

(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
2012 年 8 月 16 日(16.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/108054 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/02 (2006.01) *H01L 21/268* (2006.01)
B23K 26/08 (2006.01) *H01L 21/301* (2006.01)
B23K 26/40 (2006.01) *H01L 21/304* (2006.01)
B28D 5/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/052949
- (22) 国際出願日: 2011 年 2 月 10 日(10.02.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 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 番地 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; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 国司 洋介 (KUNISHI, Yosuke) [JP/JP]; 〒3310811 埼玉県さいたま市北区吉野町 1 丁目 4 0 6 番 1 信越ポリマー株式会社内 Saitama (JP). 鈴木 秀樹 (SUZUKI, Hideki) [JP/JP]; 〒3310811 埼玉県さいたま市北区吉野町 1 丁目 4 0 6 番 1 信越ポリマー株

式会社内 Saitama (JP). 松尾 利香 (MATSUO, Rika) [JP/JP]; 〒3310811 埼玉県さいたま市北区吉野町 1 丁目 4 0 6 番 1 信越ポリマー株式会社内 Saitama (JP). 池野 順一 (IKENO, Junichi) [JP/JP]; 〒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).

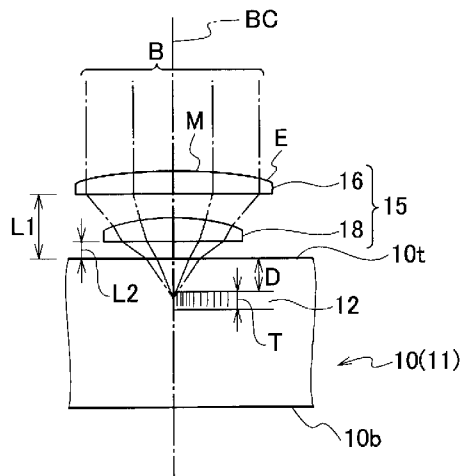
- (74) 代理人: 三好 秀和, 外 (MIYOSHI, Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 番 8 号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, 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, LR, 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 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

[続葉有]

(54) Title: PRODUCTION METHOD FOR MONOCRYSTALLINE SUBSTRATE AND PRODUCTION METHOD FOR MONOCRYSTALLINE MEMBER WITH MODIFIED LAYER FORMED THEREIN

(54) 発明の名称: 単結晶基板の製造方法および内部改質層形成単結晶部材の製造方法

[図2]



(57) Abstract: The present invention addresses the problem of providing a monocrystalline substrate production method capable of easy producing a relatively large and thick monocrystalline substrate, and a monocrystalline member with a modified layer formed therein. The method includes: a step for arranging in a non-contact state, upon a monocrystalline member (10), a condensing lens (15) that emits a laser beam (B) and corrects aberration resulting from the refractive index of the monocrystalline member (10); a step for irradiating a surface (10t) of the monocrystalline member (10) and focusing the laser beam on the interior of the monocrystalline member (10); a step for moving the condensing lens (15) and monocrystalline member (10) relative to each other, so as to form a two-dimensional modified layer inside the monocrystalline member (10); and a step for forming a monocrystalline substrate by detaching from the modified layer (12) a monocrystalline layer formed as a result of segmentation by the modified layer (12).

(57) 要約:

[続葉有]



GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

比較的大きくて薄い単結晶基板を容易に製造することができる単結晶基板製造方法および内部改質層形成単結晶部材を提供することを課題とする。レーザ光 (B) を出射するとともに単結晶部材 (10) の屈折率に起因する収差を補正する集光レンズ (15) を、単結晶部材 (10) 上に非接触に配置する工程と、単結晶部材 (10) の表面 (10 t) にレーザ光を照射して単結晶部材内部にレーザ光を集光する工程と、集光レンズ (15) と単結晶部材 (10) とを相対的に移動させて、単結晶部材 (10) の内部に、2 次元状の改質層 (12) を形成する工程と、改質層 (12) により分断されてなる単結晶層を改質層 (12) から剥離することで単結晶基板を形成する工程と、を有する。

明 細 書

発明の名称：

単結晶基板の製造方法および内部改質層形成単結晶部材の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、単結晶基板の製造方法および内部改質層形成単結晶部材の製造方法に関し、特に、単結晶基板を薄く安定して切り出す単結晶基板の製造方法および内部改質層形成単結晶部材の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、単結晶のシリコン（S i）ウェハに代表される半導体ウェハを製造する場合には、石英るつぼ内に熔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。

[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る。

[0005] また近年、次世代の半導体として、硬度が大きく、熱伝導率も高いシリコンカーバイド（S i C）が注目されているが、S i Cの場合には、S iよりも硬度が大きい関係上、インゴットをワイヤソーにより容易にスライスすることができず、また、バックグラインドによる基板の薄層化も容易ではない。

[0006] 一方、集光レンズでレーザ光の集光点をインゴットの内部に合わせ、その

レーザ光でインゴットを相対的に走査することにより、インゴットの内部に多光子吸収による面状の改質層を形成し、この改質層を剥離面としてインゴットの一部を基板として剥離する基板製造方法および基板製造装置が開示されている。

[0007] 例えば特許文献 1 には、レーザ光の多光子吸収を利用し、シリコンインゴット内部に改質層を形成しシリコンインゴットから静電チャックを利用してウェハを剥離する技術が開示されている。

[0008] また、特許文献 2 では、NAO. 8 の対物レンズにガラス板を取り付けて、太陽電池用のシリコンウェハに向けてレーザ光を照射することで、シリコンウェハ内部に改質層を形成し、これをアクリル樹脂の板に瞬間接着剤で固定して剥離する技術が開示されている。

[0009] また、特許文献 3 では、特に段落 0003～0005、0057、0058 に、シリコンウェハ内部にレーザ光を集光し多光子吸収を起こさせることで微小空洞を形成しダイシングを行う技術が開示されている。

[0010] しかしながら、特許文献 1 の技術では、大面積の基板（シリコン基板）を均一に剥離することは容易でない。

[0011] また、特許文献 2 の技術では、ウェハを剥離するには強力なシアノアクリレート系接着剤でアクリル樹脂板にウェハを固定する必要がある、剥離したウェハとアクリル樹脂板との分離が容易でない。さらに、NAO. 5～O. 8 のレンズでシリコン内部に改質領域を形成すると、改質層の厚みが100 μ 以上となって必要な厚みよりも大きくなるので、ロスが大きい。ここで、レーザ光を集光する対物レンズのNA（開口数）を小さくすることで改質層の厚みを小さくすることが考えられるが、基板表面でのレーザ光のスポット径が小さくなってしまう。このため、浅い深度に改質層を形成しようとする、基板表面までが加工されてしまうという別の問題が発生する。

[0012] また、特許文献 3 の技術は、シリコンウェハを個片のチップに切り分けるダイシングに関する技術であり、これをシリコンなどの単結晶インゴットから薄板状のウェハを製造することに応用するのは容易ではない。

先行技術文献

特許文献

[0013] 特許文献1：特開2005-277136号公報

特許文献2：特開2010-188385号公報

特許文献3：特開2005-57257号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] 本発明は、上記課題に鑑み、比較的大きくて薄い単結晶基板を容易に製造することができる単結晶基板の製造方法および内部改質層形成単結晶部材の製造方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0015] 上記課題を解決するための本発明の一態様によれば、レーザ光を出射するとともに単結晶部材の屈折率に起因する収差を補正するレーザ集光手段を、前記単結晶部材上に非接触に配置する工程と、前記レーザ集光手段により、前記単結晶部材表面にレーザ光を照射して前記単結晶部材内部に前記レーザ光を集光する工程と、前記レーザ集光手段と前記単結晶部材とを相対的に移動させて、前記単結晶部材内部に、2次元状の改質層を形成する工程と、前記改質層により分断されてなる単結晶層を前記改質層から剥離することで単結晶基板を形成する工程とを有する単結晶基板の製造方法が提供される。

[0016] 本発明の他の態様によれば、単結晶部材に表面からレーザ光を照射して内部で集光することで前記単結晶部材の内部に改質層を形成し、前記改質層から単結晶基板を剥離するための内部改質層形成単結晶部材の製造方法であって、レーザ光を出射するとともに単結晶部材の屈折率に起因する収差を補正するレーザ集光手段とを、前記単結晶部材上に非接触に配置する工程と、前記レーザ集光手段により、前記単結晶部材表面にレーザ光を照射して前記単結晶部材内部に前記レーザ光を集光する工程と、前記レーザ集光手段と前記単結晶部材とを相対的に移動させて、前記単結晶部材内部に、2次元状の改

