

(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

(43) 国際公開日
2013 年 8 月 15 日(15.08.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/118645 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 26/40 (2006.01) B23K 26/08 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01) B23K 26/38 (2006.01)
B23K 26/04 (2006.01) B28D 5/00 (2006.01)
B23K 26/06 (2006.01) H01L 21/304 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/052322
- (22) 国際出願日: 2013 年 2 月 1 日(01.02.2013)
- (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 2012-023333 2012 年 2 月 6 日(06.02.2012) JP
- (71) 出願人: 信越ポリマー株式会社 (SHIN-ETSU POLYMER CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1010041 東京都千代田区神田須田町一丁目 9 番 Tokyo (JP). 国立大学法人埼玉大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION SAITAMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒3388570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 Saitama (JP).
- (72) 発明者: 国司 洋介 (KUNISHI, Yosuke); 〒3310811 埼玉県さいたま市北区吉野町 1-4 0 6-1 信越ポリマー株式会社内 Saitama (JP). 鈴木 秀樹 (SUZUKI, Hideki); 〒3310811 埼玉県さいたま市

北区吉野町 1-4 0 6-1 信越ポリマー株式会社内 Saitama (JP). 松尾 利香 (MATSUO, Rika); 〒3310811 埼玉県さいたま市北区吉野町 1-4 0 6-1 信越ポリマー株式会社内 Saitama (JP). 池野 順一 (IKENO, Junichi); 〒3388570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 国立大学法人埼玉大学内 Saitama (JP).

(74) 代理人: 三好 秀和, 外 (MIYOSHI, Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 番 8 号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).

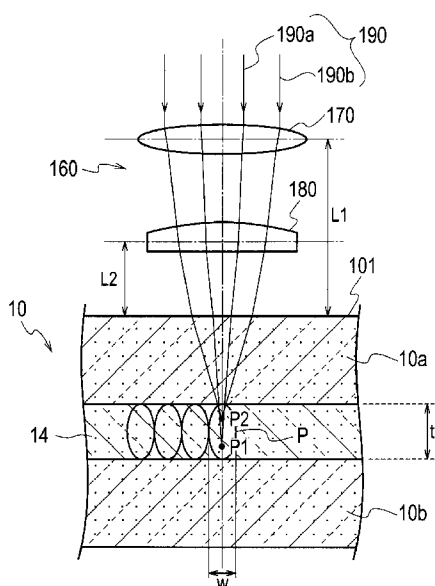
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ

[続葉有]

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

(54) 発明の名称: 基板加工方法及び基板加工装置



(57) Abstract: The present invention secures the product rate and provides thin silicon substrates. The device: comprises a laser light source (150), a laser-focusing unit (160) that irradiates laser light (190) from the laser light source (150) toward the surface (101) of a substrate (10) and focuses the laser light in the interior of the substrate (10), and a positioning means that contactlessly disposes the laser-focusing unit (160) above the substrate (10); and forms a modified layer (14) inside the substrate (10) by moving the laser-focusing unit (160) relative to the substrate (10). The device is configured so that the laser-focusing unit (160) focuses the laser light (190) symmetrically around the optical axis and, inside the substrate (10), the laser-focusing unit (160) causes light impinging on the outer circumference of the laser-focusing unit (160) to converge more than light impinging on the inner circumference of the laser-focusing unit (160).

(57) 要約: 薄いシリコン基板を製品率を確保して提供する。レーザ光源 150 と、レーザ光源 150 からのレーザ光 190 を基板 10 の表面 101 に向けて照射し、基板 10 内部にレーザ光を集光するレーザ集光部 160 と、レーザ集光部 160 を基板 10 上に非接触に配置する位置決め手段とを有し、レーザ集光部 160 と基板 10 を相対的に移動させて、基板 10 内部に改質層 14 を形成するものであって、レーザ集光部 160 は、レーザ光 190 を光軸に軸対称に集光するとともに、基板 10 内部において、レーザ集光部 160 の外周部に入射した光が、レーザ集光部 160 の内周部に入射した光より、レーザ集光部 160 で集光するように構成されている。



ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, 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 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：基板加工方法及び基板加工装置

技術分野

[0001] 本発明は、シリコン単結晶基板を加工する基板加工方法及び基板加工装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、シリコン（Si）ウェハに代表される半導体ウェハを製造する場合には、石英るつぼ内に溶融されたシリコン融液から凝固した円柱形のインゴットを適切な長さのブロックに切断して、その周縁部を目標の直径になるよう研削し、その後、ブロック化されたインゴットをワイヤソーによりウェハ形にスライスして半導体ウェハを製造するようにしている（例えば、特許文献1および2参照。）。

[0003] このようにして製造された半導体ウェハは、前工程で回路パターンの形成等、各種の処理が順次施されて後工程に供され、この後工程で裏面がバックグラインド処理されて薄片化が図られることにより、厚さが約750 μ mから100 μ m以下、例えば75 μ mや50 μ m程度に調整される。

[0004] 従来における半導体ウェハは、以上のように製造され、インゴットがワイヤソーにより切断され、しかも、切断の際にワイヤソーの太さ以上の切り代が必要となるので、厚さ0.1mm以下の薄い半導体ウェハを製造することが非常に困難であり、製品率も向上しないという問題があった。

[0005] 一方、高開口数の集光レンズにガラス板からなる収差増強材を組み合わせ、波長1064nmのパルス状レーザによりシリコンウェハの内部に加工を施した後、これを剛性基板に貼りあわせ、剥離することで薄い単結晶シリコン基板を得る技術が開示されている（特許文献3参照。）。

[0006] この技術によると、シリコン基板内部に厚み100 μ m程度の加工層が形成されていた。このため、結晶性基板から厚さ0.1mm程度の薄い基板を多数スライスする場合、材料歩留まりに限界があった。また、例えば、シリ

コン用の赤外線観察用収差増強材を外しても、加工層の厚みは大きく減少させることができなかった。

[0007] さらに、NAが0.5程度の対物レンズを使用した場合、加工層の厚みは減少するが、光量が減少して加工層の処理が十分に施されず、実際の剥離は困難であった。これに対して、照射回数を増やして加工層の処理を十分に施そうとすると、2次元の加工領域を1 μ mピッチの照射で埋め尽くす必要があるため、膨大な回数の照射パルスが必用になり、実用化には照射時間の問題が存在していた。

[0008] なお、この明細書中においては、別記する場合を除いてウェハのことを基板と称することにする。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2008-200772号公報

特許文献2：特開2005-297156号公報

特許文献3：特開2011-60862号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 本発明は、上記課題に対してなされたもので、結晶性基板の内部にレーザー光照射による内部加工層を形成し、内部加工層を境に剥離するための基板加工装置及び方法であって、レーザー光源の選択肢が広く、内部加工層の厚みが薄く、かつ、少ない数のレーザーパルス照射で、内部加工層を効率的に形成する基板加工装置および基板加工方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 上述の課題を解決するために、本発明に係る基板加工装置は、結晶基板を加工する基板加工装置であって、レーザー光源と、前記レーザー光源からのレーザー光を基板の表面に向けて照射し、基板内部にレーザー光を集光するレーザー集光手段と、前記レーザー集光手段を前記基板上に非接触に配置する位置決め手

段とを有し、前記レーザ集光手段と前記基板を相対的に移動させて、前記基板内部に改質層を形成するものであって、前記レーザ集光手段は、レーザ光を光軸に軸対称に集光するとともに、前記基板内部において、前記レーザ集光手段の外周部に入射した光が、前記レーザ集光手段の内周部に入射した光より、前記レーザ集光手段側で集光するように構成されているものである。

[0012] 前記レーザ集光手段は、レーザ光の集光を調整する集光調整手段を有することが好ましい。

[0013] 前記集光調整手段は、前記基板における表面から裏面に至るまでの深さに集光位置を調整することができることが好ましい。

[0014] 前記照射されるレーザ光は、パルス状であることが好ましい。

[0015] 前記改質層は、前記基板の表面と平行に形成されることが好ましい。

[0016] 前記基板の表面は、鏡面であることが好ましい。

[0017] 前記基板は、シリコン単結晶基板又はシリコンカーバイド単結晶基板であることが好ましい。

[0018] 前記基板を保持する基板保持手段をさらに有し、前記レーザ集光手段と前記基板保持手段に保持された前記基板を相対的に移動させることが好ましい。

[0019] 本発明に係る基板加工方法は、結晶基板を加工する基板加工方法であって、前記レーザ光源からのレーザ光を基板の表面に向けて照射し、前記基板内部にレーザ光を集光するレーザ集光手段を基板上に非接触に配置する位置決め工程と、前記レーザ集光手段と前記基板を相対的に移動させて、前記基板内部に改質層を形成する工程とを有し、前記レーザ集光手段は、レーザ光を光軸に軸対称に集光するとともに、前記基板内部において、前記レーザ集光手段の外周部に入射した光が、前記レーザ集光手段の内周部に入射した光より、前記レーザ集光手段側で集光するように構成されているものである。

[0020] 前記レーザ集光手段におけるレーザ光の集光を調整する集光調整工程をさらに有することが好ましい。

[0021] 前記集光調整工程は、前記基板における表面から裏面に至るまでの深さに

集光位置を調整することが好ましい。

[0022] 前記集光調整工程は、前記レーザ光が前記基板の表面に集光することが好ましい。

[0023] 前記集光調整工程は、前記レーザ光が前記基板の裏面に集光するように調整することが好ましい。

[0024] 前記改質層は、前記基板の表面と平行に形成されることが好ましい。

[0025] 前記改質層を形成した後、前記集光調整手段により集光点を前記レーザ集光手段側に移動し、第2の改質層を形成することが好ましい。

[0026] 前記基板を保持する工程をさらに有することが好ましい。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]基板内部加工装置の斜視図である。

