

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-201575

(P2016-201575A)

(43) 公開日 平成28年12月1日(2016.12.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/304 (2006.01)	H O 1 L 21/304	6 O 1 H 3 C O 6 9
B 2 3 K 26/53 (2014.01)	H O 1 L 21/304	6 1 1 Z 4 E 1 6 8
B 2 8 D 5/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/53	5 F O 5 7
	B 2 8 D 5/00	Z

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-168513 (P2016-168513)	(71) 出願人	504190548
(22) 出願日	平成28年8月30日 (2016. 8. 30)		国立大学法人埼玉大学
(62) 分割の表示	特願2012-556739 (P2012-556739)		埼玉県さいたま市桜区下大久保2 5 5
	の分割	(71) 出願人	000190116
原出願日	平成23年2月10日 (2011. 2. 10)		信越ポリマー株式会社
			東京都千代田区神田須田町一丁目9番地
		(74) 代理人	100083806
			弁理士 三好 秀和
		(74) 代理人	100101247
			弁理士 高橋 俊一
		(74) 代理人	100095500
			弁理士 伊藤 正和
		(74) 代理人	100098327
			弁理士 高松 俊雄

最終頁に続く

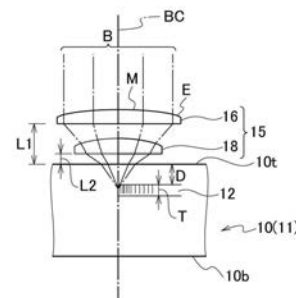
(54) 【発明の名称】 単結晶基板製造方法

(57) 【要約】

【課題】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を提供することを課題とする。

【解決手段】単結晶基板製造方法は、単結晶部材10上に非接触にレーザ集光手段を配置する工程と、レーザ集光手段により、単結晶部材表面にレーザ光Bを照射して単結晶部材内部にレーザ光Bを集光するとともに、レーザ集光手段の外周部に入射した光をレーザ集光手段の内周部に入射した光よりもレーザ集光手段側で集光させつつレーザ集光手段と単結晶部材10とを相対的に移動させることで、単結晶部材内部に、2次元状の薄厚改質層を形成する工程と、薄厚改質層により分断されてなる単結晶層を薄厚改質層との界面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。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

単結晶部材上に非接触にレーザ集光手段を配置する工程と、

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とともに、前記レーザ集光手段の外周部に入射した光を前記レーザ集光手段の内周部に入射した光よりも前記レーザ集光手段側で集光させつつ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ることで、前記単結晶部材内部に、2次元状の薄厚改質層を形成する工程と、

前記薄厚改質層により分断されてなる単結晶層を前記薄厚改質層との界面から剥離することで単結晶基板を形成する工程と

10

を有することを特徴とする単結晶基板製造方法。

【請求項 2】

厚み60 μ m未満の前記薄厚改質層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製造方法。

【請求項 3】

前記薄厚改質層として、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または2に記載の単結晶基板製造方法。

【請求項 4】

前記界面が、前記薄厚改質層の両面側のうち前記レーザ光の被照射側の界面であることを特徴とする請求項1または2に記載の単結晶基板製造方法。

20

【請求項 5】

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1または2に記載の単結晶基板製造方法。

【請求項 6】

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または2に記載の単結晶基板製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

30

本発明は、単結晶基板製造方法に関し、特に、単結晶基板を薄く安定して切り出す単結晶基板製造方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、単結晶のシリコン(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。

【0003】

40

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】

50

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（SiC）が注目されているが、SiCの場合には、Si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、NA0.8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が、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、NA0.5～0.8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100μ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】

10

20

30

40

50

上記課題を解決するための本発明の一態様によれば、単結晶部材上に非接触にレーザ集光手段を配置する工程と、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とともに、前記レーザ集光手段の外周部に入射した光を前記レーザ集光手段の内周部に入射した光よりも前記レーザ集光手段側で集光させつつ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ることで、前記単結晶部材内部に、２次元状の薄厚改質層を形成する工程と、前記薄厚改質層により分断されてなる単結晶層を前記薄厚改質層との界面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製造方法が提供される。

