図19]



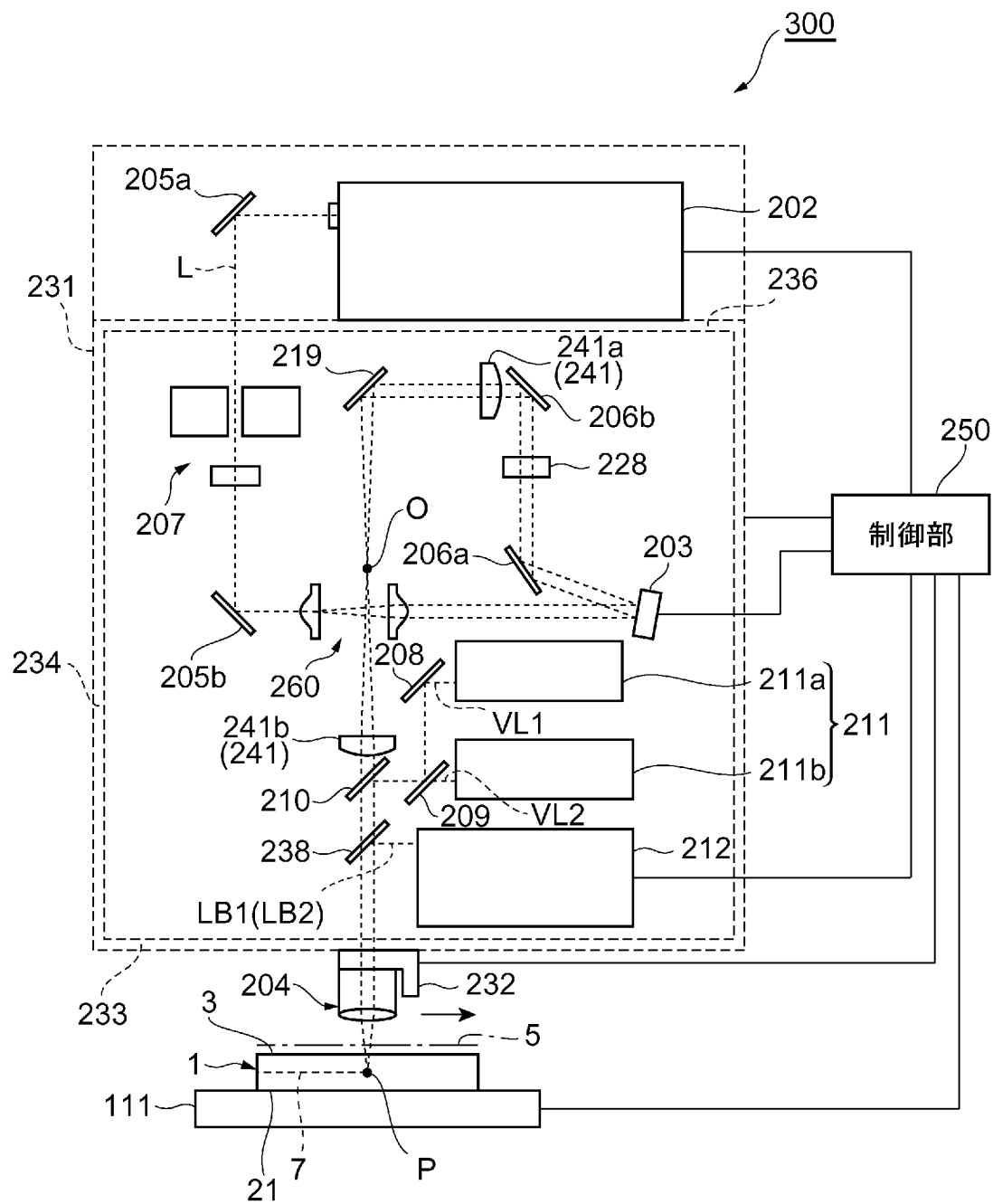
[図20]