[図2]基板を載置したステージの上面図である。

[図3]基板を載置したステージの断面図である。

[図4]基板に対するレーザ光の照射を説明する断面図である。

[図5]基板に対するレーザ光の照射を説明する上面図である。

[図6]基板に対するレーザ光の照射の第1の実施の形態を示す図である。

[図7]基板に対するレーザ光の照射の第2の実施の形態を示す図である。

[図8]基板における収差を説明する参考図である。

[図9]基板に対するレーザ光の照射の第3の実施の形態を示す図である。

[図10]基板に対するレーザ光の照射の第4の実施の形態を示す図である。

[図11]割断装置を示す正面図である。

[図12]金属板から基板を水中剥離することを説明する図である。

[図13]レーザ集光部の具体例を示す図である。

[図14]レーザ集光部の他の具体例を示す図である。

[図15]照射例1の内部改質層を示す写真である。

[図16]照射例2の内部改質層を示す写真である。

発明を実施するための形態

[0028] 次に、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。以下の図面の記

載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

[0029] 又、以下に示す実施の形態は、この発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、この発明の実施の形態は、構成部品の材質、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。この発明の実施の形態は、特許請求の範囲において、種々の変更を加えることができる。

[0030] (基板内部加工装置の構成)

図1は、基板内部加工装置100の構成を示す斜視図である。基板内部加工装置100は、ステージ110と、ステージ110がXY方向に移動可能のように支持するステージ支持部120と、ステージ110上に配置され、基板10を固定する基板固定具130とを有している。

[0031] また、基板内部加工装置100は、レーザ光源150と、レーザ集光部160を有し、レーザ集光部160は、レーザ光源150から発したレーザ光190を集光して基板10に向けて照射する。レーザ集光部160は、対物レンズ170及び平凸レンズ180を有している。

[0032] 図2は、ステージ110上に置いた基板10を示す上面図である。図3は、ステージ110上に置いた基板10を示す断面図である。

[0033] 基板10は、ステージ110上において基板固定具130によって保持されている。基板固定具130は、その上に設けられた固定テーブル125によって基板10を固定している。固定テーブル125には、通常の粘着層、機械的なチャック、静電チャックなどが適用可能である。

[0034] 基板10に集光して照射されるレーザ光190の集光点Pは、基板10の内部において、表面から所定の深さの領域に所定の形状の軌跡12を形成す

ることで、表面に水平方向に２次元状の内部改質層１４を形成することができる。

[0035] 図４は、基板１０における集光点Ｐと内部改質層１４の形成を説明する断面図、図５は、その上面図である。基板内部加工装置１００においては、基板１０の内部に浸透するレーザ光１９０は、レーザ集光部１６０を介して基板１０に向けて照射され、基板１０内部の所定位置に、厚さ方向（光軸方向） t 、幅方向（光軸と直交方向） w の集光点Ｐを形成する。

[0036] 集光点Ｐの近傍では、基板１０はレーザ光により加熱され、照射終了後は基板１０の熱伝導および熱輻射により冷却される。基板１０が単結晶、若しくは十分に結晶粒の大きな多結晶のシリコンや炭化ケイ素、あるいはサファイアのような結晶性基板の場合、レーザ光で供給されるエネルギーと時間を適切に選択することで、集光点Ｐ近傍の基板１０の結晶性を変化させ、多結晶化させることができる。

[0037] また、レーザ光１９０としてパルス状のレーザを使用し、基板１０をレーザ集光部１６０に対して相対的に移動させると、集光点Ｐは、レーザ光１９０の繰返し周波数と、移動速度に応じ、基板１０の表面１０１と並行に並ぶ列を形成し、さらにこの列を複数、配列することで、基板１０の表面１０１と平行に、面状に広がった内部改質層１４が形成される。

[0038] レーザ光１９０に適切なパルス状レーザを採用し、適切な条件で基板１０と集光手段１６０を相対的に移動させることで、基板１０の表面１０１にダメージを与えることなく、他の領域と結晶状態の変化させた表面１０１に平行な２次元状の内部改質層１４は、単結晶状態の他の領域と物性が異なるため、比較的小さな力でこの領域を境に、基板１０を分割することができる。

[0039] 内部改質層１４を介して基板１０を基板表面側１０ａと裏面側１０ｂに分割し、利用することを考えるとき、内部改質層１４自体は分割基板の作成のために最終的に除去されて損失となるため、その厚さ t は小さいことが好ましい。また、基板１０に内部改質層１４を効率よく形成するためには集光点Ｐの幅 w は大きいことが好ましい。

- [0040] 本実施の形態においては、レーザ集光部160は、レーザ集光部160の出射するレーザ光190がその光軸について軸対称であり、基板10の内部のレーザ光190の集光点190において、レーザ光190の外周側の成分190bの光線が交差する集光点P2が、レーザ光190の内周側190aの成分の光線が交差する集光点P1よりもレーザ集光部160側にあるように構成されている。
- [0041] 換言すると、基板10の表面はレーザ集光部160に対向しているので、レーザ光190の外周側の成分190bの集光点P2は、レーザ光190の内周側190aの集光点P1よりも、対物レンズ170及び平凸レンズ180側、すなわち基板10の表面から浅い位置にある。
- [0042] このような、屈折率の大きな基板10内部にこのように設定される集光点Pを形成するために使用されるレーザ集光部160は、集光点形状調整手段を有する。図4では、レーザ集光部160は、対物レンズ170及び集光点形状調整手段として平凸レンズ180で構成される。
- [0043] 大気中で、収差なく集光する対物レンズ170で集光されるレーザ光190で、外周部の光ほど平凸レンズ180で大きく曲げることで、シリコンのような屈折率の大きな素材で形成された基板10の内部に集光することが可能になる。
- [0044] この対物レンズ170及び集光点形状調整手段としての平凸レンズ180からなるレーザ集光部160を用いて、基板10の表面101と内部改質層14の距離を対物レンズ170と基板表面の距離L1で主に調整することができる。また、平凸レンズ180と基板10の表面101の距離L2を大きくすることで、集光点Pにおいて、集光点P1を基準に、集光点P2の位置をより基板10の表面101側に移動させることができる。
- [0045] この状態は、基板10によりレーザ光190に生じた収差が過剰に補正された状態であると思なすことができ、いわばピントを過剰に補正した「ピンボケ」状態であるといえることができる。このような状態で、基板10の所定の深さに形成される内部改質層14は厚さtを小さくし、かつ、理由は不明

であるがパルスあたりの加工幅 w を大きくすることが可能になる。

[0046] 内部改質層14は、レーザ光190を集光して照射することによって、加熱と冷却のプロセスを経るため、基板10が、単結晶シリコンの場合、多結晶化する。

[0047] このようなレーザ集光部160を用い、基板10に対してレーザ光190を照射する実施の形態について説明する。図6は、第1の実施の形態を示す図である。図6においては、便宜上、レーザ集光部160を平凸レンズ180により代表し、光軸Aを横方向に記載するが、レーザ光の集光は平凸レンズ180を含むレーザ集光部160全体によって行われるものである。

[0048] この第1の実施の形態では、大気中に置かれた集光点形状調整手段を有するレーザ集光部160に入射するレーザ光190を例に本発明を説明する。レーザ光190は便宜上、光軸Aに近い順に190-1～190-4とする。レーザ集光部160としては、例えば基板10の屈折率に対応した補正環を有する対物レンズが例示される。

[0049] 大気中で、レーザ集光部160に入射したレーザ光190は、レーザ集光部160によって集光され、同じく大気中に置かれた基板10の表面101を介して基板10の内部に集光される。光線190-1～4は、それぞれ基板10の屈折率の影響で、異なる角度で基板10の表面101で屈折し基板10の内部を進んで、光軸Aと交差する。

[0050] ビーム最外周の光（光軸Aから最も遠い位置で、集光部160に入射する光線）190-4は、その内周にある光線190-3よりも基板10の表面101から浅い位置で光軸Aと交差するし、さらに、190-3は190-2よりも表面101側で、さらに190-2は190-1よりも表面101側で光軸Aと交差するように、基板10の屈折率を考慮して設計する。

[0051] 換言すると、レーザ光190は内周側から外周側に移るに従い、レーザ集光部160に近い位置で集光するように、レーザ集光部160を設定する。このような設定は、補正環付き対物レンズでは、補正環の厚さ設定を、集光点Pの位置に形成される内部加工領域14の深さより大きく設定することで

達成することができる。

[0052] なお、レーザ集光部 160 の基板 10 に対する位置は、集光調整部によって移動することができる。この集光調整部は、レーザ集光部 160 と基板 10 の距離等を調整することにより基板 10 におけるレーザ光 190 の集光位置、集光形状等を調整するものであり、前述の集光形状調整手段を含むものである。このような集光調整部は従来技術を用いて容易に実現することができる。

[0053] 図 7 は、基板に対するレーザ光の照射の第 2 の実施の形態を説明する図である。第 2 の実施の形態では、レーザ集光部 160 によって集光されたレーザ光 190 が基板 10 の表面を焦点とするように集光調整部によって調整されている。

[0054] この第 2 の実施の形態は、例えば、第 1 の実施の形態で示したように基板 10 内部に集光点を設定する前に、レーザ集光部 190 の基板 10 に対する位置を初期設定するときを使用することができる。すなわち、図示しない集光調整部によって、第 2 の実施の形態においてレーザ光 190 が基板 10 の表面を焦点とする初期状態からレーザ集光部 190 と基板 10 の表面の距離を所定値にわたって短縮することにより、第 1 の実施の形態のように基板 10 内部に所望の集光点を形成することができる。なお、このような初期設定は、基板 10 の表面に限らず、基板 10 の裏面に焦点を合わせて行うこともできる。

[0055] 図 8 は、基板における収差を説明する参考図である。この参考図は、第 1 の実施の形態と対比するために、レーザ集光部 160 を設けない場合に生じる収差を示すものである。例えば、通常の対物レンズのみを設置した場合が相当する。

[0056] 図 8 (a) においては、第 2 の実施の形態と同様に、基板の 10 の表面を焦点としてレーザ光 190 が集光されている。この状態から基板 10 を光軸 A に沿って入射方向に移動してレーザ光 190 が基板 10 内で集光するようにする。この場合、図 8 (b) に示すように、光軸 A から離れた光（外周側

