

(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2019-140410

(P2019-140410A)

(43) 公開日 令和1年8月22日(2019.8.22)

| | | |
|---------------------------------|------------------------|-------------|
| (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 1 1 Z | 4 E 1 6 8 |
| B 2 3 K 26/53 (2014.01) | B 2 3 K 26/53 | 5 F 0 5 7 |

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

| | | | |
|------------|-------------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2019-87741 (P2019-87741) | (71) 出願人 | 000190116 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 |
| (22) 出願日 | 令和1年5月7日 (2019.5.7) | (71) 出願人 | 504190548 国立大学法人埼玉大学 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 |
| (62) 分割の表示 | 特願2013-210475 (P2013-210475) の分割 | (74) 代理人 | 100083806 弁理士 三好 秀和 |
| 原出願日 | 平成25年10月7日 (2013.10.7) | (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

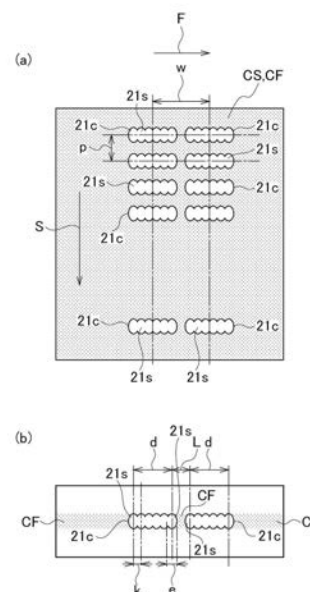
(54) 【発明の名称】 内部加工層形成単結晶部材およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】シリコンの単結晶部材に形成した加工層から剥離させることで比較的大きくて薄いシリコンの単結晶基板を形成するにあたり、応力を負荷せずに剥離可能であり、剥離面の平坦性を確保しつつ加工時間の短縮化を図ることができる内部加工層形成単結晶部材およびその製造方法を提供することを課題とする。

【解決手段】内部加工層形成単結晶部材は、内部に形成された加工層と、加工層両面側にそれぞれ隣接する非加工層22とを備える。加工層には、複数のレーザー光の集光によってそれぞれ形成された複数の加工痕21sが一方向に連なってなる変質部21cが、レーザー光の走査方向Sおよびオフセット方向Fにそれぞれ複数個配列され、かつ、走査方向Sに隣り合う変質部21c同士に跨るクラックCS、および、オフセット方向Fに隣り合う変質部21c同士に跨るクラックCFの少なくとも一方が形成され、各クラックのレーザー深さ位置が略同一深さ位置とされている。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ光を集光するレーザ集光手段を介してレーザ光をシリコンの単結晶部材の被照射面から照射しつつ、前記単結晶部材と前記レーザ集光手段とを相対的に移動させることで、前記単結晶部材内部に形成された加工層と、

前記加工層の両面側にそれぞれ隣接する非加工部と、
を備え、

前記加工層には、1本のレーザ光が分割されてなる複数のレーザ光の集光によって形成され、隣接する加工痕同士が互いに一部重なって繋がることで一方向に連なってなる変質部が、レーザ光の走査方向およびオフセット方向にそれぞれ複数個配列され、

かつ、レーザ光の走査方向に隣り合う変質部同士に跨るクラック、および、レーザ光のオフセット方向に隣り合う変質部同士に跨るクラックの両方が形成されているとともに、クラックの前記被照射面からの深さ位置が略同一深さ位置であり、

前記加工層と前記非加工層との間に連続する境界が形成されていて前記境界の全面から剥離可能になっていることを特徴とする内部加工層形成単結晶部材。

【請求項 2】

前記複数のレーザ光は、ビームパワーが均一である請求項 1 に記載の内部加工層形成単結晶部材。

【請求項 3】

レーザ光を集光するレーザ集光手段を介してレーザ光をシリコンの単結晶部材の被照射面から照射しつつ、前記単結晶部材と前記レーザ集光手段とを相対的に移動させることで、前記単結晶部材内部に加工層を形成して前記単結晶部材を内部加工層形成単結晶部材とする内部加工層形成単結晶部材の製造方法であって、