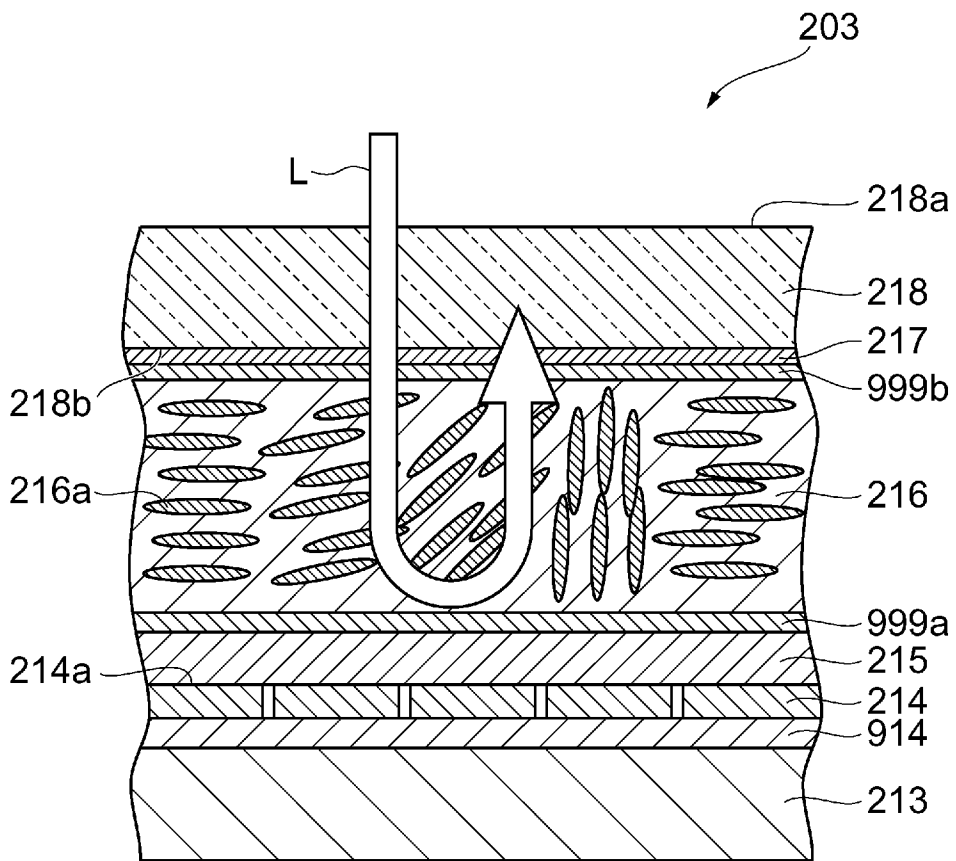
[図21]