の成分) のが、光軸 A に近い (内周側の成分) よりも基板 10 の表面から深い位置で集光するようになる。

[0057] この状態は、光軸 A から離れた外周側の成分が光軸 A に近い内周側の成分より浅い位置に集光する第 1 の実施の形態とは、光線の光軸 A からの距離と基板 10 における集光点の深さが逆の関係となっている。換言すると、外周側の成分が内周側の成分より浅い位置に集光する第 1 の実施の形態は、レーザ集光部 160 を設けることによって初めて実現が可能となるものである。

[0058] 図 9 は、基板に対するレーザ光の照射の第 3 の実施の形態を示す図である。第 3 の実施の形態においては、図示しない集光点調整部によってレーザ集光部 160 と基板 10 の表面の距離を短縮するように調整し、基板 10 内において基板 10 の裏面 101b 近くにレーザ光 190 の集光点が形成されるように調整したものである。この集光点によって、基板の 10 の裏面 101b 近くに基板 10 の表面に平行に内部改質層 14 が形成される。

[0059] 図 10 は、基板に対するレーザ光の照射の第 4 の実施の形態を示す図である。第 4 の実施の形態においては、第 3 の実施の形態により基板 10 の裏面 101b 近くに内部改質層 14a を形成した後、図示しない集光調整手段によってレーザ集光部 160 と基板 10 の表面 101a の距離が拡大するように調整し、基板 10 内において基板 10 の表面 101a 近くにレーザ光 190 の集光点が形成されるようにしたものである。この集光点によって、基板 10 の表面 101a 近くに基板 10 の表面 101a に平行に第 2 の内部改質層 14b が形成される。なお、内部改質層 14 は、この第 4 の実施例のように 2 層に限らず、2 層以上の複数層であってもよい。

[0060] (基板の切断)

図 11 は、切断装置を示す正面図である。第 3 又は第 4 の実施の形態によって内部改質層 14 が形成された基板 10 は、この切断装置を用いて内部改質層 14 において切断される。

[0061] この切断装置 50 において、架台 52 上に、基板 10 の両面に第 1 及び第 2 の金属板 20、21 が接着剤にて接着されてなる構造体 40 が載置される

。この接着剤としては、基板 10 の内部改質層 14 近傍領域を形成する多結晶粒の凝集力よりも強い接着剤であればよく、例えば金属イオンを反応開始剤として硬化する嫌気性アクリル系二液モノマー成分からなる接着剤 25 を使用することができる。

[0062] 構造体 40 は、第 2 の金属板 21 に設けられた貫孔を利用して架台 52 に固定してよい。この状態において、第 1 の金属板 20 に切断治具 54 によって下向きの押圧力を印加する。これによって、基板 10 は第 1 及び第 2 の金属板 20、21 に接着した上面及び下面の両面の方向に逆向きの力を受け、力が所定の閾値を越えると、基板 10 は分割され、構造体 40 は上下 2 つに分離される。

[0063] (基板の剥離)

図 12 は、水中で金属板 20 から基板 10 を剥離する方法を説明する図である。水槽 60 に蓄えた 80～100℃の温水に、金属板 20、21 に接着剤 25 で接着された基板 10 を浸す。所定時間経過すると接着剤 25 が水と所定の反応を生じ、接着剤 25 から接着力が失われるので、水中で基板 10 から接着剤 25 を剥離することにより、金属板 20、21 から基板 10 を分離することができる。

[0064] このように接着剤 25 が剥離された基板 10 を乾燥することによって、最終的な分割した基板を得ることができる。なお、第 4 の実施の形態のように内部改質層 14a、14b が複数存在する場合には、基板 10 の切断の工程を複数回繰り返すことにより複数の内部改質層ごとに分割することができる。

[0065] (レーザ集光部の具体例)

図 13 は、レーザ集光部の具体例を示す図である。この具体例において、レーザ集光部 160 は、例えば高 NA で作動距離の長い対物レンズ 170 と基板 10 の表面側に設けた平凸レンズ 180 との組み合わせによって実現している。

[0066] 具体的には、厚み 1 mm の単結晶シリコンからなる基板 10 の内部加工に

については、基板 10 の表面側より、0.14 mm の位置に焦点距離 15 mm のガラス製の平凸レンズ 180（シグマ光機：SLB-10-15P）を置き、NA=0.3 の対物レンズ 170（シグマ光機：EPL-10）に組み合わせることができる。

[0067] このようなレーザ集光部 160 においては、図示しない集光調整手段は、平凸レンズ 80 と基板 10 の表面の距離で集光点の形状を調整し、対物レンズ 170 と基板 10 の表面の距離で集光点の位置を調整するように構成することができる。

[0068] 図 14 は、レーザ集光部の他の具体例を示す図である。他の具体例では、NA=0.5~0.9 の補正環を有するシリコン用の赤外線対物レンズにより実現している。具体的には、例えばオリンパス製レンズ LCPLN100XIR を使用する場合、内部加工層 14 を結晶 10 の表面から 300 μ m の位置に設けるときに補正環を 0.6 mm に設定することで、基板 10 内において、レーザ集光部 160 の外周部に入射した光が、内周部に入射した光より、レーザ集光 160 側で集光するように設定することができる。

[0069] この他の実施例によると、前述の実施例のように対物レンズ 170 及び平凸レンズ 180 という複数の構成部材を必要とすることなく、単一の補正環付き対物レンズにより構成できるので、装置の構成が簡単になり、操作が容易になる。

[0070] なお、この他の具体例においては、基板 10 のより表面側に内部改質層 14 を形成する場合、レーザ集光手段 160 と基板 10 の表面との距離を大きくする必要がある。この場合、レーザ光 190 が基板 10 の表面に及ぼす影響を抑制するため、虹彩絞りやビームエクスパンダなどのビーム径調整手段をレーザ集光部 160 の入射側に設けレーザ光 190 の外周側成分の光量を低減することがある。

実施例

[0071] 以下、実施例として各種条件について実施した照射例 1~6 について説明する。これらの照射例 1~6 においては、基板内部加工装置 100 のレーザ

光源 150 としては、波長 1064 nm、繰り返し周波数 200 kHz、出力 1.6 W、パルス幅 10 nm のものを使用した。

[0072] [照射例 1]

基板内部加工装置 100 において、x 軸、y 軸方向にそれぞれ最大速度 200 mm/s で移動可能な xy ステージ 110 上に、大きさ 50×50 mm、厚み 0.7 mm、表面が鏡面加工された単結晶シリコンからなる基板 10 を載置固定した。

[0073] レーザ集光部 160 は、NA=0.85 のシリコン用補正環 210 付の顕微鏡用赤外対物レンズ 200（オリンパス製 LCPLN100XIR）を用いた。そして、補正環 210 を 0 mm に設定した上、参照光により観察し、対物レンズ 200 から照射される光が基板 10 の表面上に焦点を形成するように、対物レンズ 200 を基板 10 の表面に対して位置決めをした。

[0074] ついで、この位置を基準に対物レンズ 200 を基板 10 の表面に向けて 0.06 mm 移動させた。この状態で補正環 210 の設定を 0.0 mm、0.3 mm とし、ステージ 110 を x 方向に 200 mm/s の速度で移動させ、さらに y 方向に 10 μm 送ることを 10 回繰り返すことで、対物レンズ 200 から基板 10 に向けてレーザ光 190 を 10 μm 間隔でそれぞれ 10 本の直線状に照射した。

[0075] この基板 10 を直線状の照射方向に直角に劈開を行い、断面を観察した。この結果、図 15 に示すように、基板 10 鏡面側表面から 0.3 mm の深さにそれぞれ加工領域の長さが 70 μm のほぼ同じ加工痕を確認した。なお、図中の左側及び右側の加工痕は、それぞれ補正環 210 を 0.0 mm 及び 0.3 mm を設定したときに対応している。なお、この加工跡は、前述した周期的構造に相当するものである。

[0076] [照射例 2]

この照射例 2 においては、対物レンズ 200 の補正環 210 を 0.6 mm に設定した。他の条件は照射例 1 と同様である。この照射例 2 では、図 16 に示すように、基板 10 における加工痕の長さは 30 μm に減少し、かつ隣

接する加工痕同士が連結する状態が確認できた。

[0077] [照射例 3]

この照射例 3 においては、照射例 2 と同様に対物レンズ 200 補正環 210 を 0.6 mm に設定した。そして、基板 10 を載置したステージ 110 の y 方向送りを 1 μ m ピッチで 50000 回とすることで、基板 10 の 50 × 50 mm の領域を加工したサンプルを作成した。他の条件は照射例 1 と同様である。

[0078] このサンプルから 10 mm × 10 mm の領域を切り出した基板 10 を、接着剤（電気化学工業製 SOLARLOC HIK-700M20）を用いてヤスリかけした 2 枚の金属板（SUS304、厚み 10 mm）板の間に固定硬化後、2 枚の金属板を剥離したところ、上下面の金属板に内部加工領域を境に剥離した基板 10 が接着した状態で得られた。

[0079] これを 100℃ の熱水中に 4 時間放置することで、内部加工領域 14 を境に基板 10 が剥離し、10 mm × 10 mm でそれぞれ厚さ 300 μ m、400 μ m 厚の 2 枚の基板 10 が得られた。

[0080] [照射例 4]

この照射例 4 においては、対物レンズ 200 の補正環 210 を 0.6 mm に設定し、ステージ 110 の 7 方向への送りを 2 μ m ピッチで 25000 回とした。他の条件は照射例 3 と同様である。この照射例 4 においても、内部加工領域 14 を境に基板 10 が剥離し、10 mm × 10 mm でそれぞれ厚さ 300 μ m、400 μ m 厚の 2 枚のシリコン基板が得られた。

[0081] [照射例 5]

この照射例 5 においては、対物レンズ 200 の補正環 210 を 0.3 mm に設定した。他の条件は、照射例 3 と同様である。この照射例 5 においても、照射例 3 と同様の処理によって基板 10 を内部改質層 14 を境に剥離することを試みた。しかしながら、基板 10 と接着剤層の界面で剥離が発生し、内部改質層 14 を境として剥離することはできなかった。