1本のレーザ光が入射すると、同一平面内を進み、かつ、隣り合うレーザ光同士のなす角度が均等となるような複数のレーザ光に分割して出射する、ビームスプリッタ手段を前記レーザ集光手段に設け、

該ビームスプリッタ手段で分割された複数のレーザ光を前記単結晶部材に照射してそれぞれ前記単結晶部材内部に集光することで、複数のレーザ光により、隣接する加工痕同士が互いに一部重なって繋がることで一方向に連なってなる変質部を配列するように形成していくとともに、前記変質部を、レーザ光の走査方向に隣り合う変質部同士に跨るクラック、および、レーザ光のオフセット方向に隣り合う変質部同士に跨るクラックの両方が生じるとともにクラックの前記被照射面からの深さ位置が略同一深さ位置となるように形成していくことで、

前記加工層と前記非加工層との間に連続する境界が形成されて前記境界の全面から剥離可能にしたことを特徴とする内部加工層形成単結晶部材の製造方法。

【請求項 4】

前記複数のレーザ光は、ビームパワーが均一である請求項 3 に記載の内部加工層形成単結晶部材の製造方法。

【請求項 5】

オフセット方向に隣り合う一方の前記変質部の前記加工痕と他方の前記変質部の前記加工痕との距離のうち最も近い加工痕同士の中心間距離が、前記加工痕のオフセット方向の幅よりも長いことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の内部加工層形成単結晶部材の製造方法。

【請求項 6】

前記ビームスプリッタ手段で分割された複数のレーザ光を集光する集光器を用いて前記単結晶部材内部に集光することを特徴とする請求項 3 から 5 のいずれか一項に記載の内部加工層形成単結晶部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、シリコンの単結晶部材の被照射側の表面から単結晶部材内部にレーザ光を集光することで、単結晶部材内部に加工層を形成した内部加工層形成単結晶部材およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、単結晶のシリコン(Si)ウエハに代表される半導体ウエ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エハ形にスライスして半導体ウエハを製造するようにしている。

10

【0003】

このようにして製造された半導体ウエハは、前工程で回路パターン形成等、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エハは、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エ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。

20

【0005】

一方、集光レンズでレーザ光の集光点をインゴット(ウエハ)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加工層(改質層)を形成し、この加工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ことが開示されている(例えば、特許文献1参照)。

【0006】

なお、この明細書中においては、別記する場合を除いてウエハのことを適宜に基板と称する。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0007】

【特許文献1】特開2011-167718号公報

【特許文献2】特開2011-224658号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、単結晶部材内部に加工層を形成する場合、1つのレーザパルスで1点(1つ)の加工痕を形成している。このため、その加工間隔である加工ピッチは、加工進行方向へのステージ移動速度とパルス周波数で決まる。また、この加工ピッチと、オフセット方向(加工進行方向に直交する方向)の間隔である加工オフセットと、によって、単結晶部材内部に形成される加工痕の数(加工数)が決まる。

40

【0009】

仮に、加工ピッチを1 μ m、加工オフセットを2 μ mとすると、100mm角(一辺が100mmの正方形)の領域を加工するには50億パルスのレーザ光を照射する必要がある。この場合、パルス周波数を100kHzとするとステージ移動速度は100mm/sとなり、5000秒、すなわち14時間という長大な加工時間が必要となる。そこで、加工時間の短縮方法として、分岐ビームにより一度に複数のビームを照射すること方法が提案されている。また、仮に、加工ピッチと加工オフセットとを広げて剥離可能な条件を見出したとしても、隣り合う加工痕の間の領域ではレーザ光による加工(改質)がなされていない。このため、例えば単結晶部材の厚み方向の位置によって剥離する高さ位置が異

50

なり、剥離することが困難であったり、剥離できても剥離面の平坦性が低下することが考えられる。

【0010】

一方、単結晶部材を形成した内部加工層から分断させて新たな単結晶部材を創成することができる。この分断方法としては、内部加工層を形成した単結晶部材を、接着剤を用いて金属板で挟持して固定した後、金属板を互いに離れる方向の力を加えることにより剥離する方法、単結晶基板の側面から応力を印加してクラックを伝搬させて剥離する方法などが例示されている。しかしながら、こうした従来の方法により加工層から単結晶部材を分断させる方法においては、単結晶部材に応力が負荷あるいは印加されることによって単結晶部材の非加工層領域に衝撃や変形などが生じ、欠陥や転移などを発生させる可能性が高い。その結果、分断され創成された単結晶部材の品質劣化につながり、実使用上の不具合が生じる。さらに、これらの分断方法が求められる内部加工層結晶部材は、内部加工層が応力を負荷あるいは印加させないと分離できない状態であることを示唆している。従って、応力を負荷あるいは印加させなくても、形成した内部加工層から単結晶部材を分断および分離可能な加工層の形成方法が求められる。