質層を形成する工程とを有する内部改質層形成単結晶部材の製造方法が提供される。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、比較的大きくて薄い単結晶基板を容易に製造することができる単結晶基板の製造方法および内部改質層形成単結晶部材の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1] 第1実施形態に係る単結晶基板製造方法を説明する模式的鳥瞰図。
[図2] 第1実施形態に係る単結晶基板製造方法を説明する模式的鳥瞰図。
[図3] 第1実施形態に係る単結晶基板製造方法および内部改質層形成単結晶部材を説明する模式的斜視断面図。
[図4] 第1実施形態で、レーザ光の照射により単結晶部材内部にクラックが形成されていることを示す模式的断面図。
[図5] 第1実施形態で、内部改質層形成単結晶部材の側壁に改質層を露出させたことの模式的斜視断面図。
[図6] 第1実施形態で、内部改質層形成単結晶部材の上下面に金属製基板を接着させて改質層から単結晶層を剥離させることを説明する模式的断面図。
[図7] 第1実施形態で、内部改質層形成単結晶部材の上下面に金属製基板を接着させて改質層から単結晶層を剥離させることを説明する模式的断面図。
[図8] 第1実施形態の変形例を説明する模式的断面図。
[図9] 第1実施形態の変形例を説明する模式的断面図。
[図10] 第1実施形態の変形例を説明する模式的斜視断面図。
[図11] 第1実施形態で、単結晶層の剥離面の例を示す光学顕微鏡写真。
[図12] 試験例1の実施例1で、シリコンウェハのへき開面の光学顕微鏡写真。
[図13] 試験例1の実施例2で、シリコンウェハのへき開面の光学顕微鏡写真。
[図14] 試験例2で、単結晶基板の剥離面の凹凸寸法と表面粗さとの関係を示

す図。

[図15] 試験例 3 の実施例 4 で、内部改質層形成単結晶部材の断面の光学顕微鏡写真およびスペクトル図。

[図16] 試験例 3 の比較例で、レーザ光をシリコンウェハに照射することを説明する模式的鳥瞰図。

[図17] 第 2 実施形態に係る単結晶基板製造方法および内部改質層形成単結晶部材を説明する上で用いる単結晶部材内部加工装置の模式的鳥瞰図。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。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。従って、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。

[0020] また、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、請求の範囲において、種々の変更を加えることができる。

[0021] なお、第 2 実施形態では、すでに説明したものと同様の構成要素には同じ符号を付してその説明を省略する。

[0022] [第 1 実施形態]

まず、第 1 実施形態について説明する。図 1 は、本実施形態で、レーザ集光手段により空気中でレーザ光を集光したことを説明する模式的鳥瞰図であり、図 2 は、本実施形態で、レーザ集光手段により単結晶部材内部にレーザ光を集光したことを説明する模式的鳥瞰図である。図 3 は、本実施形態に係る単結晶基板製造方法および内部改質層形成単結晶部材 1 1 を説明する模式的断面構造である。図 4 は、レーザ光の照射により単結晶部材内部にクラッ

ク 1 2 c が形成されていることを示す模式的断面図である。図 5 は、内部改質層形成単結晶部材 1 1 の側壁に、レーザ光の集光によって形成された改質層 1 2 を露出させたことを示す模式的斜視断面図である。

[0023] 本実施形態に係る単結晶基板製造方法は、レーザ集光手段（レーザ集光部）として集光レンズ 1 5 を単結晶部材 1 0 上に非接触に配置する工程と、集光レンズ 1 5 により、単結晶部材 1 0 表面にレーザ光 B を照射して単結晶部材 1 0 内部にレーザ光 B を集光する工程と、集光レンズ 1 5 と単結晶部材 1 0 とを相対的に移動させて、単結晶部材 1 0 内部に、2 次元状の改質層 1 2 を形成する工程と、改質層 1 2 により分断されてなる単結晶層 1 0 u を改質層 1 2 との界面から剥離することで、図 7 に示すような単結晶基板 1 0 s を形成する工程と、を有する。ここで、図 7 は、改質層 1 2 から単結晶層 1 0 u を剥離させたことを説明する模式的断面図である。なお、以下の説明では、単結晶層 1 0 u を改質層 1 2 との界面 1 0 u から剥離させることで説明するが、本発明は界面 1 0 u から剥離させることに限られず、改質層 1 2 内で剥離が生じるようにしてもよい。

[0024] 集光レンズ 1 5 は、単結晶部材 1 0 の屈折率に起因する収差を補正する構成になっている。具体的には、図 1 に示すように、本実施形態では、集光レンズ 1 5 は、空気中で集光した際に、集光レンズ 1 5 の外周部 E に到達したレーザ光が集光レンズ 1 5 の中央部 M に到達したレーザ光よりも集光レンズ側で集光するように補正する構成になっている。すなわち、集光した際、集光レンズ 1 5 の外周部 E に到達したレーザ光の集光点 E P が、集光レンズ 1 5 の中央部 M に到達したレーザ光の集光点 M P に比べ、集光レンズ 1 5 に近い位置となるように補正する構成になっている。

[0025] 詳細に説明すると、集光レンズ 1 5 は、空気中で集光する第 1 レンズ 1 6 と、この第 1 レンズ 1 6 と単結晶部材 1 0 との間に配置される第 2 レンズ 1 8 と、で構成される。第 1 レンズ 1 6 および第 2 レンズ 1 8 は、何れもレーザ光を円錐状に集光できるレンズとされている。そして、レーザ光 B が照射される側の単結晶部材 1 0 の表面 1 0 t （被照射側の表面）から改質層 1 2

までの深さ（間隔） D を、主に第1レンズ16とこの表面10tとの距離 L_1 で調整する構成になっている。さらに、改質層12の厚み T を、主に第2レンズ18とこの表面10tとの距離 L_2 で調整する構成になっている。従って、主に第1レンズ16で空気中での収差補正を行い、主に第2レンズ18で単結晶部材10内での収差補正を行うことになる。本実施形態では、表面10tから所定の深さ D の位置に、厚み T が $60\mu\text{m}$ 未満の改質層12が形成されるように、第1レンズ16、第2レンズ18の焦点距離、および、上記の距離 L_1 、 L_2 を設定しておく。

[0026] 第1レンズ16としては、球面または非球面の単レンズのほか、各種の収差補正や作動距離を確保するために組レンズを用いることが可能であり、 NA が $0.3\sim 0.7$ であることが好ましい。第2レンズ18としては、第1レンズ16よりも小さな NA のレンズで、例えば曲率半径が $3\sim 5\text{mm}$ 程度の凸ガラスレンズが、簡便に使用する観点で好ましい。

[0027] そして、レーザ光Bの照射によって単結晶部材10の表面10tにダメージを与えることなく単結晶部材10の内部に改質層12を形成する観点で、集光レンズ15の外周部Eに到達したレーザ光とその集光点EPで定義される空気中の集光レンズ15の NA は、 $0.3\sim 0.85$ にすることが好ましく、 $0.5\sim 0.85$ にすることがさらに好ましい。

[0028] なお、改質層12の厚みの調整が不要である場合、第1レンズ16および第2レンズ18に代えて、1枚のレンズのみを配置することも可能である。その場合には、単結晶部材内での収差補正をできる構造にしておくことが好ましい。

[0029] 単結晶部材10のサイズは、特に限定されるものではないが、例えば $\phi 300\text{mm}$ の厚いシリコンウェハからなり、レーザ光Bが照射される表面10tが予め平坦化されていることが好ましい。

[0030] レーザ光Bは、単結晶部材10の周面ではなく、上記の表面10tに照射装置（図示省略）から集光レンズ15を介して照射される。このレーザ光Bは、単結晶部材10がシリコンの場合には、例えばパルス幅が $1\mu\text{s}$ 以下の

パルスレーザ光からなり、900 nm以上の波長、好ましくは1000 nm以上の波長が選択され、YAGレーザ等が好適に使用される。

[0031] 集光レンズ15に上方からレーザ光を入光する形態については特にこだわらない。集光レンズ15の上方にレーザ発振器を配置して集光レンズ15に向けて発光する形態としてもよいし、集光レンズ15の上方に反射ミラーを配置しレーザ光をこの反射ミラーに向けて照射して反射ミラーで集光レンズ15に向けて反射する形態にしてもよい。

[0032] このレーザ光Bは、単結晶部材10として厚み0.625 mmの単結晶基板に照射したときの光線透過率が1～80%の波長であることが望ましい。例えば、単結晶部材10としてシリコンの単結晶基板を用いた場合、波長が800 nm以下のレーザ光では吸収が大きいため、表面のみが加工され、内部の改質層12を形成することができないため、900 nm以上の波長、好ましくは、1000 nm以上の波長が選択される。また、波長10.64 μ mのCO₂レーザでは、光線透過率が高すぎるため、単結晶基板の加工をすることが困難なため、YAG基本波のレーザなどが好適に使用される。

[0033] レーザ光Bの波長が900 nm以上が好ましい理由は、波長が900 nm以上であれば、シリコンからなる単結晶基板に対するレーザ光Bの透過性を向上させ、単結晶基板内部に改質層12を確実に形成することができるからである。レーザ光Bは、単結晶基板表面の周縁部に照射され、あるいは単結晶基板の表面の中心部から周縁部方向に照射される。

[0034] (改質層の形成工程)

集光レンズ15と単結晶部材10とを相対的に移動させて単結晶部材10内部に改質層12を形成する工程としては、例えば、単結晶部材10をXYステージ(図示せず)上に載置し、真空チャック、静電チャックなどでこの単結晶部材10を保持する。