【００１６】

なお、単結晶部材の外部から照射され該単結晶部材の内部に集光されたレーザ光によって、レーザ光の照射軸と平行なクラック部の集合体で構成される２次元状の改質層と、改質層に隣接する単結晶層とを備える内部改質層形成単結晶部材を提供してもよい。

【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を説明する説明図。

【図１５】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

10

20

30

40

50

等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11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12c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11の側壁に、レーザ光の集光によって形成された改質層12を露出させたことを示す模式的斜視断面図である。

10

【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15を単結晶部材10上に非接触に配置する工程と、集光レンズ15により、単結晶部材10表面にレーザ光Bを照射して単結晶部材10内部にレーザ光B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10uを改質層12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10sを形成する工程と、を有する。ここで、図7は、改質層12から単結晶層10uを剥離させたことを説明する模式的断面図である。

20

【0024】

集光レンズ15は、単結晶部材10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15は、空気中で集光した際に、集光レンズ15の外周部Eに到達したレーザ光が集光レンズ15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15の外周部Eに到達したレーザ光の集光点EPが、集光レンズ15の中央部Mに到達したレーザ光の集光点MPに比べ、集光レンズ15に近い位置となるように補正する構成になっている。

30

【0025】

詳細に説明すると、集光レンズ15は、空気中で集光する第1レンズ16と、この第1レンズ16と単結晶部材10との間に配置される第2レンズ18と、で構成される。第1レンズ16および第2レンズ18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10の表面10t(被照射側の表面)から改質層12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L1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L2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60μm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L1、L2を設定しておく。

40

【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0.3~0.7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3~5mm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。

50

【 0 0 2 7 】

そして、レーザ光 B の照射によって単結晶部材 1 0 の表面 1 0 t にダメージを与えることなく単結晶部材 1 0 の内部に改質層 1 2 を形成する観点で、集光レンズ 1 5 の外周部 E に到達したレーザ光とその集光点 E P で定義される空気中の集光レンズ 1 5 の N A は、0 . 3 ~ 0 . 8 5 にすることが好ましく、0 . 5 ~ 0 . 8 5 にすることがさらに好ましい。

【 0 0 2 8 】

なお、改質層 1 2 の厚みの調整が不要である場合、第 1 レンズ 1 6 および第 2 レンズ 1 8 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。

【 0 0 2 9 】

単結晶部材 1 0 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 1 0 t が予め平坦化されていることが好ましい。

【 0 0 3 0 】

レーザ光 B は、単結晶部材 1 0 の周面ではなく、上記の表面 1 0 t に照射装置（図示省略）から集光レンズ 1 5 を介して照射される。このレーザ光 B は、単結晶部材 1 0 がシリコンの場合には、例えばパルス幅が $1\text{ }\mu\text{s}$ 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、Y A G レーザ等が好適に使用される。

【 0 0 3 1 】

集光レンズ 1 5 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 1 5 の上方にレーザ発振器を配置して集光レンズ 1 5 に向けて発光する形態としてもよいし、集光レンズ 1 5 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 1 5 に向けて反射する形態にしてもよい。

【 0 0 3 2 】

このレーザ光 B は、単結晶部材 1 0 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 $1\sim 80\%$ の波長であることが望ましい。例えば、単結晶部材 1 0 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 1 2 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 $10.64\text{ }\mu\text{m}$ の CO_2 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、Y A G 基本波のレーザなどが好適に使用される。

【 0 0 3 3 】

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 1 2 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。

【 0 0 3 4 】

（改質層の形成工程）

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 内部に改質層 1 2 を形成する工程としては、例えば、単結晶部材 1 0 を X Y 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 1 0 を保持する。