10

【0011】

本発明は、上記課題に鑑み、シリコンの単結晶部材に形成した加工層から剥離させることで比較的大きくて薄いシリコンの単結晶基板を形成するにあたり、応力を負荷せずに剥離可能であり、剥離面の平坦性を確保しつつ加工時間の短縮化を図ることができる内部加工層形成単結晶部材およびその製造方法を提供することを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するための本発明の一態様によれば、レーザ光を集光するレーザ集光手段を介してレーザ光をシリコンの単結晶部材の被照射面から照射しつつ、前記単結晶部材と前記レーザ集光手段とを相対的に移動させることで、前記単結晶部材内部に形成された加工層と、前記加工層の両面側にそれぞれ隣接する非加工部と、を備え、前記加工層には、複数のレーザ光の集光によってそれぞれ形成された複数の加工痕が一方向に連なってなる変質部が、レーザ光の走査方向およびオフセット方向にそれぞれ複数個配列され、かつ、レーザ光の走査方向に隣り合う変質部同士に跨るクラック、および、レーザ光のオフセット方向に隣り合う変質部同士に跨るクラックの少なくとも一方が形成されているとともに、前記クラックの前記被照射面からの深さ位置が略同一深さ位置である内部加工層形成単結晶部材が提供される。

30

【0013】

本発明の別の態様によれば、レーザ光を集光するレーザ集光手段を介してレーザ光をシリコンの単結晶部材の被照射面から照射しつつ、前記単結晶部材と前記レーザ集光手段とを相対的に移動させることで、前記単結晶部材内部に加工層を形成して前記単結晶部材を内部加工層形成単結晶部材とする内部加工層形成単結晶部材の製造方法であって、前記加工層を形成する際、複数のレーザ光による複数の加工痕が一方向に連なってなる変質部を、レーザ光の走査方向に隣り合う変質部同士に跨るクラック、および、レーザ光のオフセット方向に隣り合う変質部同士に跨るクラックの少なくとも一方が生じるとともに前記クラックの前記被照射面からの深さ位置が略同一深さ位置となるように形成していく内部加工層形成単結晶部材の製造方法が提供される。

40

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、シリコンの単結晶部材に形成した加工層から剥離させることで比較的大きくて薄いシリコンの単結晶基板を形成するにあたり、応力を負荷せずに剥離可能であり、剥離面の平坦性を確保しつつ加工時間の短縮化を図ることができる内部加工層形成単結晶部材およびその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

50

【図 1】本発明の一実施形態で内部加工層形成単結晶部材を製造することを説明する模式的な鳥瞰図である。

【図 2】本発明の一実施形態で内部加工層形成単結晶部材を製造することを説明する模式的な側面断面図である。

【図 3】本発明の一実施形態に係る内部加工層形成単結晶部材の模式的な側面断面図である。

【図 4】本発明の一実施形態で、内部加工層形成単結晶部材を製造することを説明する側面断面図である。

【図 5】図 5 (a) および (b) は、それぞれ、本発明の一実施形態で、集光器から出射したレーザー光によって単結晶部材に加工層を形成することを説明する模式的な平面図および模式的な側面断面図である。

10

【図 6】図 6 (a) および (b) は、それぞれ、本発明の一実施形態で、内部加工層形成単結晶部材の構成を説明する模式的な側面部分断面図、および、(a) の部分拡大図である。

【図 7】図 7 (a) および (b) は、それぞれ、本発明の一実施形態で、内部加工層形成単結晶部材の構成を説明する模式的な側面部分断面図、および、(a) の部分拡大図である。