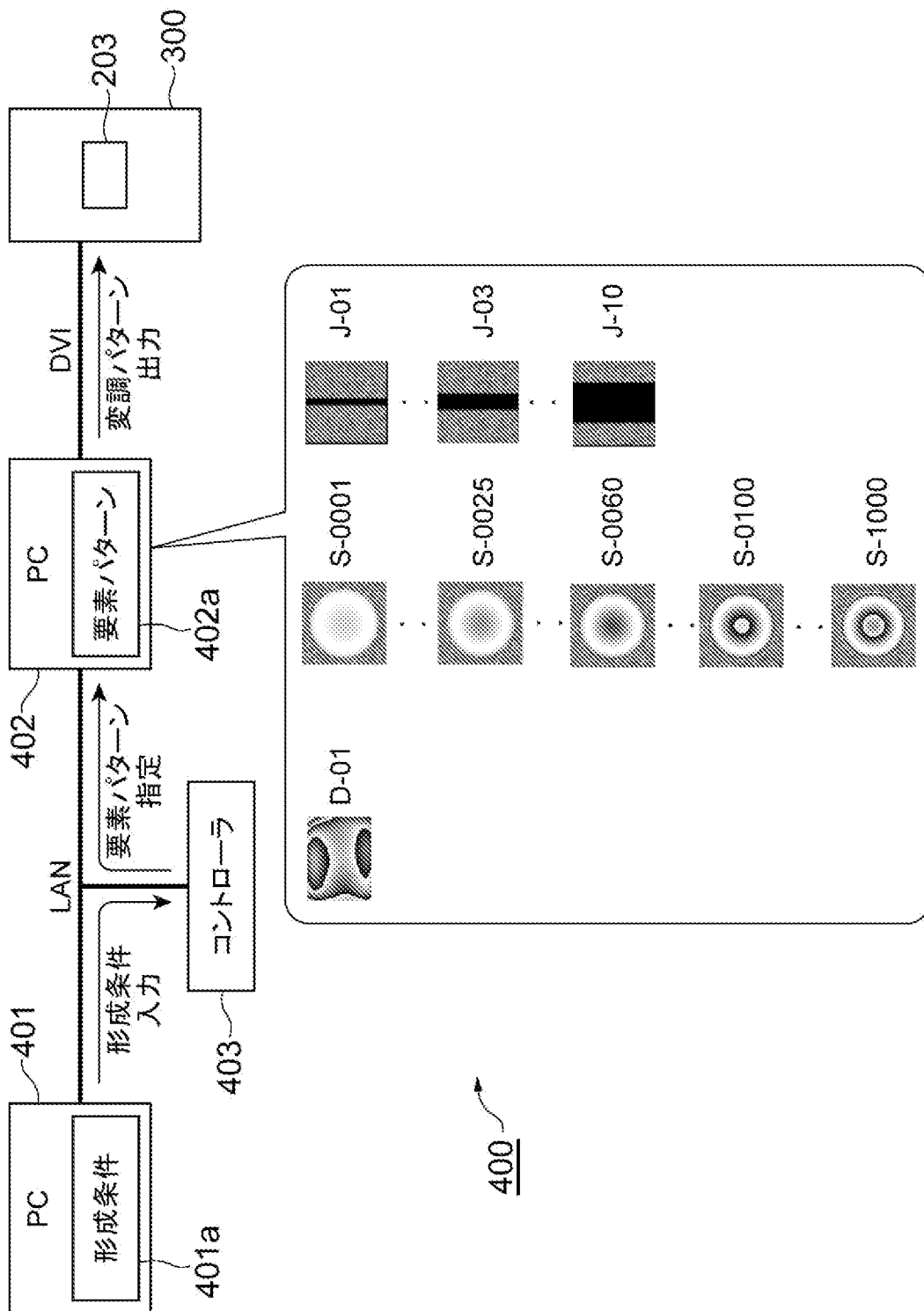
[図22]



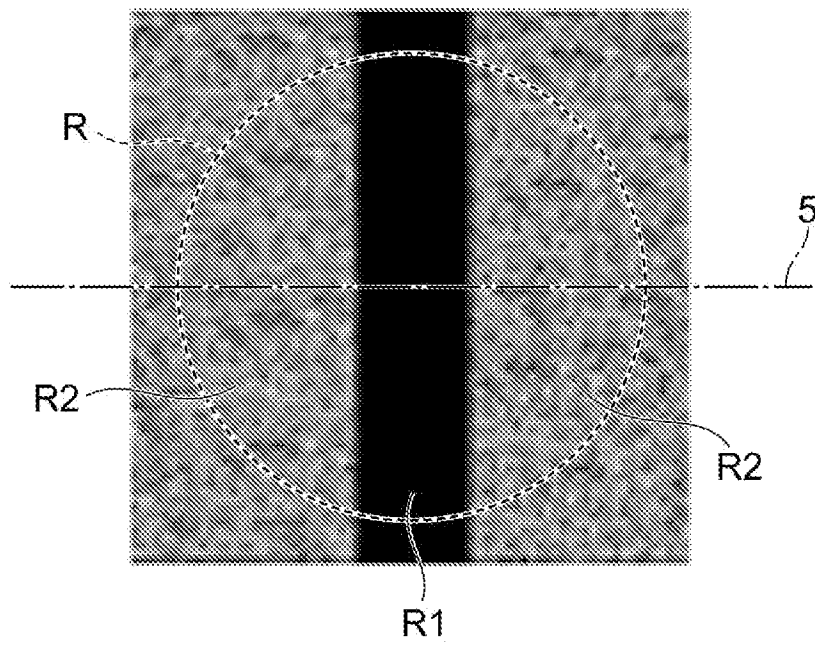
[図23]