【 0 0 3 5 】

そして、X Y ステージで単結晶部材 1 0 を X 方向や Y 方向に移動させることで、集光レンズ 1 5 と単結晶部材 1 0 とを、単結晶部材 1 0 の集光レンズ 1 5 が配置されている側の表面 1 0 t 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 1 0 の内部に集光したレーザ光 B によって多数のクラック 1 2 c が形成される。このクラック 1 2 c を有するクラック部 1 2 p の集合体が上述の改質層 1 2 である。この改質層 1 2 が形成された結果、内部改質層形成単結晶部材 1 1 が製造される。この内部改質層形成単結晶部材 1 1 は、単結晶部材内部に形成された改質層 1 2 と、改質層 1 2 の上側（

10

20

30

40

50

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。単結晶層 10 u および単結晶部 10 d 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 10 t、すなわち単結晶層 10 u の表面 10 t 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 10 u の剥離を行ってもよい。

10

【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 B C に平行な多数のクラック 12 c が形成されている。形成するクラック 12 c の寸法、密度などは、改質層 12 から単結晶層 10 u 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 12 c 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 14 a~ 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 ~ 50 μ m 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。

20

【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。

30

【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される接着剤であって、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。特に、硬化後、温水中に浸けることで接着力が低下するタイプの接着剤は、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ため好適に使用される。

40

【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】

50

仮固定用接着剤の接着強度は、改質層 1 2 と単結晶層 1 0 u との界面 1 1 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 1 2 c の寸法、密度を調整してもよい。

【 0 0 4 4 】

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 1 0 u の剥離面 1 0 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。

【 0 0 4 5 】

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 . 1 5 ~ 0 . 3 5 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。

【 0 0 4 6 】

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 2 8 u、2 8 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。

【 0 0 4 7 】

接着した際に金属製基板 2 8 u と金属製基板 2 8 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。

【 0 0 4 8 】

また、金属製基板 2 8 u、2 8 d を仮固定用接着剤で内部改質層形成単結晶部材 1 1 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。

【 0 0 4 9 】

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 1 1 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 1 0 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。

【 0 0 5 0 】

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。

【 0 0 5 1 】

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。

【 0 0 5 2 】

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 # 8 0 ~ 2 0 0 0 が好ましく、金属製基板の表面ダメージを考慮すると # 1 5 0 ~ 8 0 0 がより好ましい。

【 0 0 5 3 】

金属製基板の接着後、図 6 に示したように、金属製基板 2 8 u に上方向の力 F_u を、金属製基板 2 8 d に下方向の力 F_d をそれぞれ加える。ここで、改質層 1 2 と単結晶部 1 0

10

20

30

40

50

d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Fu、Fd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Fu、Fd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Fu、Fd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Fuと下方向の力成分Fdとを発生させてもよい。

10

【0055】

このようにして得られた単結晶基板10sの剥離面10f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10sの剥離面10f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いた面10H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10uを剥離することで薄い単結晶基板10s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10s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10sが得られるので、製品率を向上させることができる。

20

【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12p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10u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11u、11dのうち、レーザ光の被照射側の界面11uから剥離させて剥離面10fを粗面としている。このような粗面化された剥離面10f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。

30

【0059】

また、単結晶基板10sを形成する工程では、表面に酸化層29uを有する金属製基板28uを単結晶層10uの表面に接着して剥離させることで単結晶基板10s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28uから単結晶基板10sを容易に分離させることができる。

40

【0060】

なお、本実施形態では、金属製基板28u、28d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28u、28dに力を加えて剥離することで単結晶基板10s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

50

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 X Y 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 μm 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 μm 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 μm ではなく 10 μm 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 μm 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 μm 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】

10

20

30

40

50

[第 2 実施形態]