【図 8】本発明の一実施形態で、内部加工層形成単結晶部材を説明する模式的な側面断面図である。

【図 9】実験例で、加工進行方向に沿って一列に並んだ各変質部を切断した説明図である。

20

【図 10】実験例で、レーザー光照射面側の単結晶部材部分の剥離面を示す光学顕微鏡写真図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

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。以下の説明では、すでに説明したものと同一または類似の構成要素には同一または類似の符号を付し、その詳細な説明を適宜省略している。

【0017】

また、図面は模式的なものであり、寸法比など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、具体的な寸法比など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。

30

【0018】

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例示であって、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はない。この発明の実施の形態は、要旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施できる。

【0019】

図 1 は、本発明の一実施形態（以下、本実施形態という）で、レーザー集光手段により単結晶部材 10 の被照射面（被照射側の表面）からレーザー光を集光して内部に加工層 21 を形成していくことを説明する模式的な鳥瞰図である。図 2 は、レーザー光の照射により単結晶部材 10 の内部に加工層 21 を形成して内部加工層形成単結晶部材を形成することを説明する模式的な断面図である。図 3 は、本実施形態で製造された内部加工層形成単結晶部材 20 の断面構造を説明する模式的な側面断面図である。図 4 は、本実施形態で、内部加工層形成単結晶部材を製造することを説明する側面断面図であり、本実施形態におけるレーザー加工装置の一例の全体図も示している。図 5 (a) および (b) は、それぞれ、本発明の一実施形態で、集光器から出射したレーザー光によって単結晶部材に加工層を形成することを説明する模式的な平面図および模式的な側面断面図である。

40

【0020】

50

図6(a)および(b)は、それぞれ、本発明の一実施形態で、内部加工層形成単結晶部材の構成を説明する模式的な側面部分断面図、および、(a)の部分拡大図である。図7(a)および(b)は、それぞれ、本発明の一実施形態で、内部加工層形成単結晶部材の構成を説明する模式的な側面部分断面図、および、(a)の部分拡大図である。なお、図6で示す側面断面と図7で示す側面断面とは互いに直交する平面である。また、図6(a)および図7(a)では、簡明化のため後述のクラックCS、CFを省略して描いている。図8は、本発明の一実施形態で、内部加工層形成単結晶部材を説明する模式的な側面断面図である。

【0021】

(概要説明)

本実施形態で製造する内部加工層形成単結晶部材20は、パルス状のレーザ光Bをシリコンの単結晶部材10の被照射面20tから集光することで、この被照射面20tと離間しかつこの被照射面20tと平行に延在する加工層21と、その加工層21の両面側にそれぞれ隣接する非加工層22とを有する。

【0022】

加工層21には、レーザ光Bの集光によって形成された変質部21c(図5参照)が規則的に配列されている。各変質部21cは、ビームスプリッタの機能を有する回折光学素子(DOE、Diffractive Optics Element)72で分割されてなる複数のレーザ光BDがそれぞれ集光したことによる複数の加工痕21s(図5参照)からなる。ここで、ビームスプリッタの機能を有する回折光学素子72で分割されてなる複数のレーザ光BDでは、各ビームのパワーが均一であるが、少なくとも、各ビームパワーの平均値に対してのばらつきが±0.5%以内であることが好ましい。

【0023】

また、加工層21には、レーザ光Bの集光によって形成された変質部21cが、レーザ光の走査方向Sおよびオフセット方向Fにそれぞれ規則的に配列されている。そして、本実施形態では、レーザ光の走査方向Sに隣り合う変質部同士に跨るクラックCS(図5、6参照)、および、レーザ光のオフセット方向Fに隣り合う変質部同士に跨るクラックCF(図5、6参照)が形成されている。これらクラックCSおよびCFはレーザ光Bにより形成された変質部21cから面状に拡がって形成されており、断面方向においては変質部21cのレーザ照射面側に形成されていて、変質部同士に跨っている。

【0024】

図6~図8に示すように、クラックCS、クラックCFの何れであっても、各クラックは単結晶部材10の被照射面20tから略同一深さ位置に形成されている。ここで、略同一深さとは、加工層21の寸法にもよるが、深さ位置の差が3μm以下(加工層21の寸法が小さい場合には2μm以下)のことをいう。この深さ位置が3μmを超えると、剥離時応力負荷あるいは印加が必要となり、さらに剥離応力がおおきくなることで単結晶部材の品質劣化や、剥離面の平坦性低下をもたらす。また、変質部21cは、複数の加工痕21sが一方向に連なったものであり、この一方向はレーザ光の走査方向Sである。従って、剥離面がより平坦面になりやすい。ここで、平坦面とは、JIS B0601における算術平均粗さRaで示され、このRaが5.0μm以下、より好ましくは3.0μm以下