[0035] そして、XYステージで単結晶部材10をX方向やY方向に移動させることで、集光レンズ15と単結晶部材10とを、単結晶部材10の集光レンズ15が配置されている側の表面10tと平行な方向に相対的に移動させなが

らレーザ光Bを照射することで、単結晶部材10の内部に集光したレーザ光Bによって多数のクラック12cが形成される。このクラック12cを有するクラック部12pの集合体が上述の改質層12である。この改質層12が形成された結果、内部改質層形成単結晶部材11が製造される。この内部改質層形成単結晶部材11は、単結晶部材内部に形成された改質層12と、改質層12の上側（すなわちレーザ光Bの被照射側）に単結晶層10uと、改質層12の下側に単結晶部10dと、を有する。単結晶層10uおよび単結晶部10dは、改質層12によって単結晶部材10が分断されたことにより形成されたものである。

[0036] なお、ステージの移動速度を抑えるために、ガルバノミラーやポリゴンミラーなどのレーザービーム偏向手段を用い、集光レンズ15の照射エリア内でレーザ光をスキャンすることを併用してもよい。また、このような内部照射を行って改質層12の形成の終了後、単結晶部材10の被照射側の表面10t、すなわち単結晶層10uの表面10tにレーザ光Bの焦点を合わせ、照射領域を示すマークを付け、その後、このマークを基準に単結晶部材10を切断（割断）して、後述するように、改質層12の周縁部を露出させた上で単結晶層10uの剥離を行ってもよい。

[0037] このような照射によって形成された改質層12では、図4に示すように、レーザ光Bの照射軸BCに平行な多数のクラック12cが形成されている。形成するクラック12cの寸法、密度などは、改質層12から単結晶層10uを剥離し易くする観点で、単結晶部材10の材質などを考慮して設定することが好ましい。

[0038] なお、クラック12cを確認するには、レーザ光Bによる加工領域すなわち改質層12を横断するように内部改質層形成単結晶部材11をへき開し、へき開面（例えば図3、図5の14a～d）を走査電子顕微鏡もしくは共焦点顕微鏡で観察することで確認してもよいが、同一の材質の単結晶部材（例えばシリコンウェハ）に対し、同一の照射条件で、例えばYステージの送りを6～50μm間隔で部材内部に線状の加工を行い、これを横断する形でへ

き開してへき開面を観察することで、容易に確認してもよい。

[0039] (剥離工程)

この後、改質層 12 と単結晶層 10 u との剥離を行う。本実施形態では、まず、内部改質層形成単結晶部材 11 の側壁に改質層 12 を露出させる。露出させるには、例えば、単結晶部 10 d、単結晶層 10 u の所定の結晶面に沿ってへき開する。この結果、図 5 に示すように、単結晶層 10 u と単結晶部 10 d とによって改質層 12 が挟まれた構造のものが得られる。なお、単結晶層 10 u の表面 10 t はレーザ光 B の被照射側の面である。

[0040] 改質層 12 が既に露出している場合や、改質層 12 の周縁と内部改質層形成単結晶部材 11 の側壁との距離が十分に短い場合には、この露出をさせる作業を省略することが可能である。

[0041] その後、図 6 に示すように、内部改質層形成単結晶部材 11 の上下面に、それぞれ、金属製基板 28 u、28 d を接着する。すなわち、単結晶層 10 u の表面 10 t に金属製基板 28 u を接着剤 34 u で接着し、単結晶部 10 d の表面 10 b に金属製基板 28 d を接着剤 34 d で接着する。金属製基板 28 u、28 d には、それぞれ、表面に酸化層 29 u、29 d が形成されている。本実施形態では、酸化層 29 u を表面 10 t に、酸化層 29 d を表面 10 b に接着する。金属製基板 28 u、28 d としては、例えば、SUS 製の剥離用補助板を用いる。接着剤としては、通常の半導体製造プロセスで使用する接着剤であって、市販のシリコンインゴット固定用の所謂ワックスとして使用される接着剤を用いる。この接着剤で接着させたものを水に浸けると接着剤の接着力が低下するので、接着剤と被接着物（単結晶層 10 u）とを容易に分離させることができる。

[0042] この接着では、まず、金属製基板 28 u を単結晶層 10 u の表面 10 t に仮固定用接着剤で貼り付け、金属製基板 28 u を裏打ちし力を加えることで剥離する。

[0043] 仮固定用接着剤の接着強度は、改質層 12 と単結晶層 10 u との界面 11 u で剥離するのに必要な力よりも強ければよい。仮固定用接着剤の接着強度

に応じ、形成するクラック 12 c の寸法、密度を調整してもよい。

- [0044] 仮固定用接着剤としては、例えば、金属イオンを反応開始剤として硬化するアクリル系 2 液モノマー成分からなる接着剤を用いる。この場合、未硬化モノマーおよび硬化反応物が非水溶性であると、水中で剥離した際に露出した単結晶層 10 u の剥離面 10 f（例えばシリコンウェハの剥離面）が汚染されることを防止できる。
- [0045] 仮固定用接着剤の塗布厚みは、硬化前で 0.1 ~ 1 mm が好ましく、0.15 ~ 0.35 mm がより好ましい。仮固定用接着剤の塗布厚みが過度に大きい場合、完全硬化となるまでに長時間を必要とする上、単結晶部材（シリコンウェハ）の切断時に仮固定用接着剤の凝集破壊が起こりやすくなる。また、塗布厚みが過度に小さい場合、切断した単結晶部材の水中剥離に長時間を必要とする。
- [0046] 仮固定用接着剤の塗布厚みの制御は、接着する金属製基板 28 u、28 d を任意の高さに固定する方法を用いることで行ってもよいが、簡易的にはシムプレートを用いて行うことができる。
- [0047] 接着した際に金属製基板 28 u と金属製基板 28 d との平行度が十分に得られない場合には、1 枚以上の補助板を使用して必要な平行度を得てもよい。
- [0048] また、金属製基板 28 u、28 d を仮固定用接着剤で内部改質層形成単結晶部材 11 の上下面に接着する際、片面ずつ接着してもよいし、両面同時に接着してもよい。
- [0049] 厳密に塗布厚みを制御したい場合には、一方の片面に金属製基板を接着させて接着剤が硬化した後、もう一方の片面に金属製基板を接着することが好ましい。このように片面ずつ接着する場合、仮固定用接着剤を塗布する面が内部改質層形成単結晶部材 11 の上面であっても下面であってもよい。その際、単結晶部材 10 の非接着面に接着剤が付着して硬化することを抑制するために、金属イオンを含まない樹脂フィルムをカバーレイヤーとして用いてもよい。

- [0050] 金属製基板としては、平行度および平坦度が得られるのであれば、装置固定用の抜き穴等の機械加工を行っていても構わない。接着する金属製基板は水中での剥離工程を経るため、シリコンウェハのコンタミ抑制目的では不動態層を形成するものであることが好ましく、水中剥離のタクトタイム短縮目的では形成する酸化層（酸化皮膜層）が薄い方が好ましい。
- [0051] 内部加工シリコンウェハ切断後に水中剥離を行うため、接着前の金属製基板については、通常行われる金属の脱脂処理を行うことが好ましい。
- [0052] 仮固定用接着剤と金属製基板との接着力を高めるには、機械的または化学的方法で金属表面の酸化層を落として活性な金属面を出すとともに、アンカー効果を得やすい表面構造にするのが好ましい。上記の化学的方法とは、具体的には薬品を用いた酸洗浄や脱脂処理などがある。上記の機械的方法とは、具体的にはサンドブラスト、ショットブラストなどが挙げられるが、サンドペーパーで金属製基板の表面を傷つける方法が最も簡便であり、その粒度は $\#80 \sim 2000$ が好ましく、金属製基板の表面ダメージを考慮すると $\#150 \sim 800$ がより好ましい。
- [0053] 金属製基板の接着後、図6に示したように、金属製基板28uに上方向の力 F_u を、金属製基板28dに下方向の力 F_d をそれぞれ加える。ここで、改質層12と単結晶部10dとの界面11dよりも、改質層12と単結晶層10uとの界面11uのほうが剥離しやすい。このため、力 F_u 、 F_d によって、図7に示すように、改質層12と単結晶層10uとの界面11uで剥離する。この剥離によって、単結晶層10uを改質層12から剥離してなる薄い単結晶基板10sを得る。
- [0054] 力 F_u 、 F_d を加える手法は特に限定しない。例えば、図8に示すように、内部改質層形成単結晶部材11の側壁をエッチングして改質層12に溝36を形成し、図9に示すように、この溝36に楔状圧入材30（例えばカッター刃）を圧入することで力 F_u 、 F_d を発生させてもよい。また、図10に示すように、内部改質層形成単結晶部材11に角方向から力 F を加えて、上方向の力成分 F_u と下方向の力成分 F_d とを発生させてもよい。