[0082] [照射例 6]

この照射例 6 においては、対物レンズ 200 の補正環 210 を 0.0 mm にした。他の条件は、照射例 5 と同様である。この照射例 6 においても、基板 10 と接着剤層の界面で剥離が発生し、内部改質層 14 を境として剥離することはできなかった。

[0083] なお、上記の実施の形態においてはシリコン単結晶基板について例示したが、例えばシリコンカーバイド (SiC) 等にも同様に適用することができる。

産業上の利用可能性

[0084] 本発明の基板加工装置及び方法により基板を効率良く薄く形成することができることから、薄く切り出された基板は、Si 基板であれば、太陽電池に応用可能であり、また、GaN 系半導体デバイスなどのサファイア基板などであれば、発光ダイオード、レーザダイオードなどに応用可能であり、SiC などであれば、SiC 系パワーデバイスなどに応用可能であり、透明エレクトロニクス分野、照明分野、ハイブリッド／電気自動車分野など幅広い分野において適用可能である。

符号の説明

- [0085] 10 基板
14 内部改質層
100 基板内部加工装置
110 ステージ
120 ステージ支持部
150 レーザ光源
160 レーザ集光部
170 対物レンズ
180 平凸レンズ
190 レーザ光

請求の範囲

- [請求項1] 結晶基板を加工する基板加工装置であって、
 レーザ光源と、
 前記レーザ光源からのレーザ光を基板の表面に向けて照射し、基板内部にレーザ光を集光するレーザ集光手段と、
 前記レーザ集光手段を前記基板上に非接触に配置する位置決め手段とを有し、
 前記レーザ集光手段と前記基板を相対的に移動させて、前記基板内部に改質層を形成するものであって、
 前記レーザ集光手段は、レーザ光を光軸に軸対称に集光するとともに、前記基板内部において、前記レーザ集光手段の外周部に入射した光が、前記レーザ集光手段の内周部に入射した光より、前記レーザ集光手段側で集光するように構成されていることを特徴とする基板加工装置。
- [請求項2] 前記レーザ集光手段は、レーザ光の集光を調整する集光調整手段を有することを特徴とする請求項1記載の基板加工装置。
- [請求項3] 前記集光調整手段は、前記基板における表面から裏面に至るまでの深さに集光位置を調整することができることを特徴とする請求項2記載の基板加工装置。
- [請求項4] 前記照射されるレーザ光は、パルス状であることを特徴とする請求項1記載の基板加工装置。
- [請求項5] 前記改質層は、前記基板の表面と平行に形成されることを特徴とする請求項1記載の基板加工装置。
- [請求項6] 前記基板の表面は、鏡面であることを特徴とする請求項1記載の基板加工装置。
- [請求項7] 前記基板は、シリコン単結晶基板又はシリコンカーバイド単結晶基板である請求項1記載の基板加工装置。
- [請求項8] 前記基板を保持する基板保持手段をさらに有し、前記レーザ集光手

段と前記基板保持手段に保持された前記基板を相対的に移動させることを特徴とする請求項 1 記載の基板加工装置。

- [請求項9] 結晶基板を加工する基板加工方法であって、
- レーザ光源からのレーザ光を基板の表面に向けて照射し、前記基板内部にレーザ光を集光するレーザ集光手段を基板上に非接触に配置する位置決め工程と、
- 前記レーザ集光手段と前記基板を相対的に移動させて、前記基板内部に改質層を形成する工程とを有し、
- 前記レーザ集光手段は、レーザ光を光軸に軸対称に集光するとともに、前記基板内部において、前記レーザ集光手段の外周部に入射した光が、前記レーザ集光手段の内周部に入射した光より、前記レーザ集光手段側で集光するように構成されていることを特徴とする基板加工方法。

- [請求項10] 前記レーザ集光手段におけるレーザ光の集光を調整する集光調整工程をさらに有することを特徴とする請求項 9 記載の基板加工方法。

- [請求項11] 前記集光調整工程は、前記基板における表面から裏面に至るまでの深さに集光位置を調整することができることを特徴とする請求項 10 記載の基板加工方法。

- [請求項12] 前記集光調整工程は、前記レーザ光が前記基板の表面に集光するように調整することを特徴とする請求項 11 記載の基板加工方法。

- [請求項13] 前記集光調整工程は、前記レーザ光が前記基板の裏面に集光するように調整することを特徴とする請求項 11 記載の基板加工方法。

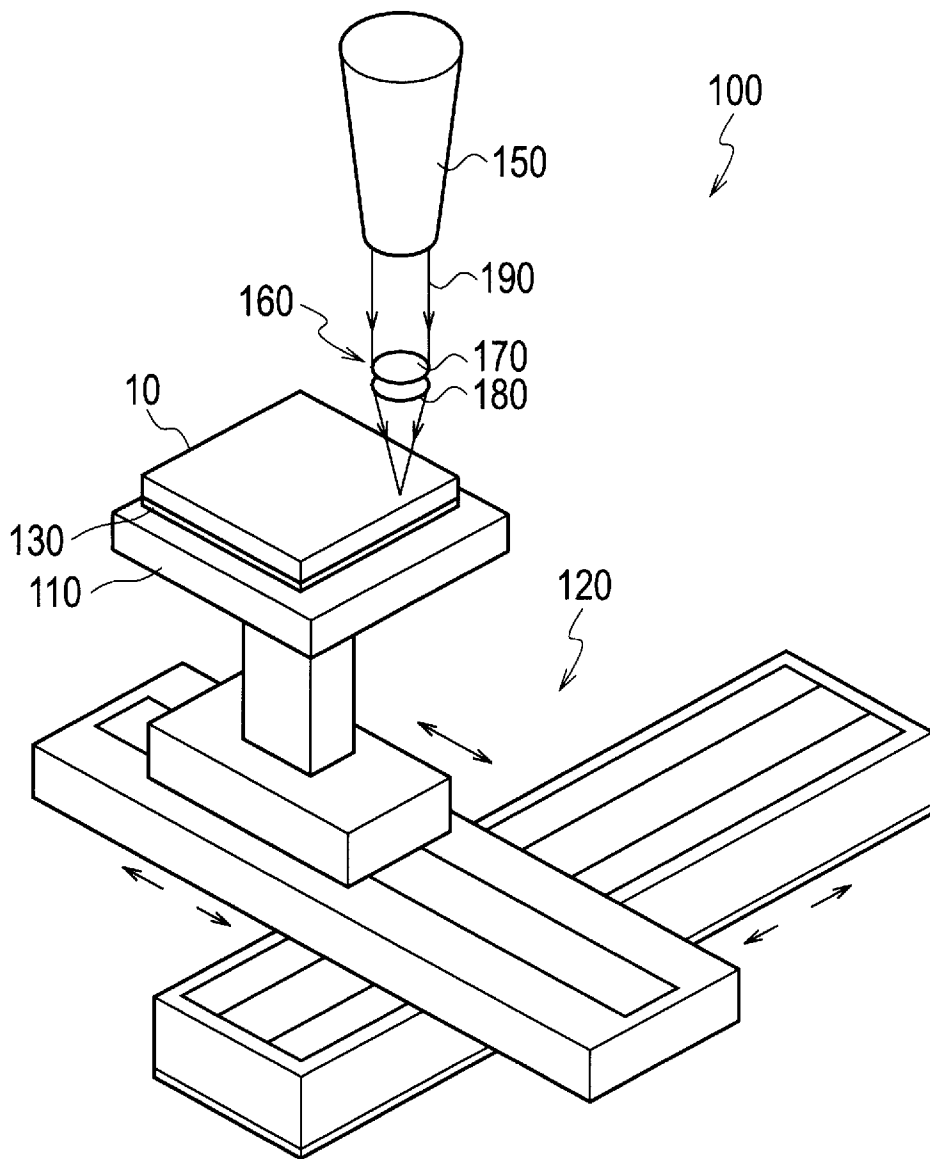
- [請求項14] 前記改質層は、前記基板の表面と平行に形成されることを特徴とする請求項 10 記載の基板加工方法。

- [請求項15] 前記改質層を形成した後、前記集光調整工程により集光点を前記レーザ集光手段側に移動し、第2の改質層を形成することを特徴とする請求項 14 記載の基板加工方法。

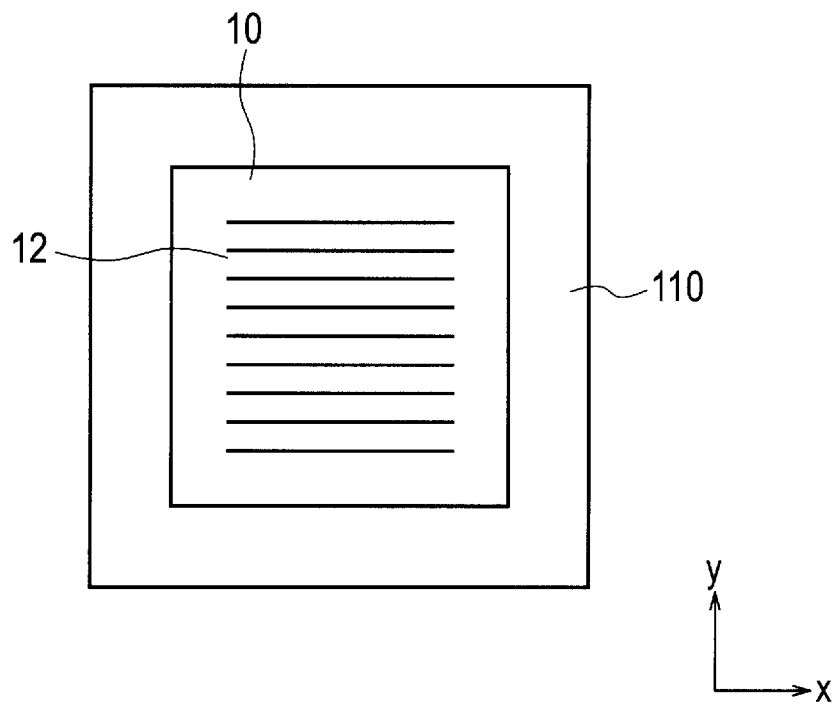
- [請求項16] 前記基板を保持する工程をさらに有することを特徴とする請求項 9