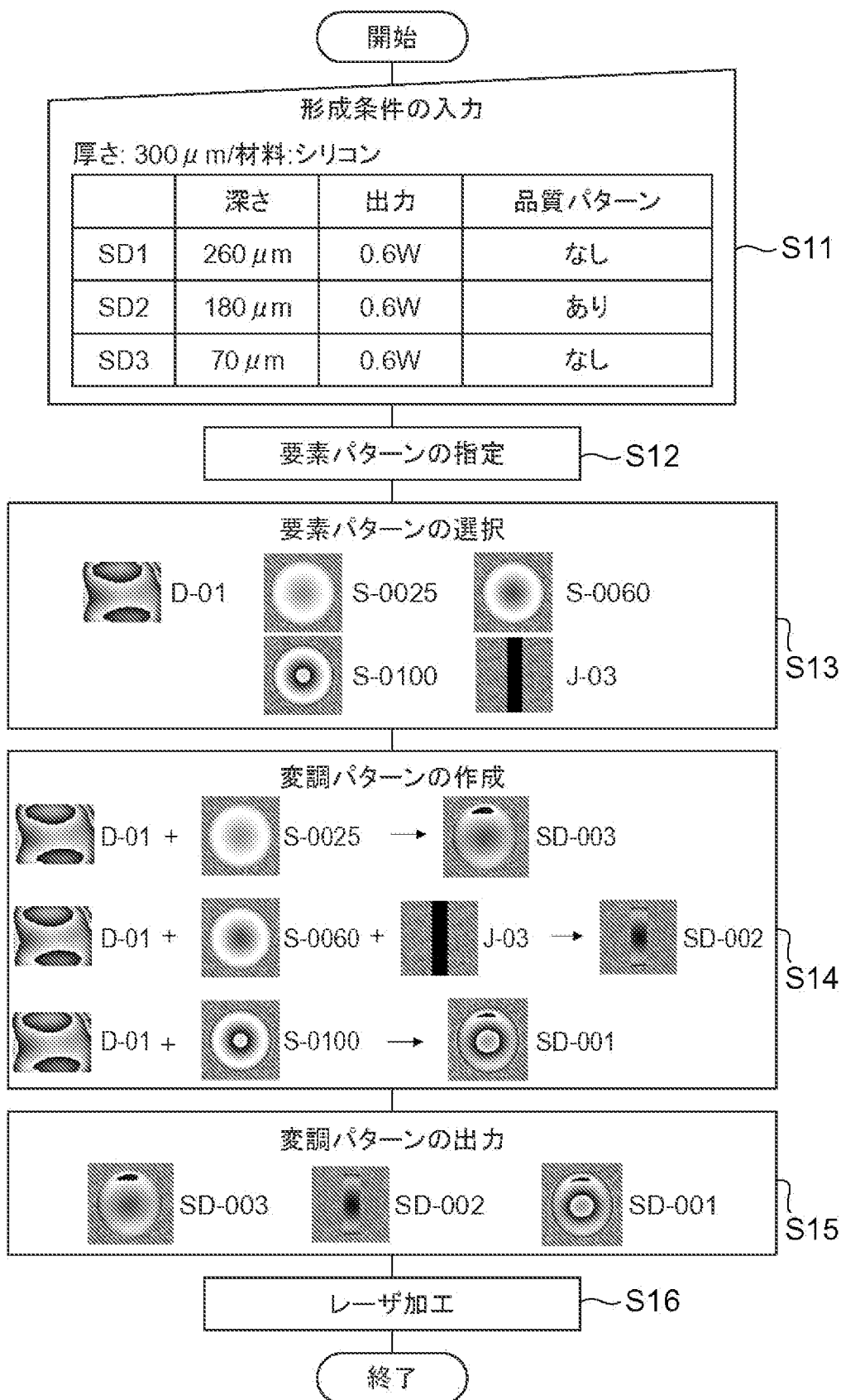
[図24]