- [0055] このようにして得られた単結晶基板 10 s の剥離面 10 f は、例えば図 11 に示すように、粗面である。ここで図 11 は、単結晶基板 10 s の剥離面 10 f の光学顕微鏡写真である。なお、図 11 では、写真画像を判りやすくするために、結晶方位面でへき開した面 10 H も一部に生じさせて写している。
- [0056] 以上説明したように、本実施形態により、大きな NA の集光レンズ 15 で、単結晶部材 10 内の薄い厚み部分にレーザ光 B によるエネルギーを集中させることができる。従って、単結晶部材 10 内に、厚み T（レーザ光 B の照射軸 BC に沿った長さ）が小さい改質層（加工領域）12 を形成した内部改質層形成単結晶部材 11 を製造することができる。そして、改質層 12 から単結晶層 10 u を剥離することで薄い単結晶基板 10 s を製造することが容易である。また、このような薄い単結晶基板 10 s を比較的短時間で容易に製造することができる。しかも、改質層 12 の厚みを抑えることで単結晶部材 10 から多数枚の単結晶基板 10 s が得られるので、製品率を向上させることができる。
- [0057] また、改質層 12 として、レーザ光 B の照射軸 BC と平行なクラック部 12 p の集合体を形成している。これにより、改質層 12 と単結晶層 10 との剥離が容易である。
- [0058] さらに、改質層 12 から剥離させる際、界面 11 u、11 d のうち、レーザ光の被照射側の界面 11 u から剥離させて剥離面 10 f を粗面としている。このような粗面化された剥離面 10 f を太陽光の被照射面として使用することで、太陽電池に適用する場合の太陽光の集光効率を高めることができる。
- [0059] また、単結晶基板 10 s を形成する工程では、表面に酸化層 29 u を有する金属製基板 28 u を単結晶層 10 u の表面に接着して剥離させることで単結晶基板 10 s を得ている。従って、金属製基板との接着に、通常の半導体製造プロセスで使用される接着剤を用いることができ、アクリル板を接着させる際に用いる強力な接着力を有するシアノアクリレート系接着剤を用いな

くて済む。しかも、剥離した後、水に浸けることで接着剤の接着力が大きく低減して剥がれ易くなるので、金属製基板 28 u から単結晶基板 10 s を容易に分離させることができる。

[0060] なお、本実施形態では、金属製基板 28 u、28 d を内部改質層形成単結晶部材 11 の上下面にそれぞれ貼り付けて、金属製基板 28 u、28 d に力を加えて剥離することで単結晶基板 10 s を形成することで説明したが、エッチングにより改質層 12 を除去することで剥離してもよい。

[0061] また、単結晶部材 10 はシリコンウェハに限定されるものではなく、シリコンウェハのインゴット、単結晶のサファイア、SiC などのインゴットやこれから切り出したウェハ、あるいはこの表面に他の結晶 (GaN、GaAs、InP など) を成長させたエピタキシャルウェハなどを適用可能である。また、単結晶部材 10 の面方位は (100) に限らず、他の面方位とすることも可能である。

[0062] <試験例 1>

本発明者は、単結晶部材 10 として鏡面研磨した単結晶のシリコンウェハ 10 (厚み 625 μm) を準備した。そして、実施例 1 として、このシリコンウェハ 10 を XY ステージに載置し、シリコンウェハ 10 のレーザ光の被照射側の表面 10 t からの 0.34 mm の距離に、第 2 レンズ 18 として第 2 平凸レンズ 18 を配置した。この第 2 平凸レンズ 18 は、曲率半径 7.8 mm、厚み 3.8 mm、屈折率 1.58 のレンズである。また、第 1 レンズ 16 として NA が 0.55 の第 1 平凸レンズ 16 を配置した。

[0063] そして、波長 1064 nm、繰り返し周波数 100 kHz、パルス幅 60 秒、出力 1 W のレーザ光 B を照射し、第 1 平凸レンズ 16、第 2 平凸レンズ 18 を通過させてシリコンウェハ 10 内部に改質層 12 を形成した。シリコンウェハ表面 10 t から加工領域までの深さ D、つまり改質層 12 までの深さ D は、第 1 平凸レンズ 16 とシリコンウェハ表面 10 t との相互位置を調整することで制御した。改質層 12 の厚み T は第 2 平凸レンズ 18 とシリコンウェハ表面 10 t との相互位置を調整することで制御した。

[0064] 改質層 12 を形成する際には、X ステージで等速で 15 mm 移動させながらレーザ光 B を照射し、次いで Y ステージで 1 μ m 送った後これを繰り返すことで 15 mm $\times$ 15 mm のエリアにレーザ光の内部照射を行うことで改質層 12 を形成した。この結果、改質層 12 の上側（すなわちレーザ光 B の被照射側）に単結晶層 10 u と、改質層 12 の下側に単結晶部 10 d とを有する内部改質層形成単結晶部材 11 が製造された。本実施形態では、単結晶層 10 u、単結晶部 10 d は、改質層 12 によってシリコンウェハ 10 が分断されたことにより形成されたものである。

[0065] この後、改質層 12 を横断するようにシリコンウェハ 10 をへき開し、へき開面を光学顕微鏡（走査電子顕微鏡）で観察した。観察されたへき開面の光学顕微鏡写真を図 12 に示す。明らかなクラック 12 c が 1 μ m 間隔で形成されていることが確認された。

[0066] また、実施例 2 として、上記実施条件のうち、Y ステージで 1 μ m ではなく 10 μ m で送ることのみ条件を変えて改質層 12 を形成した。そして、同様にして、改質層 12 を横断するようにシリコンウェハ 10 をへき開し、へき開面を光学顕微鏡（走査電子顕微鏡）で観察した。観察されたへき開面の光学顕微鏡写真を図 13 に示す。明らかなクラック 12 c が 10 μ m 間隔で形成されていることが確認された。

[0067] また、実施例 3 として、実施例 2 のようにレーザ光を照射した後、X ステージで 10 μ m 送った後に Y ステージで等速で移動させながらレーザ光を照射することを繰り返した。すなわち、格子状にレーザ光を照射した。そして同様にして、改質層 12 を横断するようにシリコンウェハ 10 をへき開し、へき開面を光学顕微鏡（走査電子顕微鏡）で観察した。実施例 2 よりも、クラックがさらに明確に大きく形成されていた。

[0068] <試験例 2>

また、本発明者は、試験例 1 で用いたシリコンウェハ 10 と同様のシリコンウェハを用い、実施例 1 の実施条件で改質層 12 を形成してなる内部改質層形成単結晶部材 11 を製造した。そして、金属製基板 28 u、28 d を用

いて単結晶層 10 u を剥離し、単結晶基板 10 s を得た。この単結晶基板 10 s の剥離面 10 f をレーザ共焦点顕微鏡で観察したところ、図 14 に示す計測図が得られ、粒径 50 ~ 100 μm の凹凸が剥離面 10 f に形成されていることが確認された。ここで、図 14 では、横軸が凹凸寸法 (μm 表示) であり、縦軸が表面粗さ (% 表示) である。

[0069] <試験例 3>

(実施例 4)

本発明者は、単結晶部材 10 として両面を鏡面研磨した単結晶のシリコンウェハ 10 (厚み 625 μm) を準備した。そして、実施例 4 として、このシリコンウェハ 10 を XY ステージに載置し、波長 1064 nm のパルスレーザ光を照射し、一辺が 5 mm の平面視正形状の改質層 12 を形成した。そして、このシリコンウェハ (内部改質層形成単結晶部材) をへき開することで改質層 12 の断面を露出させ、この断面を走査型電子顕微鏡で観察した。改質層 12 の厚み T は 30 μm であった。

[0070] 次いで、この断面のラマン分光スペクトルを測定した。測定で得られたスペクトル図を図 15 に示す。界面 11 u、11 d の付近で高波数側に大きなスペクトルのシフトが観察され、大きな圧縮応力が生じていることが確認された。

[0071] (比較例)

また、本発明者は、実施例 4 で用いたシリコンウェハと同様のシリコンウェハを用い、以下のようにして比較例の試験を行った。図 16 は、本比較例で、レーザ集光手段により空気中でレーザ光を集光したことを説明する模式的鳥瞰図である。比較例では、実施例 4 に比べ、レーザ集光手段として、集光レンズ 15 に代えて集光レンズ 115 が配置されている。本比較例で用いるこの集光レンズ 115 は、平凸レンズである第 1 レンズ 116 と、第 1 レンズ 116 とシリコンウェハ 100 表面との間に配置された収差増強用のガラス板 118 と、で構成される。この収差増強用のガラス板 118 をこのように配置することによって、被照射体であるシリコンウェハ 100 の表面に

レーザスポットSPを形成するレーザ光Bは、シリコンウェハ表面100tで屈折されてレーザ光としてシリコンウェハ内部に進入し、シリコンウェハ内部に集光点を結ぶ際に、所定の深さ位置および幅を有する像を結ぶことになる。すなわち、シリコンウェハ内部に改質層112（加工領域）を所定の深さ位置に所定の厚みVで形成することができる。ここで収差増強用のガラス板118によって収差が増強されているので、この所定の厚みVは、実施例4の改質層12の厚みTよりも大きくなる。