次に、第 2 実施形態について説明する。図 1 5 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。

【 0 0 7 0 】

本実施形態で用いる単結晶部材内部加工装置 6 9 は、上面側に載置された単結晶部材 1 0 を保持する回転ステージ 7 0 と、回転ステージ 7 0 の回転数を制御する回転ステージ制御手段 7 2 とを有する基板回転手段 7 4 を備えている。そして、単結晶部材内部加工装置 6 9 は、レーザ光源 7 6 と、集光レンズ 1 5 と、集光レンズ 1 5 から回転ステージ 7 0 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 8 0 を備えている。さらに、単結晶部材内部加工装置 6 9 は、回転ステージ 7 0 の回転軸 7 0 c と回転ステージ 7 0 の外周との間で、回転ステージ 7 0 と集光レンズ 1 5 とを相対的に移動させる X 方向移動ステージ 8 4 および Y 方向移動ステージ 8 6 を備えている。

10

【 0 0 7 1 】

本実施形態では、この単結晶部材内部加工装置 6 9 を用い、回転ステージ 7 0 に単結晶部材 1 0 を載置し、回転ステージ 7 0 で単結晶部材 1 0 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 8 4 や Y 方向移動ステージ 8 6 で回転ステージ 7 0 を移動させて、レーザ光 B の照射位置を回転ステージ 7 0 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 1 0 の内部に 2 次元状の改質層を形成することができる。

20

【 0 0 7 2 】

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 7 0 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。

【 0 0 7 3 】

なお、例えば正形状の単結晶部材を、回転ステージ 7 0 上に、回転軸 7 0 c 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。

30

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 7 4 】

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、Si 基板であれば、太陽電池に応用可能であり、また、Ga 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、Si C などであれば、Si 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 】