【0025】

内部加工層形成単結晶部材20を製造して単結晶基板を得るには、レーザ集光手段として例えば集光器(組レンズ)78により、単結晶部材10の被照射面20tに、調整したレーザ光Bを照射して単結晶部材10内部にレーザ光Bを集光しつつ、集光器78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、被照射面20tと平行に延在する加工層21を形成した内部加工層形成単結晶部材20を製造する。

【0026】

その際、本実施形態では、レーザ集光手段に回折光学素子72を設け、回折光学素子72で分割された複数のレーザ光BDを、集光器78を介して単結晶部材10の被照射面2

10

20

30

40

50

0 t から照射し、複数の集光点 D を同時に形成することで変質部 2 1 c を形成していくことで加工層 2 1 を形成する。単結晶部材 1 0 としては、レーザ光 B を照射する被照射面 2 0 t (第 1 面) と、被照射面 2 0 t に平行であって被照射面 2 0 t に照射したレーザ光 B が通過する光出射面 2 0 s (第 2 面) と、を有する部材を用いる。

【 0 0 2 7 】

また、変質部 2 1 c を形成する際、クラック C S およびクラック C F が形成されるように変質部 2 1 c を形成していく。単結晶部材 1 0 としては、レーザ光 B を照射する被照射面 2 0 t (第 1 面) と、被照射面 2 0 t に平行であって被照射面 2 0 t に照射したレーザ光 B が通過する光出射面 2 0 s (第 2 面) と、を有する部材を用いる。

【 0 0 2 8 】

(詳細説明)

以下、本実施形態をより詳細に説明する。本実施形態では、図 4 に示すように、レーザ加工装置は、レーザ発振器 7 1、回折光学素子 7 2、凸レンズ (対物レンズ) 7 4、集光器 7 8 を順次備え、また、X Y ステージ 8 0 を備えている。集光器 7 8 は複数のレンズが組み合わされた組レンズとなっており、集光性能が高くされている。

【 0 0 2 9 】

本実施形態では、レーザ発振器 7 1 からのレーザ光 B は、回折光学素子 7 2 を通過することによって複数のレーザ光 B D に分割される。そして、この複数のレーザ光 B D は凸レンズ 7 4、集光器 7 8 を順次通過し、単結晶部材 1 0 内部でレーザ光が集光されるようになっている。この構成により回折光学素子 7 2 で分割された複数のレーザ光 B D を集光する集光レンズ群 8 2 が、凸レンズ 7 4 および集光器 7 8 によって形成されている。

【 0 0 3 0 】

本実施形態では、回折光学素子 7 2 は、1 本のレーザ光が入射すると、同一平面内を進み、かつ、隣り合うレーザ光同士のなす角度が均等となるような複数のレーザ光に分割して出射するようになっている。本実施形態では、この同一平面は、レーザ光の走査方向 S に直交する平面となっているが、直交しなくてもよい。

【 0 0 3 1 】

レーザ光を照射する単結晶部材 1 0 のサイズは、例えば 3 0 0 m m の厚いシリコンウエハ E からなり、レーザ光 B が照射される被照射面 E t が予め平坦化されていることが好ましい。

【 0 0 3 2 】

レーザ光 B は、単結晶部材 1 0 の周面ではなく、上記の被照射面 2 0 t に集光器 7 8 を介して照射される。このレーザ光 B は、例えばパルス幅が 1 μ s 以下のパルスレーザ光からなり、9 0 0 n m 以上の波長、好ましくは 1 0 0 0 n m 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 3 】

(作用、効果)

以下、本実施形態で内部加工層形成単結晶部材 1 0 を製造することについて説明する。本実施形態では、単結晶部材 1 0 を X Y ステージ上に載置し、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。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、レーザ集光手段 (回折光学素子 7 2、凸レンズ 7 4、および、集光器 7 8) と単結晶部材 1 0 とを、単結晶部材 1 0 の被照射面 2 0 t に平行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 によって加工層 2 1 を形成する。