[0072] 本比較例では、NAO. 8、倍率100倍の顕微鏡用対物レンズに、収差増強用のガラス板118として直径0. 15mmのカバーガラスを付けた。そして、波長1064nmのパルスレーザを、実施例4の場合と同じ周波数、出力でシリコンウェハ100に照射し、一辺が5mmの平面視正形状の改質層112を形成した。そして、このシリコンウェハ100をへき開することでこの改質層112の断面を露出させ、この断面を走査型電子顕微鏡で観察した。この改質層112の厚みは80～100μmであった。

[0073] 次いで、この断面のラマン分光スペクトルを測定したところ、改質層112の上側や下側の界面では、実施例4のような大きな応力は存在していないことが確認された。

[0074] 従って、本試験例により、比較例に比べて実施例4では、シリコンウェハ内部（単結晶部材内部）にレーザ光で加工形成される改質層112の厚みが小さいため、加工に伴うエネルギーロスを低減できることが判った。

[0075] また、実施例4では、界面11u、11dの近傍に大きな圧縮応力が存在する。この応力の存在によっても、比較例よりも実施例4のほうが単結晶層を改質層から剥離し易い。

[0076] [第2実施形態]

次に、第2実施形態について説明する。図17は、本実施形態に係る単結晶基板製造方法および内部改質層形成単結晶部材を説明する上で用いる単結晶部材内部加工装置の模式的鳥瞰図である。

[0077] 本実施形態で用いる単結晶部材内部加工装置69は、上面側に載置された

単結晶部材 10 を保持する回転ステージ 70 と、回転ステージ 70 の回転数を制御する回転ステージ制御手段 72 とを有する基板回転手段 74 を備えている。そして、単結晶部材内部加工装置 69 は、レーザ光源 76 と、集光レンズ 15 と、集光レンズ 15 から回転ステージ 70 までの距離を調整する焦点位置調整具（図示せず）とを有する照射装置 80 を備えている。さらに、単結晶部材内部加工装置 69 は、回転ステージ 70 の回転軸 70c と回転ステージ 70 の外周との間で、回転ステージ 70 と集光レンズ 15 とを相対的に移動させる X 方向移動ステージ 84 および Y 方向移動ステージ 86 を備えている。

[0078] 本実施形態では、この単結晶部材内部加工装置 69 を用い、回転ステージ 70 に単結晶部材 10 を載置し、回転ステージ 70 で単結晶部材 10 を等速で回転させつつ、第 1 実施形態と同様にしてレーザ光 B を照射し、次いで X 方向移動ステージ 84 や Y 方向移動ステージ 86 で回転ステージ 70 を移動させて、レーザ光 B の照射位置を回転ステージ 70 の半径方向に所定間隔（ $1\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ など）で送った後、照射を繰り返すことで、単結晶部材 10 の内部に 2 次元状の改質層を形成することができる。

[0079] 本実施形態では、レーザ光 B の集光点の移動方向が円状となるので、レーザ光の集光によって発生するクラックがこの円上に位置している。そして、レーザ光 B の照射位置を回転ステージ 70 の半径方向に所定間隔で送った後、照射を繰り返すことで、クラックを同心円状に位置させることができる。そして、このような内部改質層形成単結晶部材を製造し、第 1 実施形態と同様にして剥離により単結晶基板を製造することができる。

[0080] なお、例えば正形状の単結晶部材を、回転ステージ 70 上に、回転軸 70c に対して対称に、間隔を置いて複数配置してもよい。これにより、レーザ光 B の集光によるクラックを、円を部分的に構成する円弧上に配置することができる。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明により薄い単結晶基板を効率良く形成することができることから、

薄く切り出された単結晶基板は、S i 基板であれば、太陽電池に応用可能であり、また、G a N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、S i Cなどであれば、S i C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

- [0082] 1 0 単結晶部材、シリコンウェハ
- 1 0 u 単結晶層
- 1 0 d 単結晶部
- 1 0 s 単結晶基板
- 1 0 t 表面
- 1 0 b 表面
- 1 0 f 剥離面
- 1 1 内部改質層形成単結晶部材
- 1 1 u 界面
- 1 2 改質層
- 1 2 p クラック部
- 1 5 集光レンズ（レーザ集光手段）
- 2 8 u 金属製基板
- 2 9 u 酸化層
- B レーザ光
- B C 照射軸
- E 外周部
- M 中央部
- L 1 距離
- L 2 距離
- T 厚み

請求の範囲

- [請求項1] レーザ光を出射するとともに単結晶部材の屈折率に起因する収差を補正するレーザ集光手段を、前記単結晶部材上に非接触に配置する工程と、
- 前記レーザ集光手段により、前記単結晶部材表面にレーザ光を照射して前記単結晶部材内部に前記レーザ光を集光する工程と、
- 前記レーザ集光手段と前記単結晶部材とを相対的に移動させて、前記単結晶部材内部に、２次元状の改質層を形成する工程と、
- 前記改質層により分断されてなる単結晶層を前記改質層から剥離することで単結晶基板を形成する工程と
- を有することを特徴とする単結晶基板の製造方法。
- [請求項2] 前記改質層として、前記レーザ光の照射軸と平行なクラック部の集合体を形成することを特徴とする請求項１に記載の単結晶基板の製造方法。
- [請求項3] 前記剥離によって形成された剥離面が粗面であることを特徴とする請求項２に記載の単結晶基板の製造方法。
- [請求項4] 前記単結晶基板を形成する工程では、前記改質層の両面側のうち前記レーザ光を照射する側の界面から剥離することを特徴とする請求項１に記載の単結晶基板の製造方法。
- [請求項5] 前記単結晶基板を形成する工程では、表面に酸化層を有する金属製基板を前記単結晶層の表面に接着して剥離することを特徴とする請求項１に記載の単結晶基板の製造方法。
- [請求項6] 前記レーザ集光手段は、空気中で集光した際に、前記レーザ集光手段の外周部に到達した光線が前記レーザ集光手段の中央部に到達した光線よりも前記レーザ集光手段側で集光するように補正することを特徴とする請求項１に記載の単結晶基板の製造方法。
- [請求項7] 前記レーザ集光手段は、
- 空気中で集光する第１のレンズと、

前記第 1 のレンズと前記単結晶部材との間に配置される第 2 のレンズと、

を含むことを特徴とする請求項 6 に記載の単結晶基板の製造方法。

[請求項 8] レーザ光が照射される側の前記単結晶部材表面から前記改質層までの距離を、前記第 1 のレンズと該単結晶部材表面との距離で調整することを特徴とする請求項 7 に記載の単結晶基板の製造方法。

[請求項 9] 前記改質層の厚みを、レーザ光が照射される側の前記単結晶部材表面と前記第 2 のレンズとの距離で調整することを特徴とする請求項 8 に記載の単結晶基板の製造方法。

[請求項 10] 単結晶部材に表面からレーザ光を照射して内部で集光することで前記単結晶部材の内部に改質層を形成し、前記改質層から単結晶基板を剥離するための内部改質層形成単結晶部材の製造方法であって、

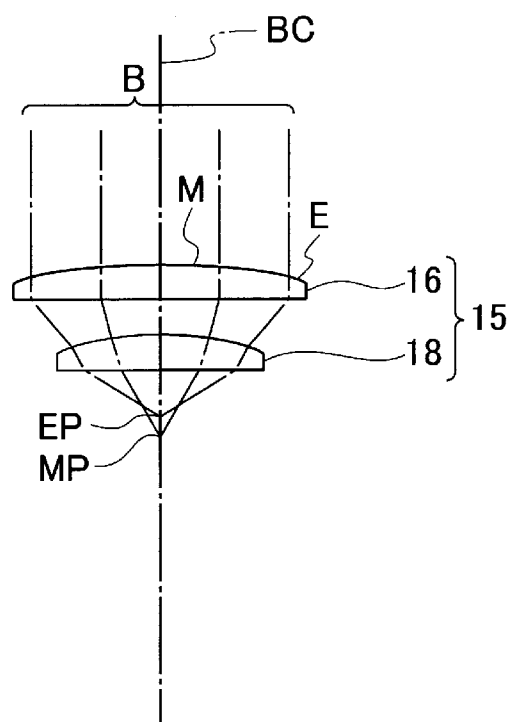
レーザ光を出射するとともに単結晶部材の屈折率に起因する収差を補正するレーザ集光手段とを、前記単結晶部材上に非接触に配置する工程と、