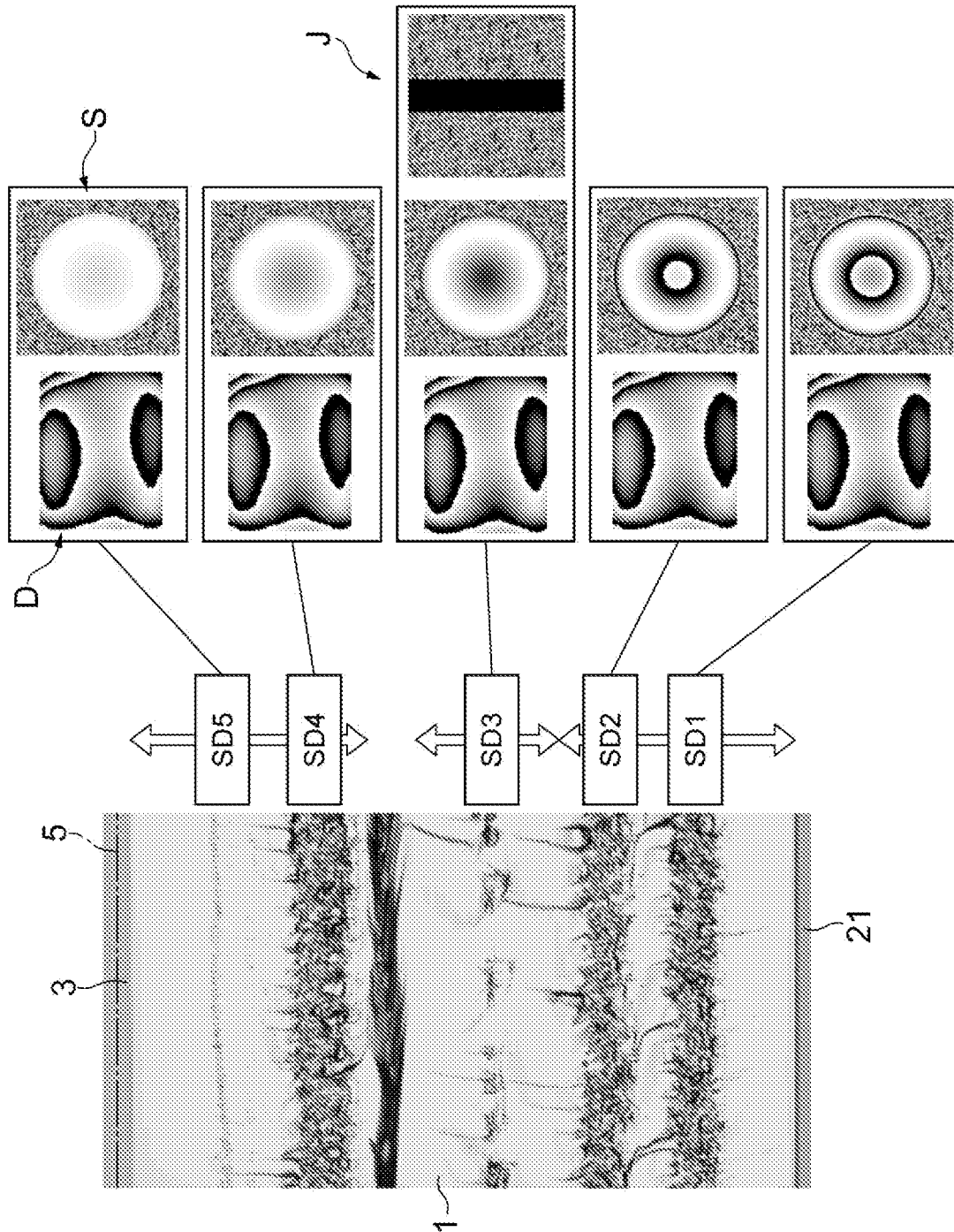
[図25]