【 0 0 3 4 】

その際、ビームスプリッタ 7 2 に入射したレーザ光 B は複数のレーザ光 B D (分岐レーザ光) となって凸レンズ 7 4 を通過し、更に、集光器 7 8 を通過する。集光器 7 8 から射出した複数のレーザ光は、被照射面 2 0 t では集光せずに単結晶部材 1 0 の内部で集光して複数の集光点を形成する。この結果、図 5 に示すように、変質部 2 1 c がレーザ走査方向に一列に規則的に形成されていく。

10

20

30

40

50

【0035】

本実施形態では、この変質部21cは、複数の加工痕21sが一方向に連なった擬似ライン状のものであり、この一方向は、レーザ光の走査方向S（加工進行方向）に直交する方向となる。複数のレーザ光BDは、例えば、20本のレーザ光であり、この場合、複数の加工痕21sの個数は20個となる。

【0036】

また、オフセット方向Fに隣り合う変質部21c同士の距離Lは、加工痕21sのオフセット方向Fの幅e（図5（b）参照）よりも長い。ここで、上記の距離Lは、オフセット方向Fに隣り合う一方の変質部21cの加工痕21sと他方の変質部21cの加工痕21sとの距離のうち、最も近い加工痕同士の中心間距離のことである。

10

【0037】

また、本実施形態では、加工痕21sのピッチk（隣り合うレーザ光BDの照射中心同士の間隔）は、加工痕21sが連なるように3 μ m以下（例えば1 μ mあるいは2 μ m）にされている。ピッチkは、分割された複数の各レーザ光のパワーなどに応じて決定することが好ましい。

【0038】

変質部21cを一行に形成した後、単結晶部材10とレーザ集光手段とを、レーザ走査方向に直交するオフセット方向Fに相対的に移動させ、同様に変質部21cを一行に形成していく。オフセット間隔wは、例えば、14 μ mであり、加工層21の両側の非加工層22が剥離可能である限り自由に変更することが可能である。

20

【0039】

そして本実施形態では、この変質部21cを形成する際、レーザ光の走査方向Sに隣り合う変質部21cの間隔である加工ピッチpを1～10 μ mの範囲とする。

【0040】

また、レーザ光のオフセット方向Fに隣り合う変質部21cの間隔である加工オフセットwを1～10 μ mの範囲（更に好ましくは1.5～3.5 μ mの範囲）とする。

【0041】

この結果、変質部21cを形成していく際、図5、図6に示すように、レーザ光の走査方向Sに隣り合う変質部21c同士を跨るクラックCSが生じ、また、レーザ光のオフセット方向Fに隣り合う変質部21c同士を跨るクラックCFが生じる。変質部21cはレーザ光Bの照射方向（例えば、レーザ光Bが上方から下方へ向けて照射される場合には上下方向）に沿って細長く形成されおり、クラックCS、CFは、変質部21cの照射側に発生する。従って、クラックCS、CFは、被照射面20tから略同一深さ位置に形成される。

30

【0042】

クラックCS、CFを更に均一に安定して生じさせる観点では、加工ピッチpを1.5～3.5 μ mの範囲とすることが更に好ましく、また、加工オフセットwも1.5～3.5 μ mの範囲とすることが更に好ましい。クラックCS、CFの形成にかかる時間を短縮するには、加工ピッチp、加工オフセットwを大きくする。

【0043】

加工層21が形成された結果、加工層21を挟んでレーザ光Bの照射方向とその反対側にそれぞれ非加工層22が加工層21に隣接して存在する。形成する加工層21の寸法、密度などは、剥離し易くする観点で設定することが好ましい。

40

【0044】

上記したようにレーザ光Bが均一パワーを有するものであると、加工層深さ位置が略均一となるように深さ位置の差が3 μ m以下（加工層21の寸法が小さい場合には2 μ m以下）で形成され、加工層21と非加工層22との間には、連続する境界23が形成されるため、加工層21と非加工層22とで応力を負荷あるいは印加させないで剥離が可能となる。一方、この状態で加工されない場合、加工層21の形成状態にクラックや加工状態の異なる加工層が作り出されて、連続した境界が形成されにくい。その結果、加工層21の