【 0 0 7 5 】

40

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

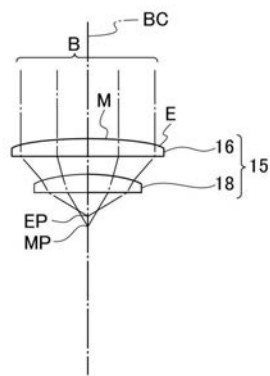
1 1 u 界面

1 2 改質層

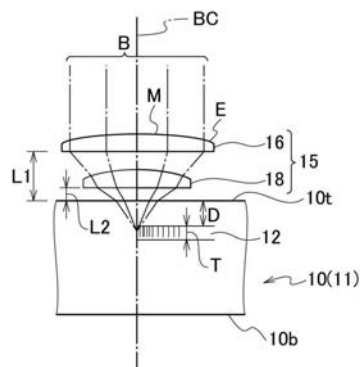
50

12 p クラック部
 15 集光レンズ
 28 u 金属製基板
 29 u 酸化層
 B レーザ光
 B C 照射軸

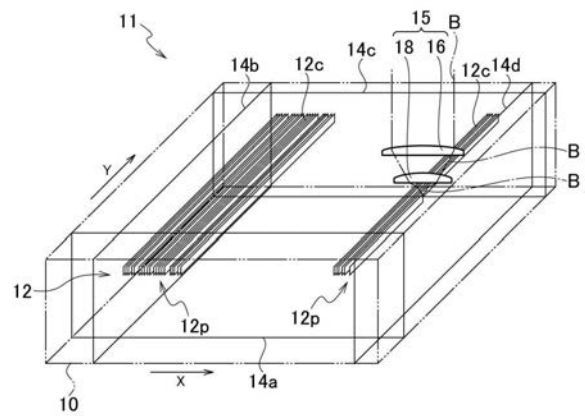
【図 1】



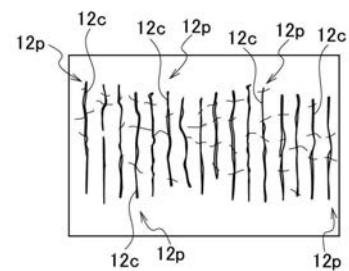
【図 2】

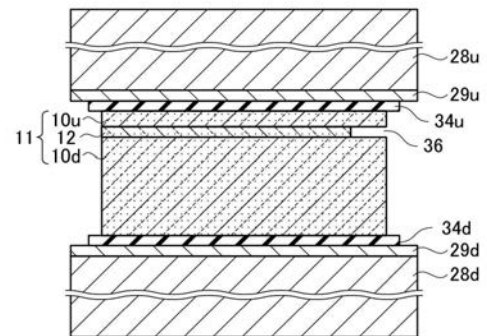
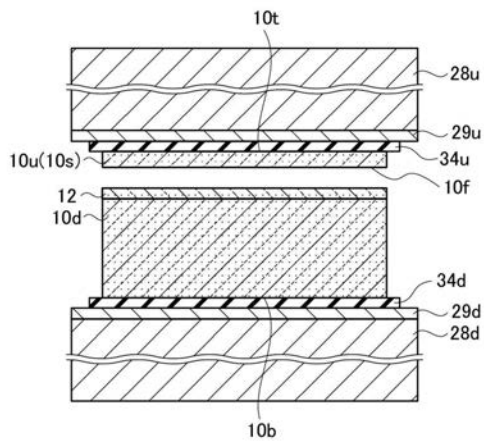
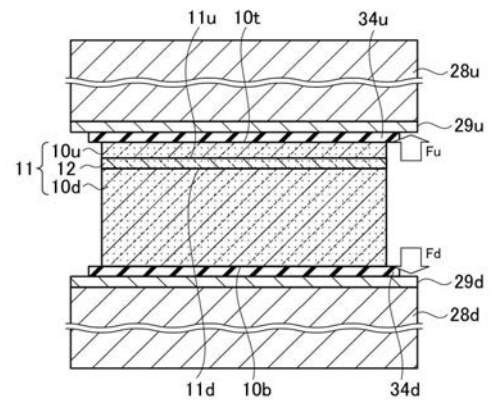
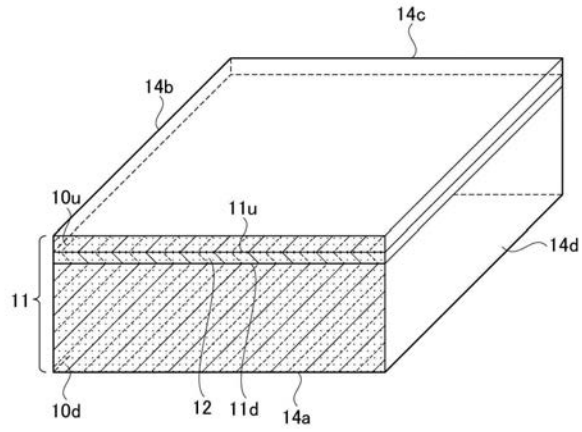