前記レーザ集光手段により、前記単結晶部材表面にレーザ光を照射して前記単結晶部材内部に前記レーザ光を集光する工程と、

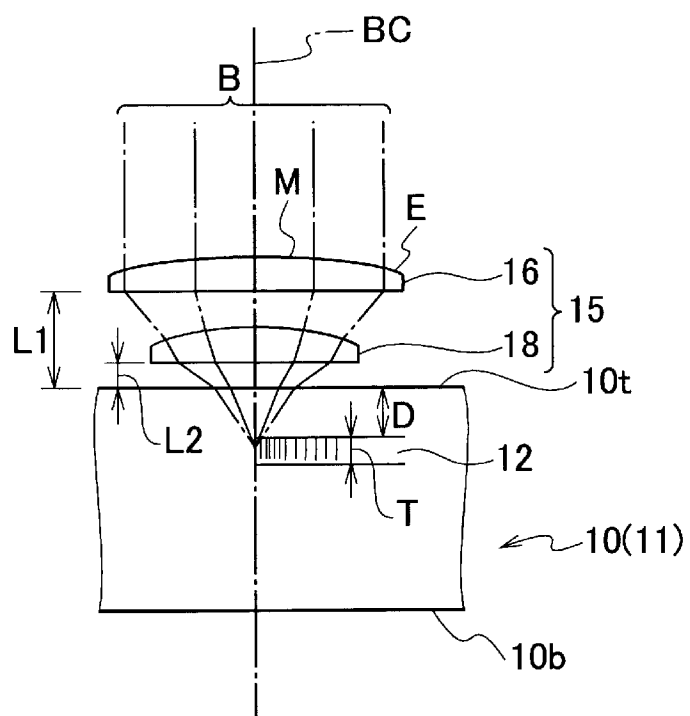
前記レーザ集光手段と前記単結晶部材とを相対的に移動させて、前記単結晶部材内部に、2 次元状の改質層を形成する工程と

を有することを特徴とする、内部改質層形成単結晶部材の製造方法。

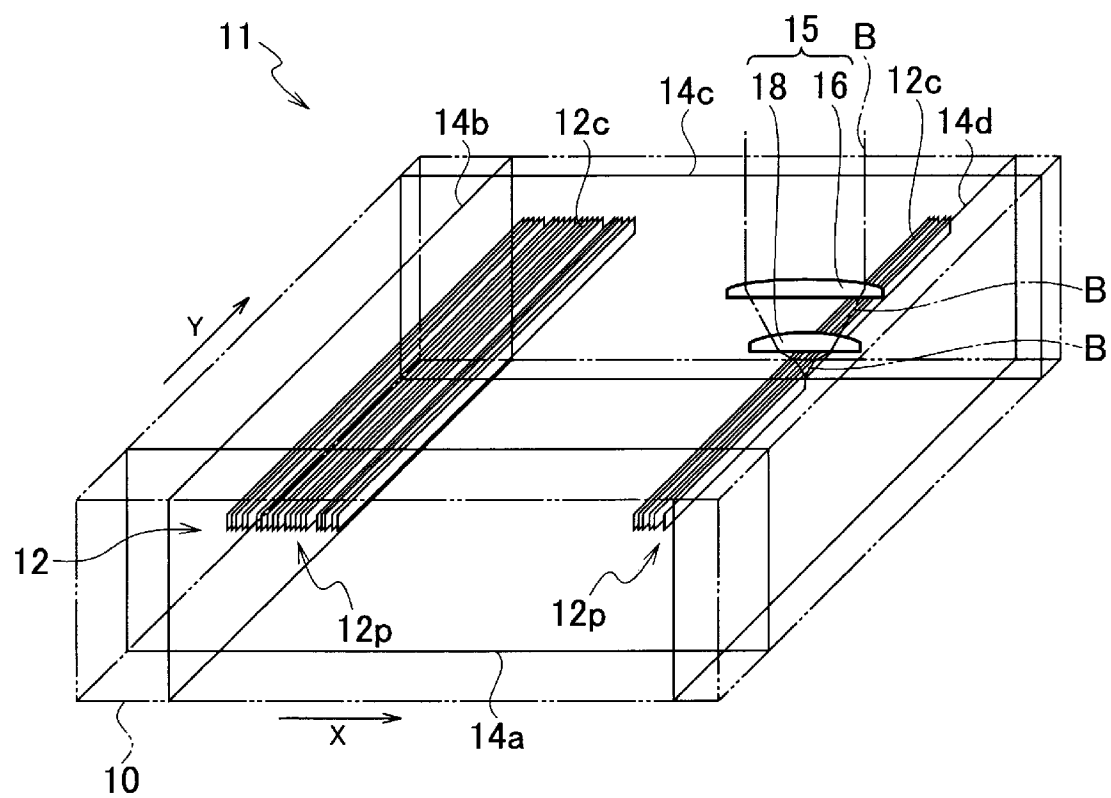
[図1]



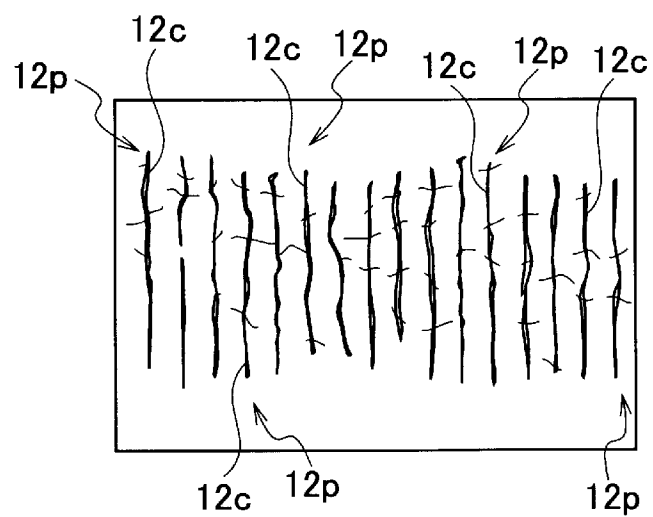
[図2]



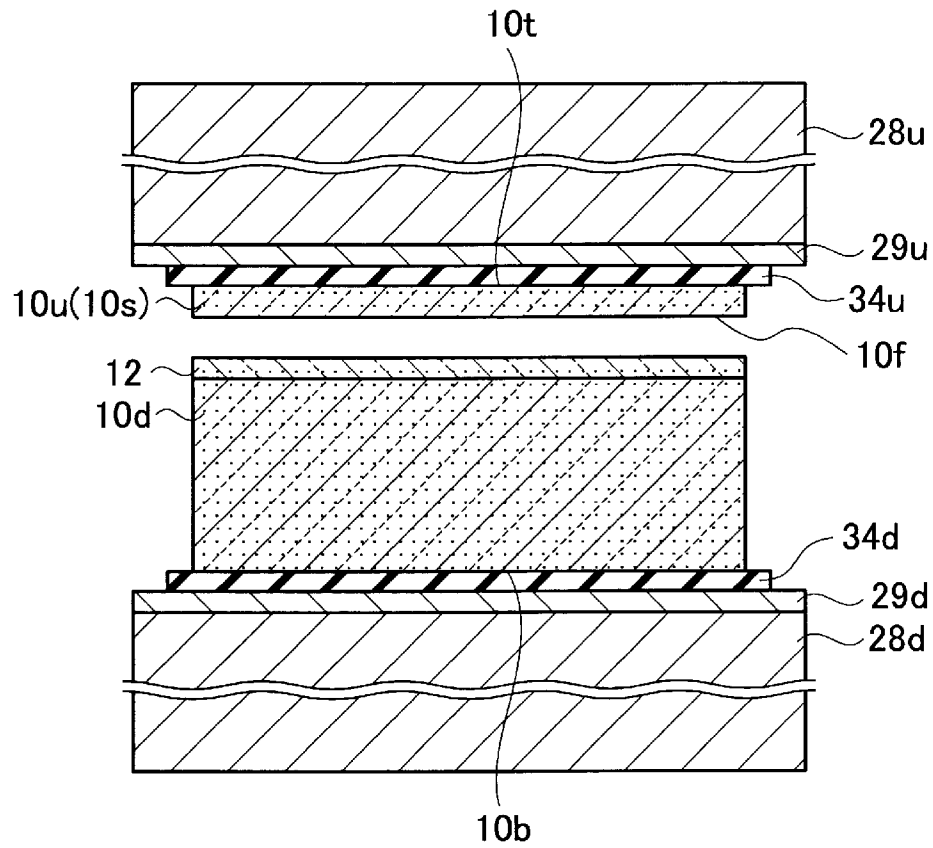
[図3]



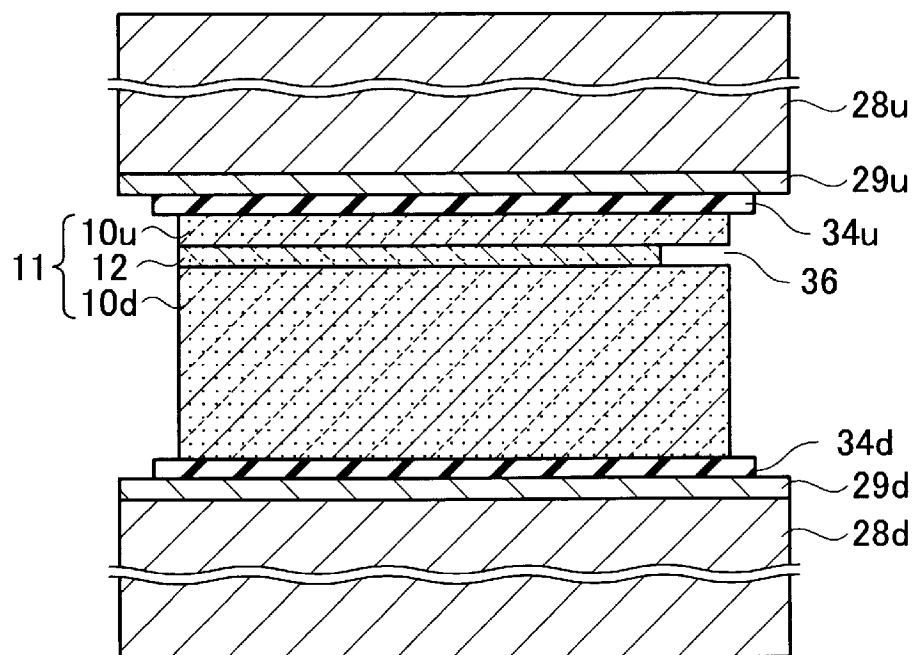
[図4]