記載の基板加工方法。

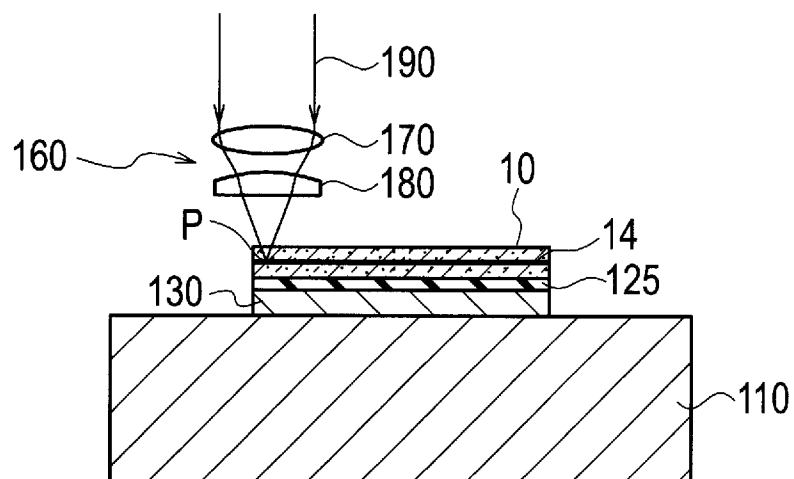
[図1]



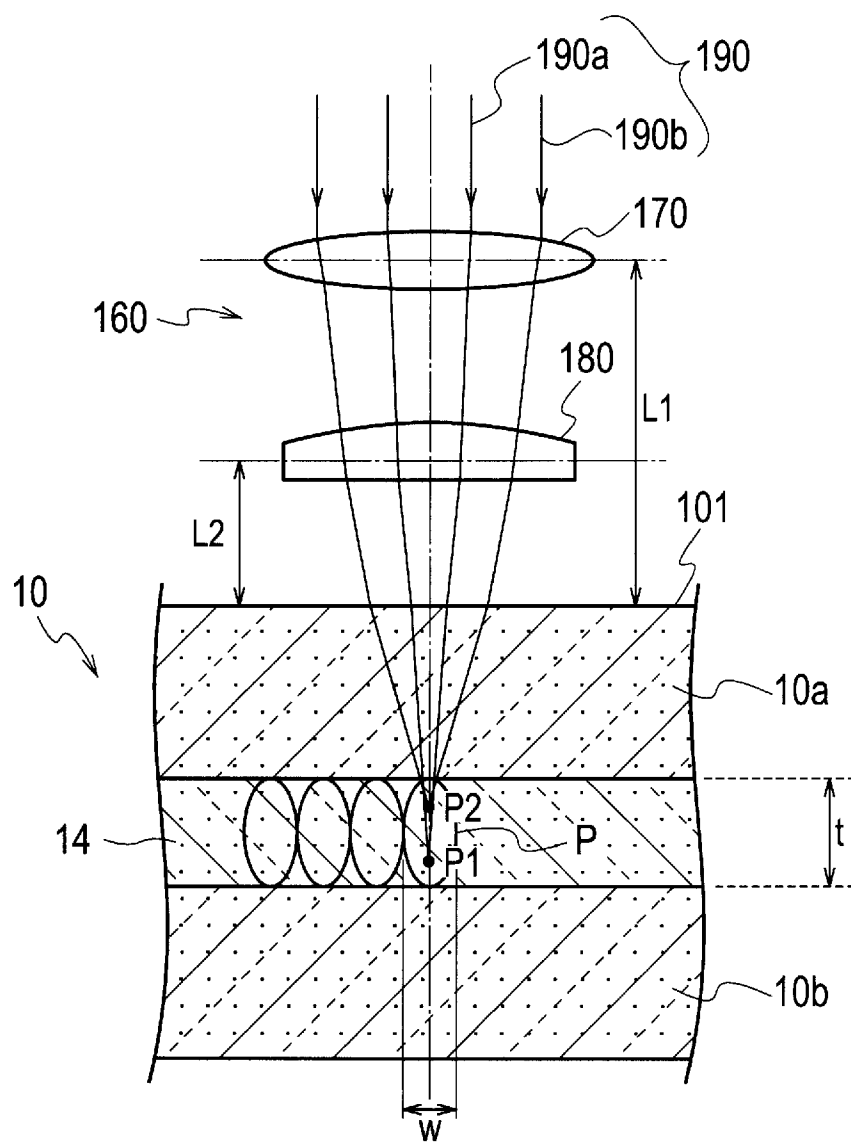
[図2]



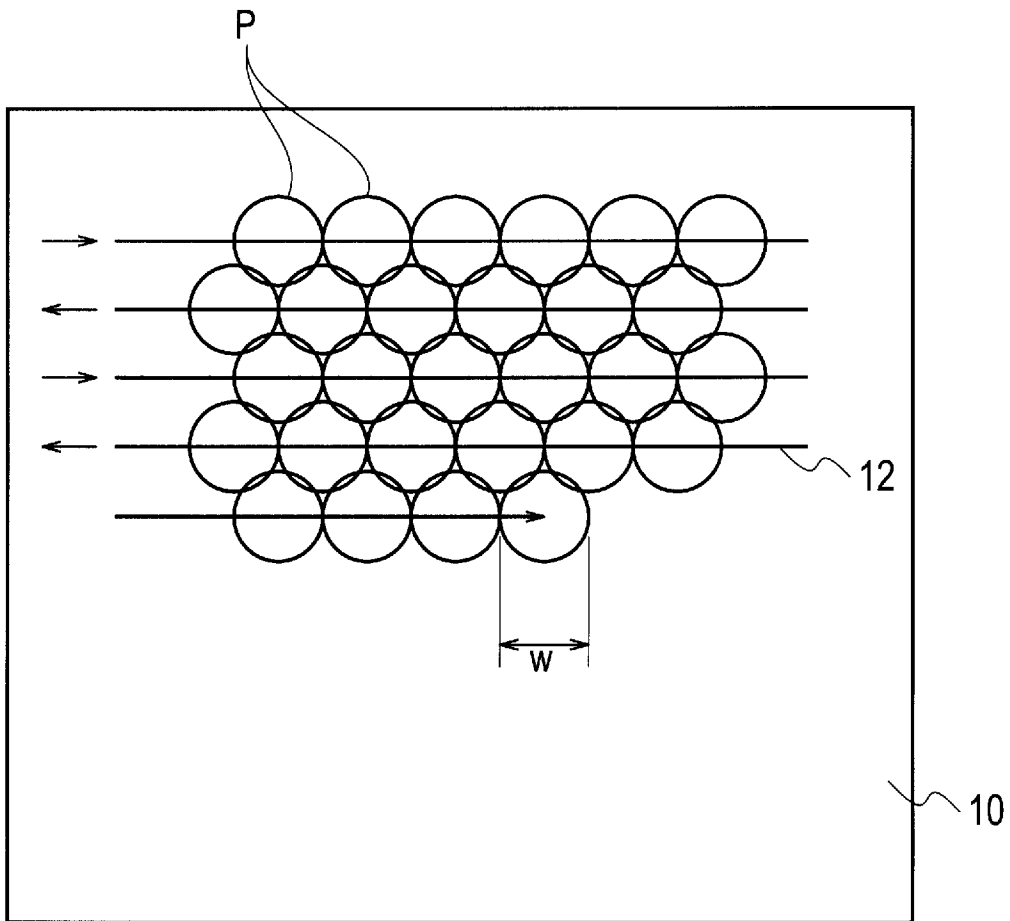
[図3]



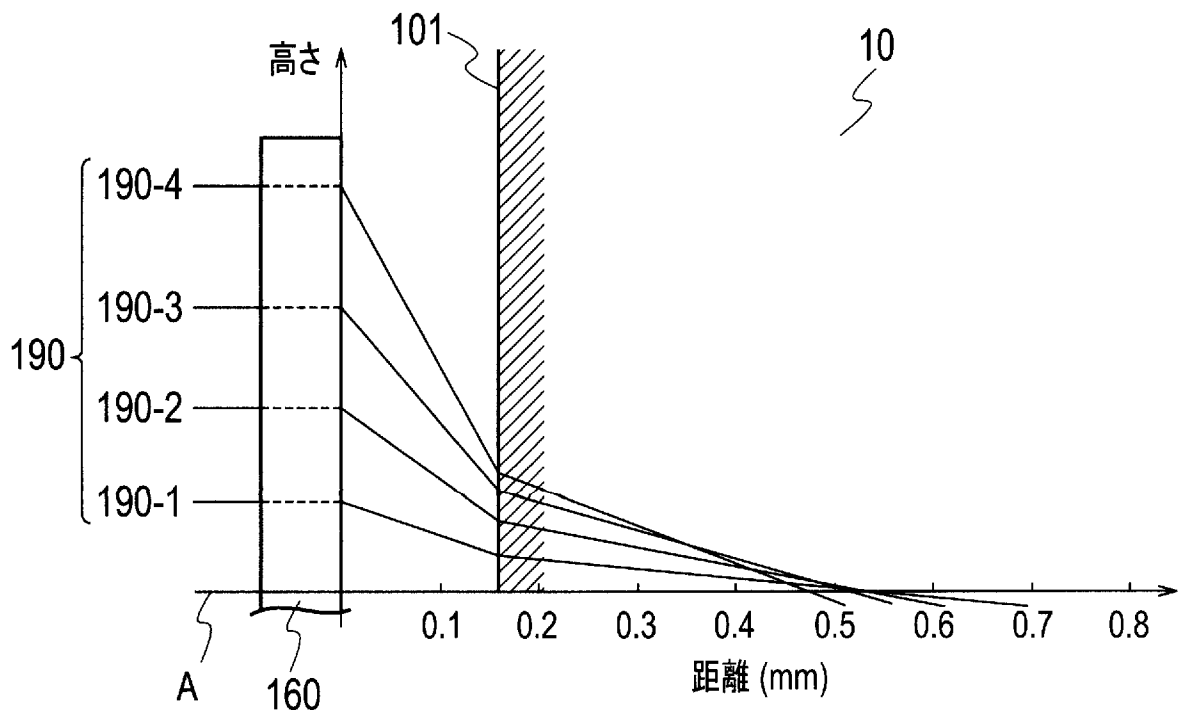
[図4]