50

全面での剥離ができなかったり、単結晶部材の結晶方位に沿って劈開したりすることが生じ易い。

【0045】

本発明において、応力を負荷あるいは印加しないで単結晶部材を分断あるいは分離できるということは、内部加工層形成後に自ら分断あるいは剥離できる状態であり、剥離荷重は10N/cm²以下である。

【0046】

剥離後、この剥離面（加工層露出面）は平坦であり、その表面粗さは $R_a = 5.0 \mu\text{m}$ 以下である。さらに、ラッピング加工およびポリシング加工により研磨加工してもよい。研磨加工は例えばラッピング・ポリシング装置を利用して行うことができる。ラッピングでは研磨剤として粒径が1 μm から数10 μm の遊離砥粒を潤滑剤に混ぜたスラリーをラップ定盤と上記の加工層露出面との間に入れ加工する。このときの遊離砥粒としてはコロイダルシリカ、アルミナ、微粒ダイヤモンド、酸化セリウムなどが利用できる。ポリシング加工では粒径1 μm 以下の微細な研磨剤が使用され、研磨パッドを定盤に貼りつけて加工層露出面を研磨加工する。

10

【0047】

以上説明したように、本実施形態では、加工層21を形成する際、1本のレーザ光Bを回折光学素子72で分割して複数のレーザ光BDにし、単結晶部材10内部でこの複数のレーザ光BDを集光させることで、複数の加工痕21sが重なってなる変質部21cを順次形成している。従って、1本のレーザ光Bを単結晶部材10に入射させて1つの集光点を形成する従来例に比べ、加工層21の形成速度を格段に速くすることができる。例えば、本実施形態で加工痕21cのピッチkを0.5 μm にすると、回折光学素子72でレーザ光Bを20本に分割する場合には、変質部21cの長さdが約10 μm となり、この加工幅で走査方向Sに変質部21cを規則的に順次形成していくことができる。なお、変質部21cの長さdとは、図5に示すように、変質部21cの両端部に位置する加工痕21s同士を中心線間の距離のことである。

20

【0048】

また、距離Lは、加工痕21sのオフセット方向Fの幅eよりも大きくされており、加工オフセットwを効率的に広げることができ、従って、内部加工層形成単結晶部材20の製造時間を効率的に短縮させることができる。

30

【0049】

また、回折光学素子72で1本のレーザ光Bを複数のレーザ光BDに分割しているので、複数の集光点を単結晶部材10内部に形成するにあたってレーザ発振器71を複数台設ける必要がないので、装置構成を簡素にできる。

【0050】

また、回折光学素子72により、簡単な構造で複数のレーザ光（例えば3～100本のレーザ光）に容易に分割することができ、しかも、各レーザ光の強度分布を均一にすることができる。その上、変質部21cを構成する複数の加工痕21sは同時に形成される。従って、加工痕が形成された後に更に加工痕が形成されてレーザ光の散乱などが生じることは回避されており、加工痕21sのサイズが安定する。よって、非加工層22の剥離面（加工層21からの剥離面）の平坦性が向上する。なお、レーザ光の出力、回折光学素子72の構造などに応じてレーザ光の分岐本数を適宜変更することが好ましい。

40

【0051】

また、集光器78は組レンズで構成されており、高い集光性能で単結晶部材10の内部で集光する。従って、加工精度が大きく向上する。

【0052】

また、本実施形態では、加工層21を形成していく際、レーザ光の走査方向Sに隣り合う変質部21c同士を跨るクラックCSを生じさせ、また、レーザ光のオフセット方向Fに隣り合う変質部21c同士を跨るクラックCFを生じさせている。従って、加工層21と非加工層22とを剥離させる際、クラックCS、CFから剥離させることができるので

50

、従来に比べて大幅に剥離させやすくなっている。よって、レーザ光の走査方向 S に隣り合う変質部 2 1 c の加工ピッチ p、および、レーザ光のオフセット方向 F に隣り合う変質部 2 1 c の加工オフセット w を従来に比べて大幅に広くすることができるので、変質部 2 1 c の加工密度、すなわち変質部 2 1 c の形成数を大幅に低減させることができる。従って、変質部 2 1 c の加工時間が更に大幅に短縮され、内部加工層形成単結晶部材 2 0 の製造効率が大きく向上する。また、剥離に必要な力も低減させることができる。