[図7]

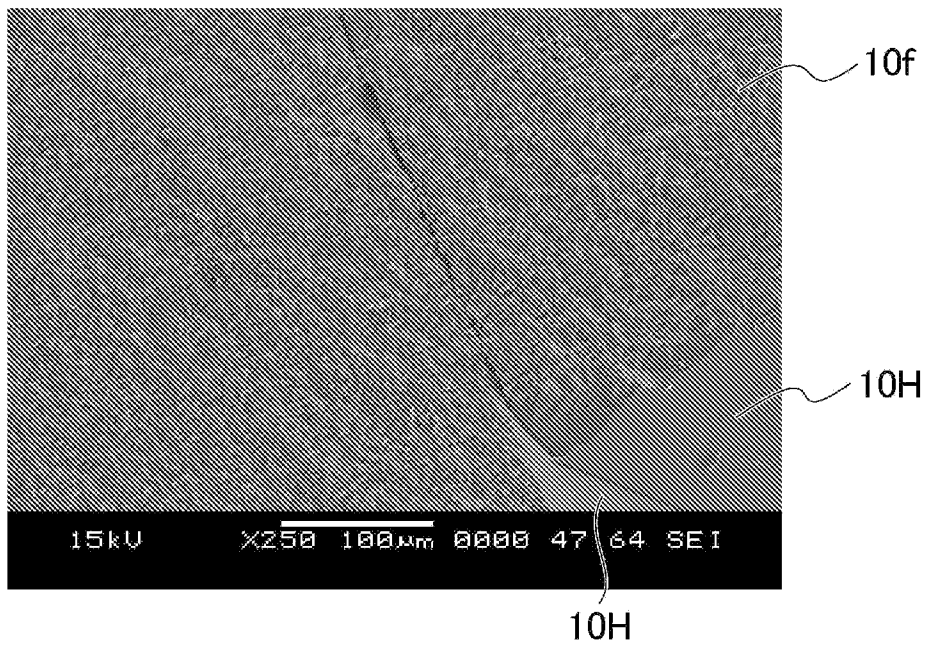


[図8]

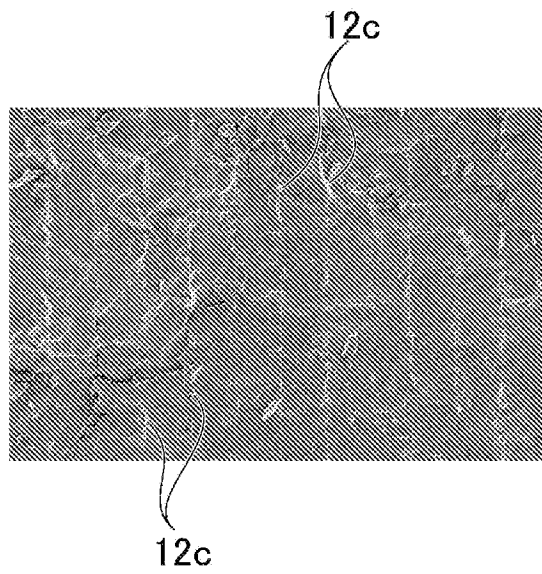


This diagram shows a cross-sectional view of a semiconductor device. A central layer 11 is composed of sub-layers 10u, 12, and 10d. Above and below this central stack are additional layers: 28u, 29u, 34u, 30, 34d, 29d, and 28d. The bottom of the device features regions 32a and 32b, with a central region 11d. The layers are distinguished by different hatching patterns: diagonal lines for 28u, 28d, 29u, 29d, 32a, and 32b; a dotted pattern for 10d; a cross-hatch pattern for 12; a wavy line pattern for 10u; a diagonal line pattern for 34u and 34d; and a solid black fill for 30.

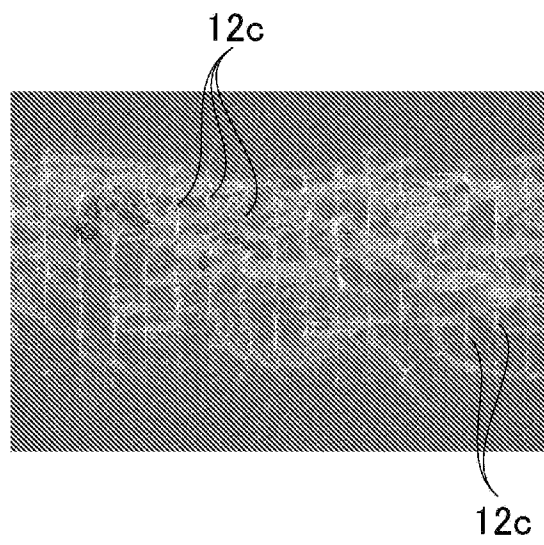
[図11]



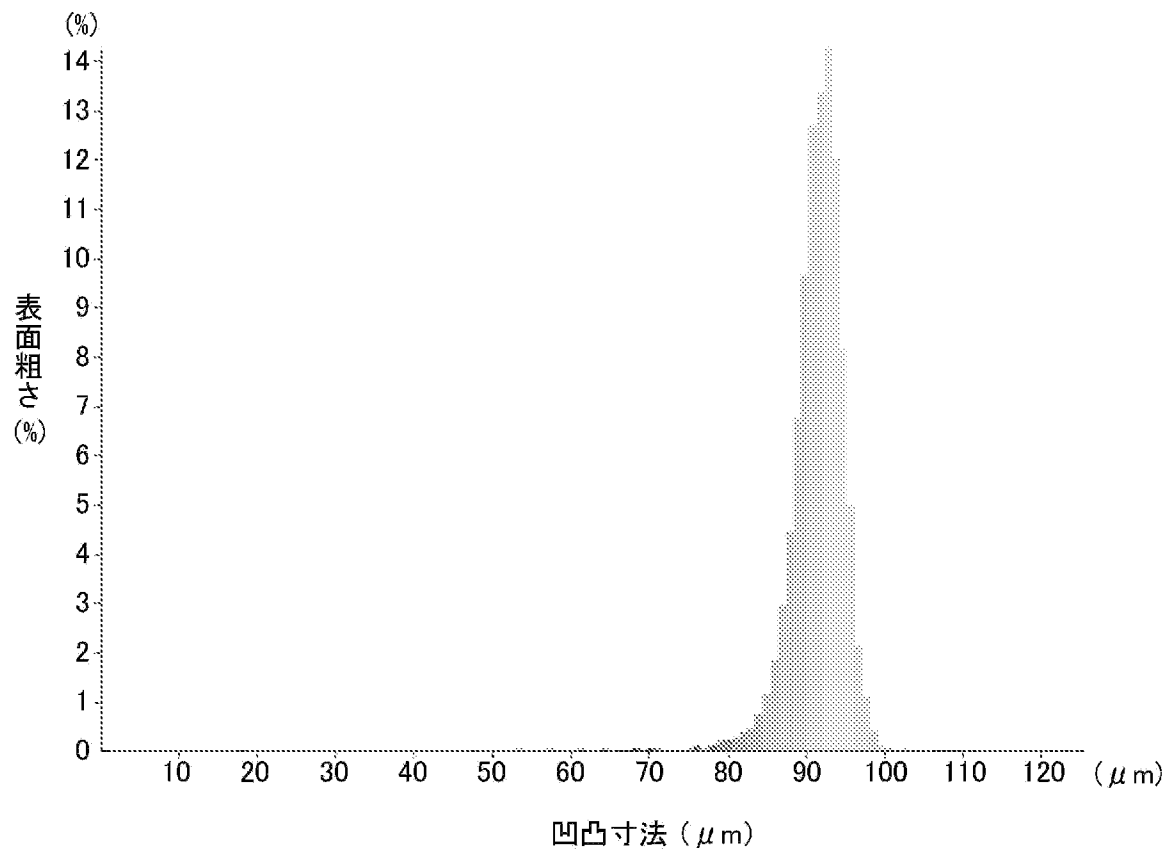
[図12]