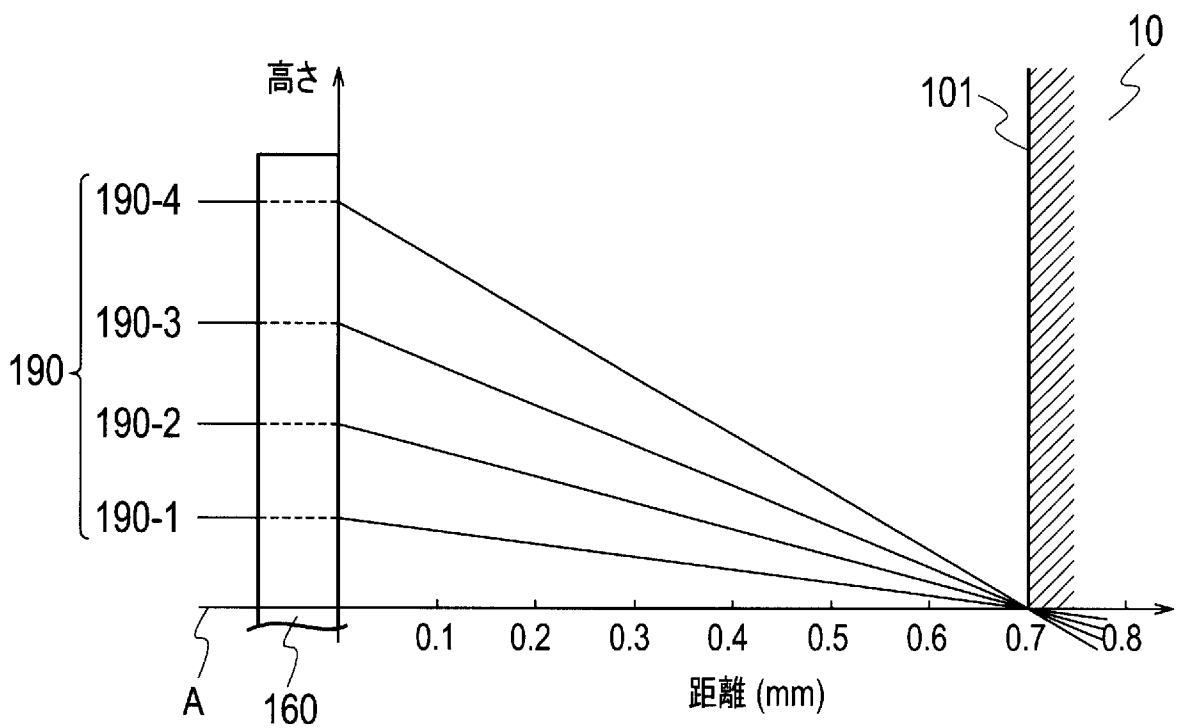
[図5]



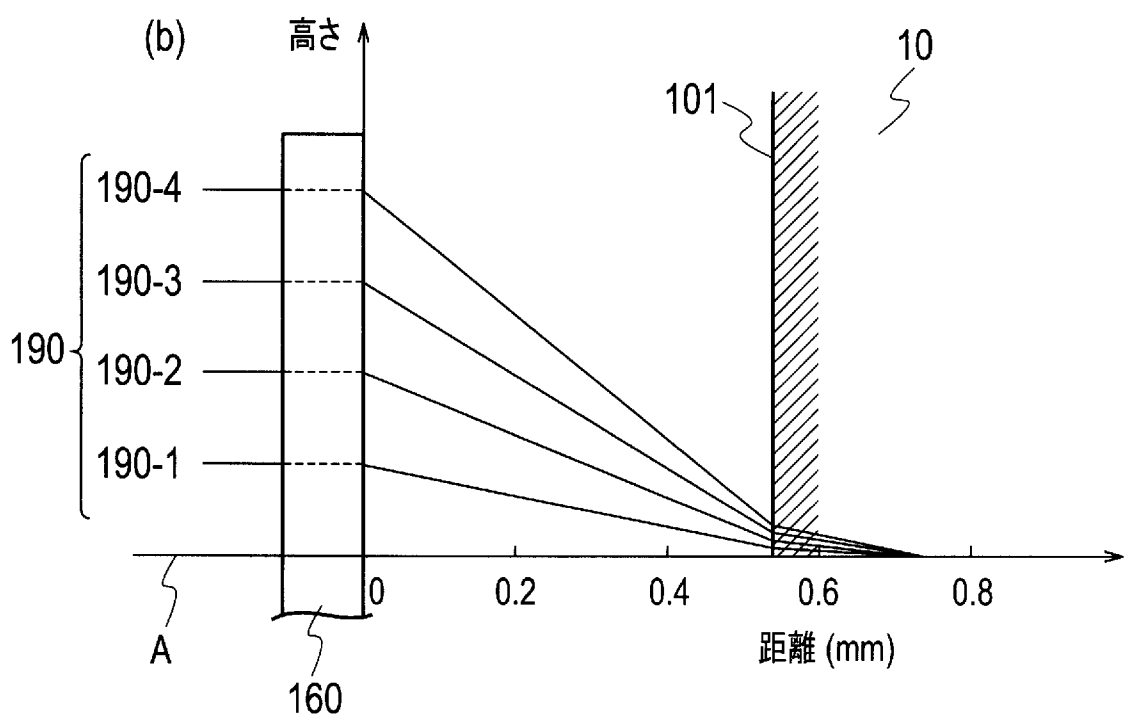
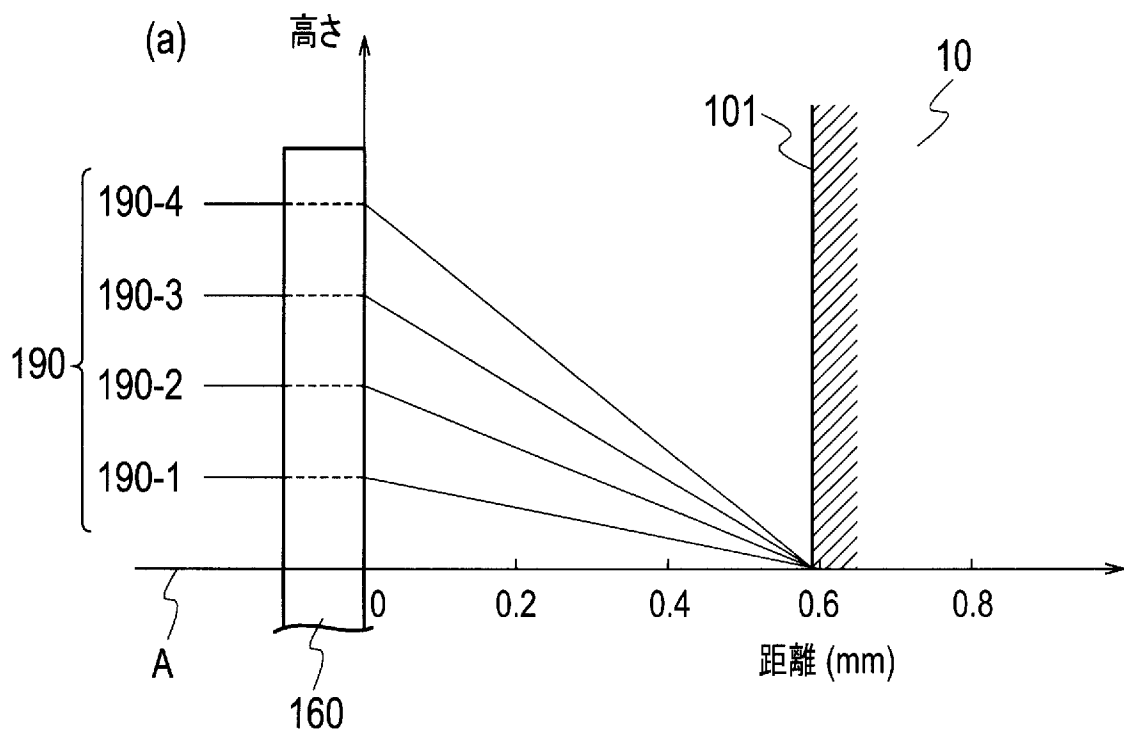
[図6]