【図 3】

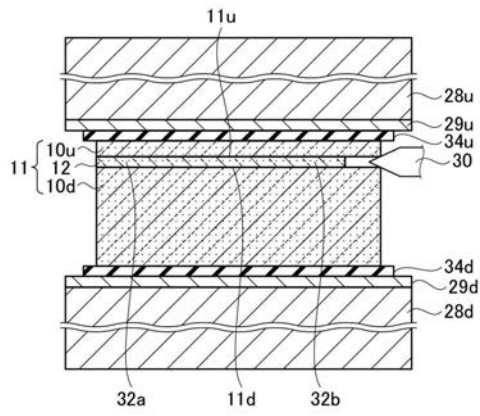


【図 4】

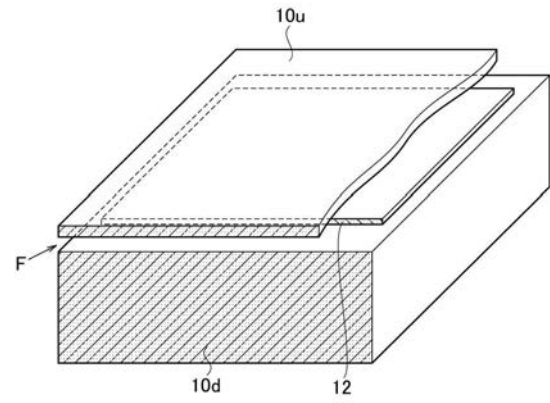




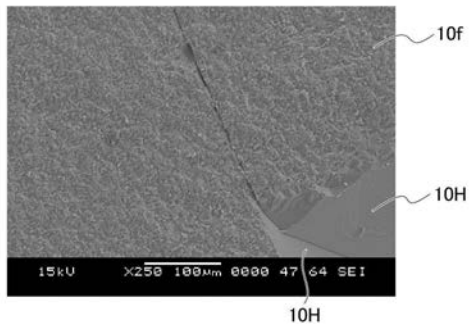
【図 9】



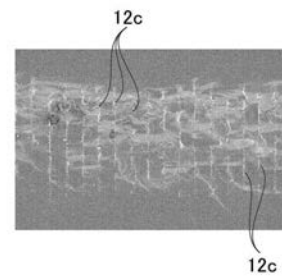
【図 10】



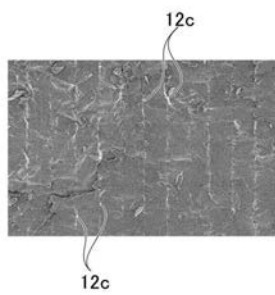
【図 11】



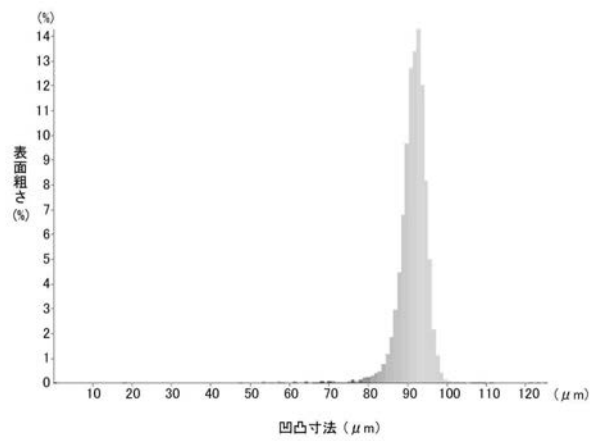
【図 13】



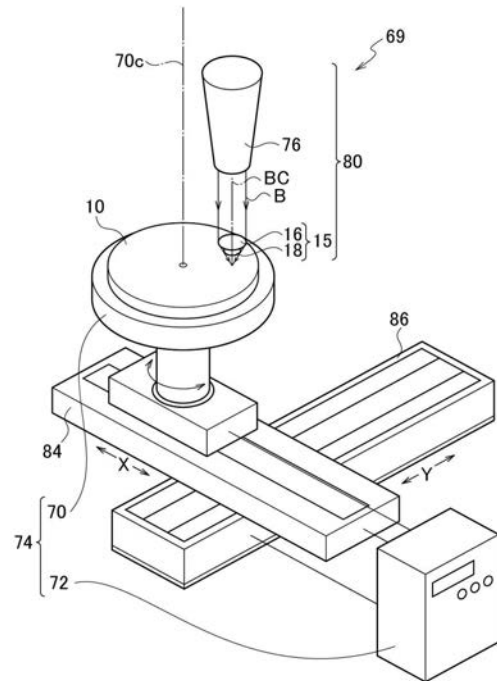
【図 12】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(72)発明者 池野 順一

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

(72)発明者 鈴木 秀樹

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

(72)発明者 松尾 利香

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

F ターム(参考) 3C069 AA01 AA03 BA01 BA08 BB01 CA05 EA01

4E168 AE01 CB04 CB07 DA02 DA24 DA45 EA15 EA16 HA01 JA12

JA13

5F057 AA11 BA01 BB03 BB09 CA02 DA20 DA22 EB26 EC10 FA22