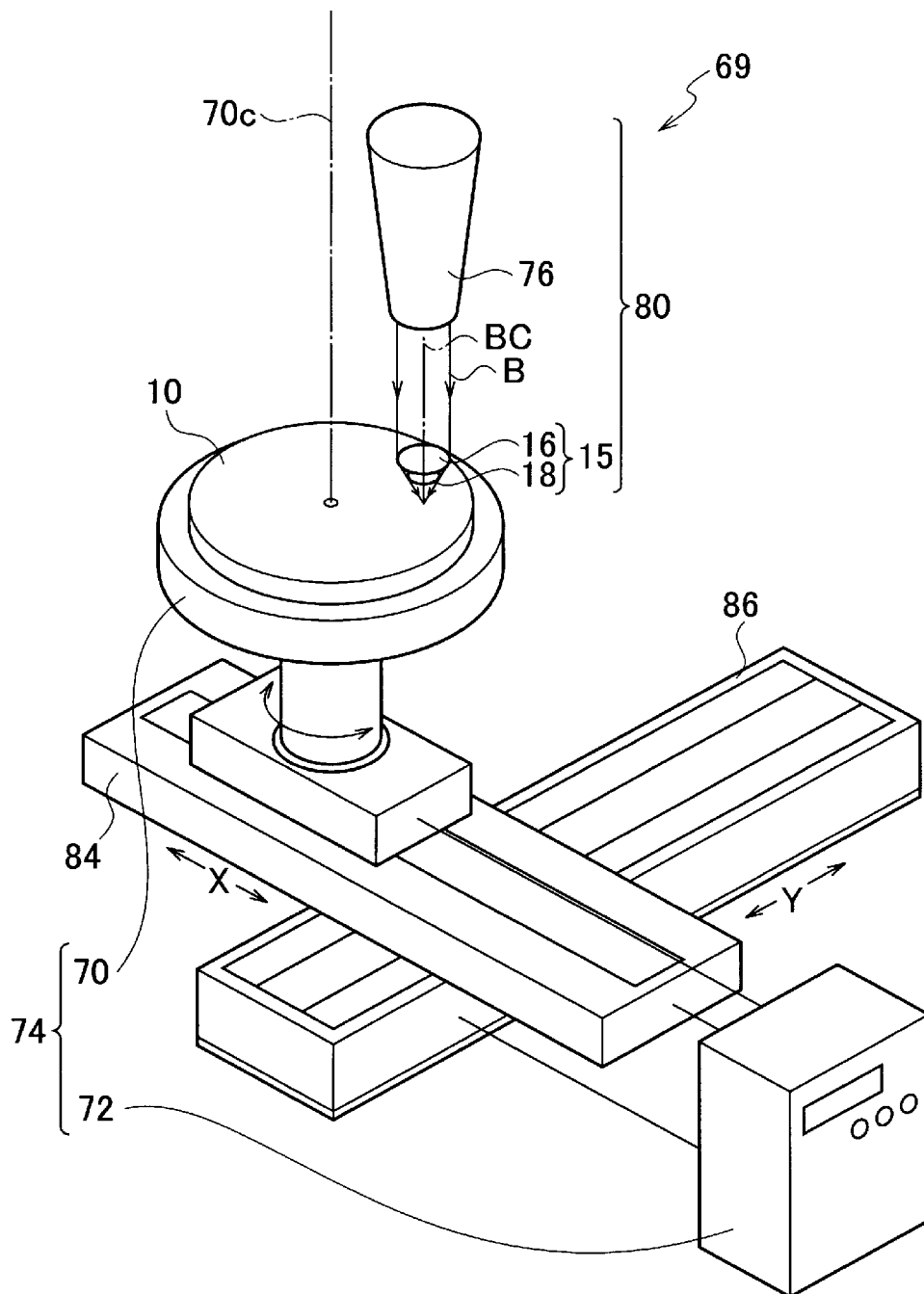
[図13]



[図14]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/052949

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/02(2006.01)i, B23K26/08(2006.01)i, B23K26/40(2006.01)i, B28D5/00(2006.01)i, H01L21/268(2006.01)i, H01L21/301(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)

H01L21/02, B23K26/08, B23K26/40, B28D5/00, H01L21/268, H01L21/301, 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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
X Y	JP 2011-003624 A (Shin-Etsu Polymer Co., Ltd.), 06 January 2011 (06.01.2011), paragraphs [0023] to [0046]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-4, 10 5-9
Y	JP 09-331077 A (Ion Engineering Research Institute Corp.), 22 December 1997 (22.12.1997), paragraphs [0020] to [0030]; fig. 1, 2 (Family: none)	5

☒ 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
25 March, 2011 (25.03.11)

Date of mailing of the international search report
05 April, 2011 (05.04.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/052949

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 2006-192503 A (L'Air Liquide, Societe Anonyme a Directoire et Conseil de Surveillance pour l'Etude et l'Exploitation des Procedes Georges Claude), 27 July 2006 (27.07.2006), paragraphs [0018] to [0026]; fig. 1 & US 2006/0186099 A1 & EP 1681126 A1 & DE 602005012046 D & FR 2880567 A & CA 2531883 A & CN 1803372 A & AT 419089 T & DK 1681126 T & ES 2320353 T & BRA PI0601550 & PT 1681126 E & AU 2006200024 A & CA 2531883 A1	6-9
Y	JP 2010-284712 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 24 December 2010 (24.12.2010), paragraphs [0017] to [0046]; fig. 1 to 8 (Family: none)	7-9
A	JP 2005-294325 A (Sharp Corp.), 20 October 2005 (20.10.2005), paragraphs [0047] to [0050]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/052949

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.:
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:

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:

Document 1 (JP 2011-003624 A (Shin-Etsu Polymer Co., Ltd.), 6 January 2011 (06.01.2011), paragraphs [0023] - [0046], fig. 1 - 4) teaches that a single-crystal substrate is formed such that a laser collection means for emitting a laser light and for correcting the aberration to be caused by the refractive index of a single-crystal member is arranged in a noncontact manner on the single-crystal member, such that the laser light is irradiated on the surface of the single-crystal member by the laser collection means so that the laser light may be condensed inside of the single-crystal member, such that the laser collection means and the single-crystal member are relatively moved (continued to extra sheet)

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 additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
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 additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the 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.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/052949

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

to form a two-dimensional reforming layer inside of the single-crystal member, and such that a single-crystal layer separated by the reforming layer is peeled from the reforming layer thereby to form the single-crystal substrate. Thus, the invention of claim 1 is not admitted to involve any novelty to and any special technical feature over the invention taught in document 1.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/02(2006.01)i, B23K26/08(2006.01)i, B23K26/40(2006.01)i, B28D5/00(2006.01)i,
H01L21/268(2006.01)i, H01L21/301(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. H01L21/02, B23K26/08, B23K26/40, B28D5/00, H01L21/268, H01L21/301, 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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
X Y	JP 2011-003624 A（信越ポリマー株式会社）2011.01.06, 段落【0023】－【0046】，第1－4図（ファミリーなし）	1-4, 10 5-9
Y	JP 09-331077 A（株式会社イオン工学研究所）1997.12.22, 段落【0020】－【0030】，第1, 2図（ファミリーなし）	5

☒ 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 5 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 5 . 0 4 . 2 0 1 1

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）

萩原 周治

電話番号 03-3581-1101 内線 3498

4 L

9 8 3 5

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	JP 2006-192503 A (レール・リキードーソシエテ・アノニム・ア・ディレクトワール・エ・コンセイユ・ドゥ・スールベイランス・プール・レテュード・エ・レクスプロワタシオン・デ・プロセデ・ジヨルジュ・クロード) 2006.07.27, 段落【0018】－【0026】, 第1図 & US 2006/0186099 A1 & EP 1681126 A1 & DE 602005012046 D & FR 2880567 A & CA 2531883 A & CN 1803372 A & AT 419089 T & DK 1681126 T & ES 2320353 T & BRA PI0601550 & PT 1681126 E & AU 2006200024 A & CA 2531883 A1	6-9
Y	JP 2010-284712 A (浜松ホトニクス株式会社) 2010.12.24, 段落【0017】－【0046】, 第1－8図 (ファミリーなし)	7-9
A	JP 2005-294325 A (シャープ株式会社) 2005.10.20, 段落【0047】－【0050】, 第1, 3図 (ファミリーなし)	1-10

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（P C T 17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. ☐ 請求項 _____ 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. ☐ 請求項 _____ 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、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T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ろの国際調査機関は認めた。

文献1（JP 2011-003624 A（信越ポリマー株式会社）2011.01.06，段落【0023】－【0046】，第1－4図）には、レーザ光を出射するとともに単結晶部材の屈折率に起因する収差を補正するレーザ集光手段を、単結晶部材上に非接触に配置し、レーザ集光手段により、単結晶部材表面にレーザ光を照射して単結晶部材内部にレーザ光を集光し、レーザ集光手段と単結晶部材とを相対的に移動させて、単結晶部材内部に、2次元状の改質層を形成し、改質層により分断されてなる単結晶層を改質層から剥離することで単結晶基板を形成することが教示されている。したがって、請求項1に係る発明は、文献1に教示された発明に対して新規性が認められず、特別な技術的特徴を有しない。

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項について作成した。
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項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項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項について作成した。

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はあったが、異議申立てはなかった。