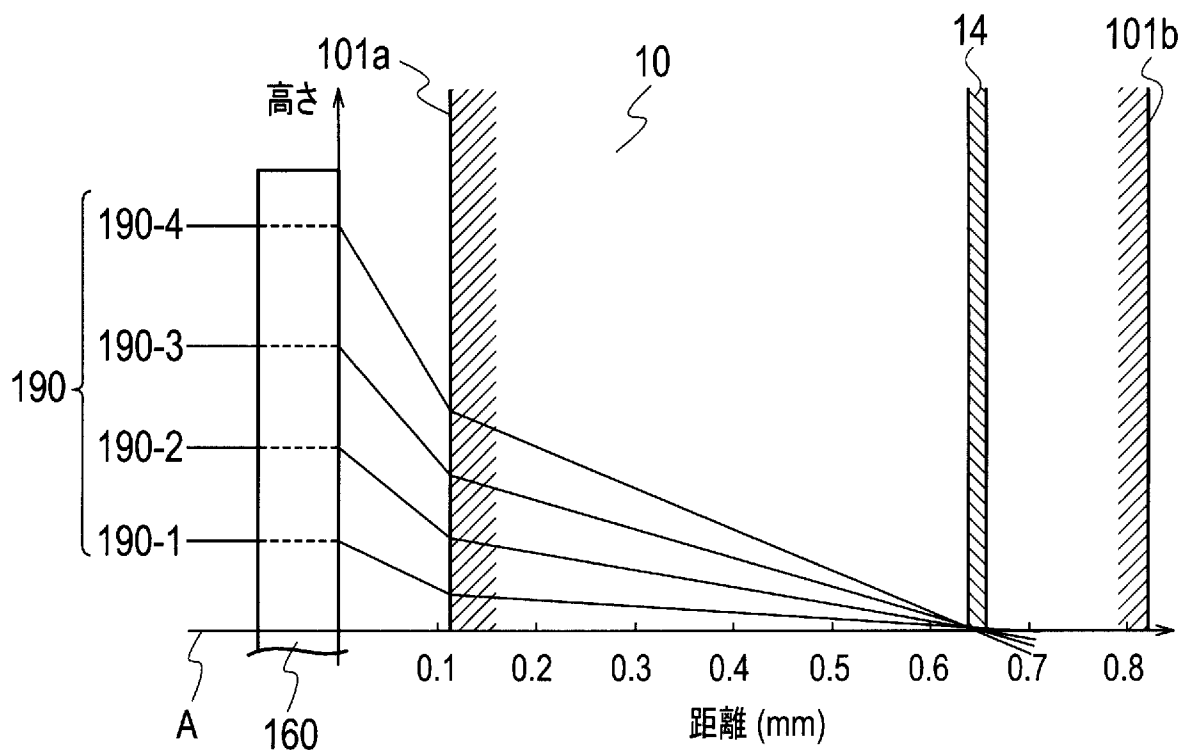
[図7]



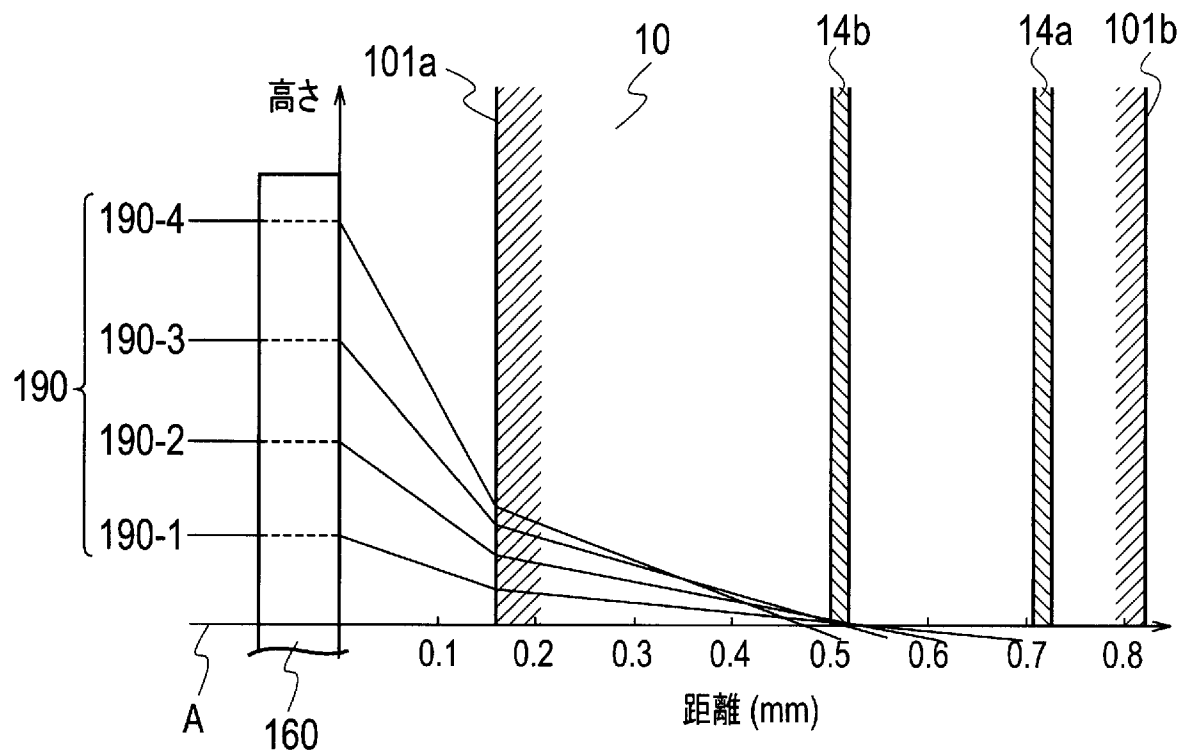
[図8]



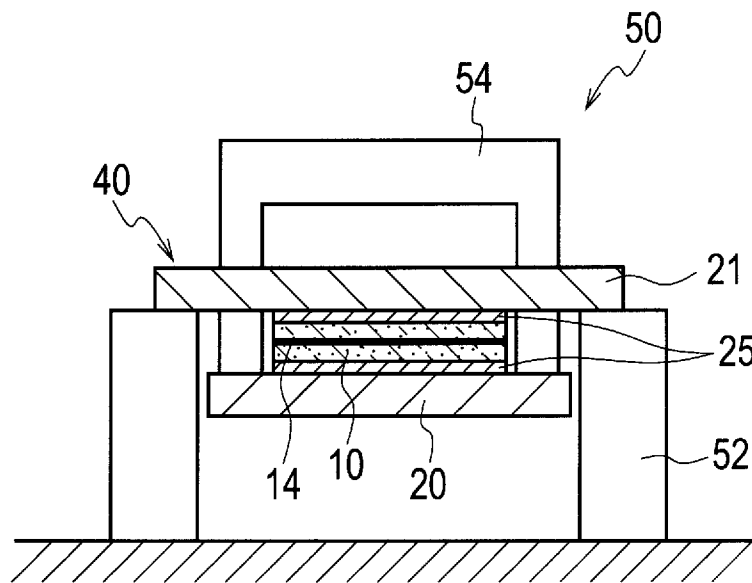
[図9]



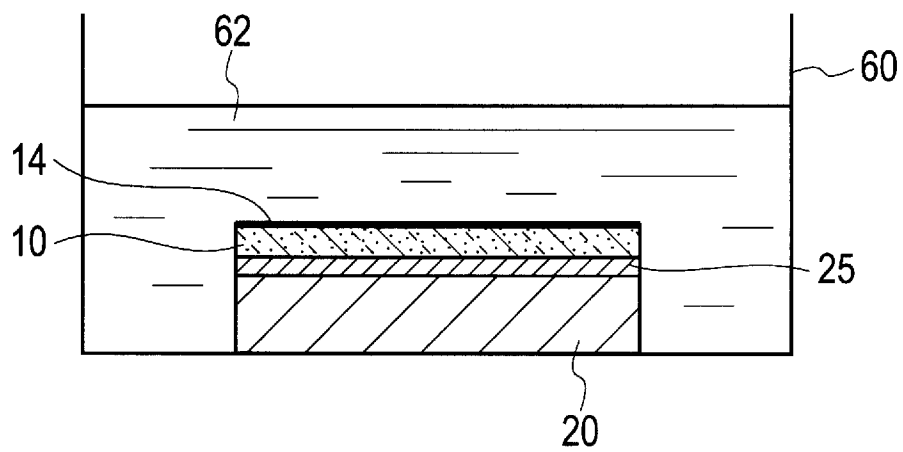
[図10]



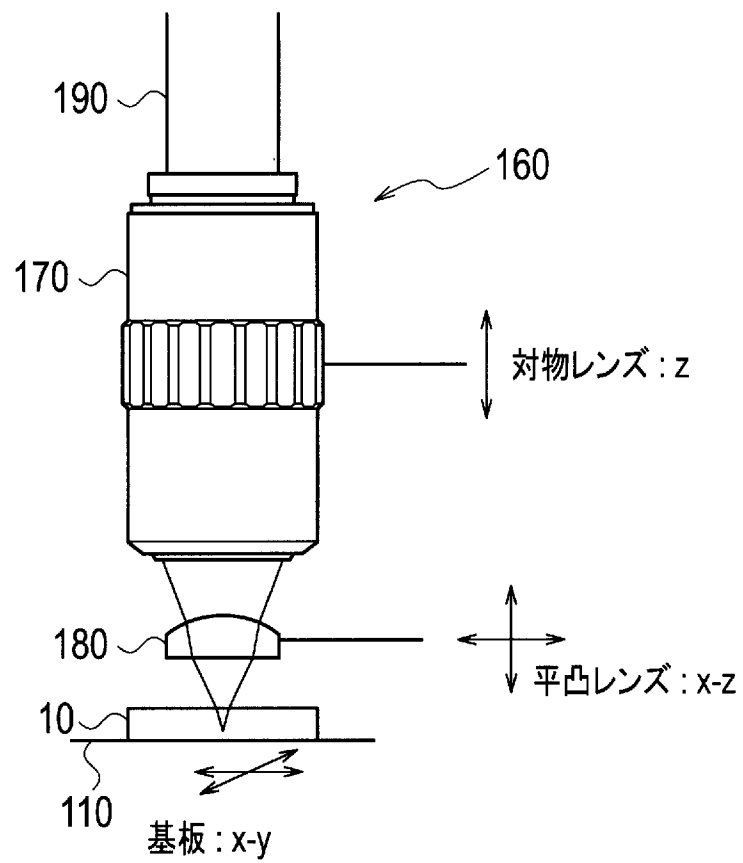
[図11]