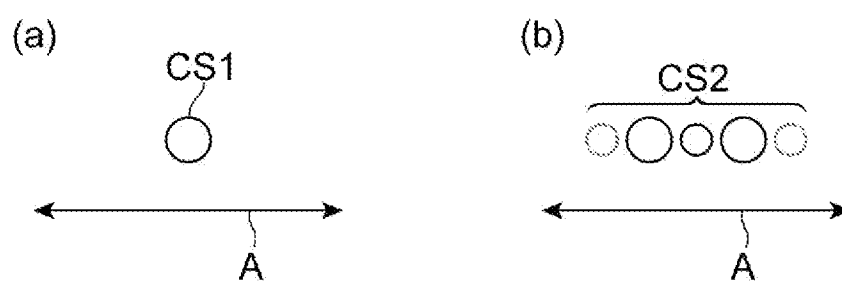
[図26]



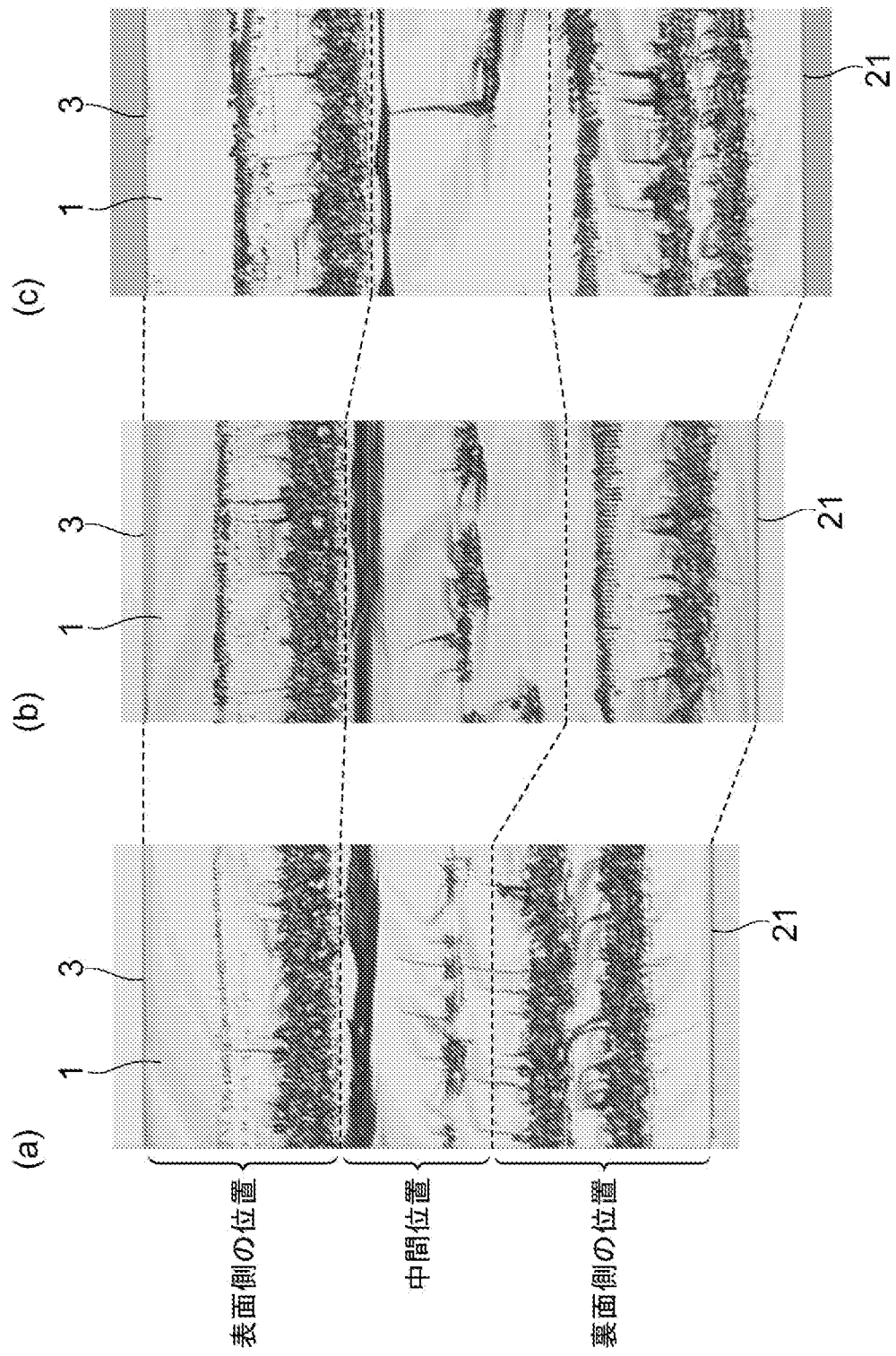
[図27]