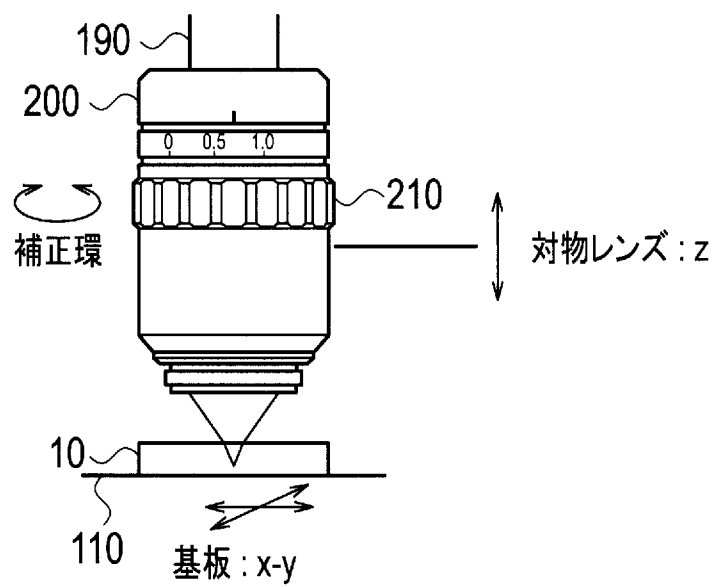
[図12]



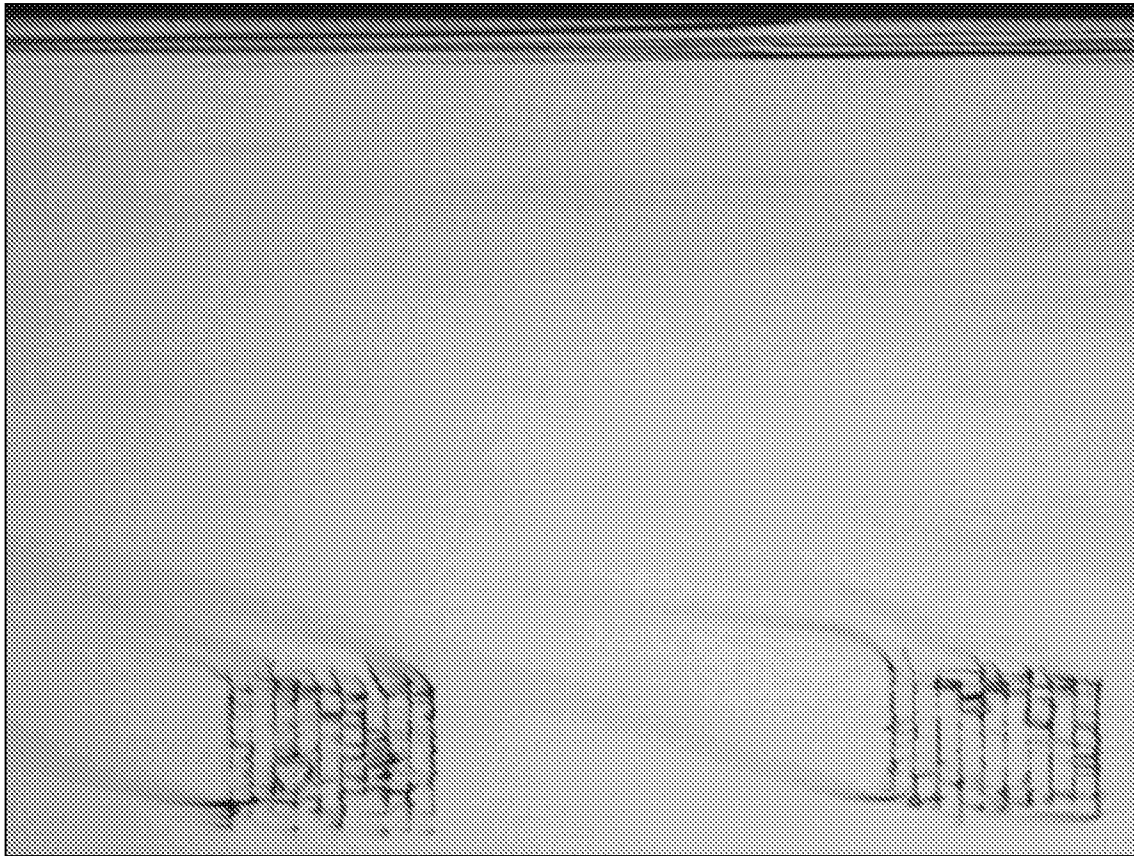
[図13]



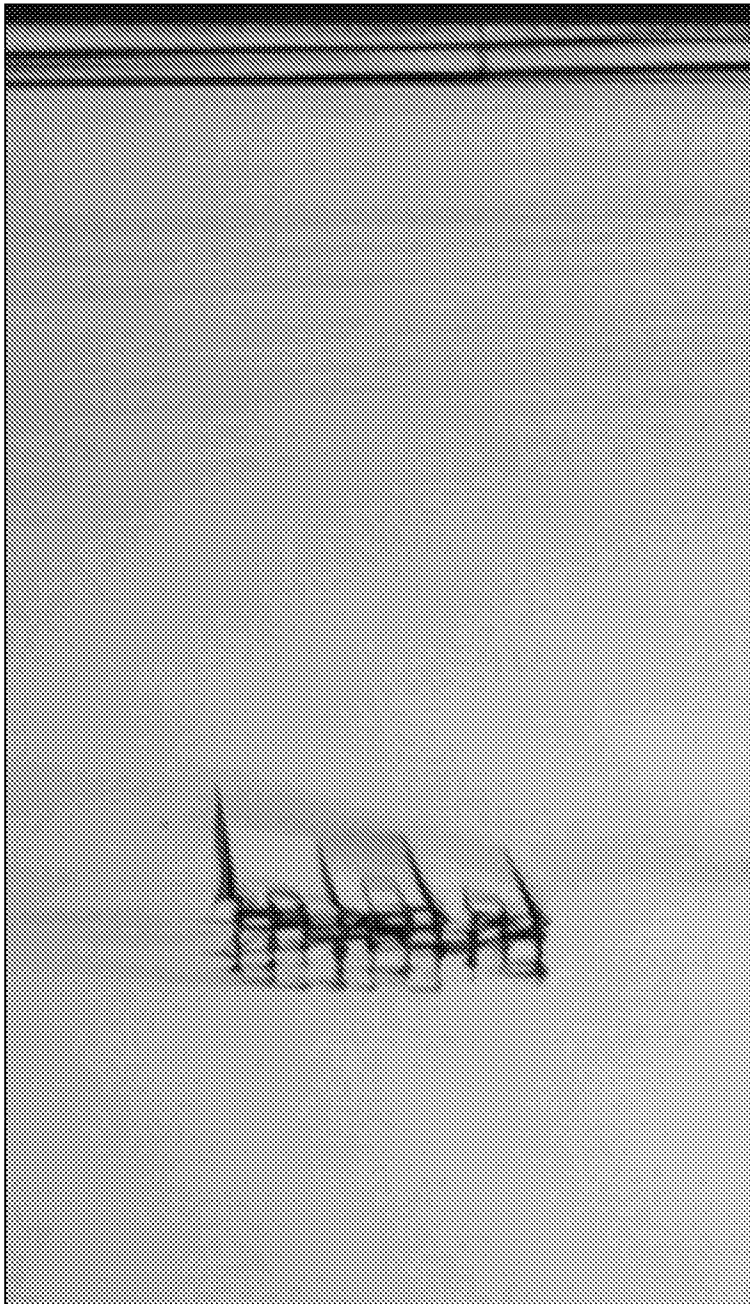
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/052322

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K26/40(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/04(2006.01)i, B23K26/06(2006.01)i, B23K26/08(2006.01)i, B23K26/38(2006.01)i, B28D5/00(2006.01)i, H01L21/304(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K26/40, B23K26/00, B23K26/04, B23K26/06, B23K26/08, B23K26/38, B28D5/00, H01L21/304

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 2011-155070 A (Saitama University, Shin-Etsu Polymer Co., Ltd.), 11 August 2011 (11.08.2011), claims 1 to 4, 6 to 8; paragraphs [0001] to [0008], [0018], [0035] to [0036], [0039], [0044] to [0049], [0053] to [0055]; fig. 2, 3, 5, 9 (Family: none)	1-16
Y	JP 2009-200383 A (Seiko Epson Corp.), 03 September 2009 (03.09.2009), paragraphs [0008], [0012] to [0019] (Family: none)	1-16



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

29 March, 2013 (29.03.13)

Date of mailing of the international search report

09 April, 2013 (09.04.13)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/052322

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 2008-78236 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 03 April 2008 (03.04.2008), paragraph [0051]; fig. 21 & US 2010/0012632 A1 & EP 2070632 A1 & WO 2008/035610 A1 & KR 10-2009-0064510 A & CN 101516565 A & TW 200819236 A	1-16
A	JP 2012-16722 A (Disco Inc.), 26 January 2012 (26.01.2012), entire text; all drawings & KR 10-2012-0005375 A & TW 201206606 A	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B23K26/40(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/04(2006.01)i, B23K26/06(2006.01)i, B23K26/08(2006.01)i, B23K26/38(2006.01)i, B28D5/00(2006.01)i, H01L21/304(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B23K26/40, B23K26/00, B23K26/04, B23K26/06, B23K26/08, B23K26/38, B28D5/00, H01L21/304

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 3 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 2011-155070 A（国立大学法人埼玉大学, 信越ポリマー株式会社） 2011.08.11, 請求項 1-4, 6-8, 段落【0001】-【0008】、【0018】、【0035】 -【0036】、【0039】、【0044】-【0049】、【0053】-【0055】、図 2, 3, 5, 9 (ファミリーなし)	1 - 16
Y	JP 2009-200383 A（セイコーエプソン株式会社）2009.09.03, 段落 【0008】、【0012】-【0019】（ファミリーなし）	1 - 16
Y	JP 2008-78236 A（浜松ホトニクス株式会社）2008.04.03, 段落	1 - 16

☒ 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

2 9 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 9 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

田合 弘幸

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

3 P

9 6 2 0

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
A	【0051】 , 図 21 & US 2010/0012632 A1 & EP 2070632 A1 & WO 2008/035610 A1 & KR 10-2009-0064510 A & CN 101516565 A & TW 200819236 A JP 2012-16722 A (株式会社ディスコ) 2012.01.26, 全文, 全図 & KR 10-2012-0005375 A & TW 201206606 A	1 - 16