[圖28]



[図29]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/051047

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

*B23K26/38*(2006.01) *i*, *B23K26/00*(2006.01) *i*, *B23K26/40*(2006.01) *i*, *H01L21/301*(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)

*B23K26/38*, *B23K26/00*, *B23K26/40*, *H01L21/301*, *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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 A	JP 2009-010105 A (Disco Inc.), 15 January 2009 (15.01.2009), paragraphs [0022] to [0043]; fig. 3 to 4 & US 2009/0004828 A1	1-3, 5-8, 13 4, 9-12
Y A	JP 2006-135355 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 25 May 2006 (25.05.2006), paragraph [0058]; fig. 21 to 22 & US 2006/0011593 A1 & EP 1498215 A1 & WO 2003/076118 A1 & TW 289890 B & CN 1642687 A & KR 10-2007-0114398 A	1-3, 5-8, 13 4, 9-12

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 April, 2010 (20.04.10)

Date of mailing of the international search report  
11 May, 2010 (11.05.10)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/051047

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 2006-167804 A (Canon Inc.), 29 June 2006 (29.06.2006), paragraphs [0007] to [0008]; fig. 9 to 10, 15 & US 2006/0108338 A1	2-3 4, 9-12
Y A	JP 2007-245173 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 27 September 2007 (27.09.2007), paragraphs [0029] to [0035]; fig. 12 & US 2009/0236324 A & WO 2007/105537 A1 & DE 112007000608 T & KR 10-2008-0103508 A & CN 101400475 A	7 4, 9-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. B23K26/38(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/40(2006.01)i, H01L21/301(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 (IPC))  
 Int.Cl. B23K26/38, B23K26/00, B23K26/40, H01L21/301, 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 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2010年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2010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 請求項の番号
Y	JP 2009-010105 A (株式会社ディスコ) 2009.01.15, 段落【0022】-【0043】、【図3】-【図4】 & US 2009/0004828 A1	1-3, 5-8, 13
A		4, 9-12
Y	JP 2006-135355 A (浜松ホトニクス株式会社) 2006.05.25, 段落【0058】、【図21】-【図22】 & US 2006/0011593 A1 & EP 1498215 A1 & WO 2003/076118 A1 & TW 289890 B	1-3, 5-8, 13
A	& CN 1642687 A & KR 10-2007-0114398 A	4, 9-12

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、一般的な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 20.04.2010  
 国際調査報告の発送日 11.05.2010

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) 青木 正博 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	3 P	3935
---	--	-----	------

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 請求項の番号
Y A	JP 2006-167804 A (キャノン株式会社) 2006.06.29, 段落 【0007】 - 【0008】, 【図9】 - 【図10】, 【図15】 & US 2006/0108338 A1	2 - 3 4, 9 - 12
Y A	JP 2007-245173 A (浜松ホトニクス株式会社) 2007.09.27, 段落 【0029】 - 【0035】, 【図12】 & US 2009/0236324 A & WO 2007/105537 A1 & DE 112007000608 T & KR 10-2008-0103508 A & CN 101400475 A	7 4, 9 - 12