【 0 0 5 3 】

また、被照射面 2 0 t からのクラック C S、C F の深さ位置が、各クラックで略同一となっている。従って、非加工層 2 2 の剥離面が従来に比べて大幅に平坦となっている。

【 0 0 5 4 】

なお、本実施形態では、クラック C S およびクラック C F の両者を形成する例で説明したが、加工ピッチ p および加工オフセット w の一方を広くしてクラック C S およびクラック C F の一方のみを形成した場合であっても、そのクラックから剥離させることができ、これにより、変質部 2 1 c の加工時間を更に短縮させることができる。

【 0 0 5 5 】

また、本実施形態では、単結晶部材 1 0 としてシリコンウエハ E を例に挙げて説明したが、単結晶部材 1 0 がインゴット状であって、加工層 2 1 を形成してレーザ光照射側の非加工層 2 2 を剥がすことを順次繰り返してもよく、単結晶部材 1 0 の寸法は特に限定しない。

【 0 0 5 6 】

また、本実施形態では、ビームスプリッタの機能を有する回折光学素子 7 2 で 1 本のレーザ光 B を複数の B D に分割する例で説明したが、他の機能を有する回折光学素子を用いてもよく、更には回折光学素子以外の手段でレーザ光 B を分割することも可能である。

【 0 0 5 7 】

< 実験例 >

本発明者は、以下の条件で実験を行い、得られた内部加工層形成単結晶部材の評価を行った。

【 0 0 5 8 】

加工試料 : 単結晶 P 型シリコンウエハ

1) 厚さ : 6 2 5 μ m

2) 大きさ : 1 5 0 mm

3) 結晶方位 : (1 0 0)

レーザ発振器 : Y A G パルスレーザ発振器

1) 波長 : 1 0 6 4 nm

2) モード : シングルモード

3) パルス幅 : 1 2 0 nm

ビームスプリッタ

1) 分岐ビーム数 : 5

加工条件 1) 加工ピッチ p : 2 . 0 μ m

k : 2 . 0 μ m

2) 加工オフセット w : 7 . 0 μ m

3) 分岐ビームパワー : 表 1 に示すパワー

【 表 1 】

| 分岐 No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| パワー | 1.23W | 1.22W | 1.23W | 1.22W | 1.22W |

【 0 0 5 9 】

加工手順および評価 :

1) 分岐ビームの焦点を試料ウエハ表面となるように集光器の高さ位置を調整する。

2) 次に、その位置から集光器高さを試料ウエハ方向に $80 \mu\text{m}$ 加工させ、分岐ビーム焦点を試料ウエハ内部に移動する。

3) 上記加工条件で、 150mm ウエハ内部の $100 \text{mm} \times 100 \text{mm}$ の部分にレーザを照射した。

4) この試料を2個作成した。

5) 1個の試料を使用して、レーザ照射部分の1辺をダイシングにより切り出し、加工層を露出させ、50箇所の加工層の位置の差を共焦点レーザ顕微鏡(機種名: OLS-4000 オリンパス(株)製)により測定したところ、 $3 \mu\text{m}$ 以下であった。なお、加工層位置の測定結果を表2に示す。表2では、ウエハのレーザ照射面側の表面を基準にした測定結果を示している。

6) 残りの1試料からレーザ照射領域部分を、ダイシングにより切り出した。その切り出したウエハは、切り出した状態で応力を負荷させることなく加工層で2枚に分断、剥離することができた。

7) 剥離したウエハ(単結晶部材部分)の表面粗さを非接触三次元測定装置(PF-60:三鷹光器(株)製)で測定した結果、表面粗さ $R_a = 2.7 \mu\text{m}$ であった。

8) 剥離したウエハ(単結晶部材部分)の剥離面を走査型電子顕微鏡にて観察したところ、分岐ビームによる加工痕とクラックの伝播と推察される状態が見られた。

【表2】

| | 深さ位置(μm) | 加工層長さ(μm) |
|-----|-----------------------|------------------------|
| 平均値 | 313.5 | 18.9 |
| 最大値 | 314.4 | 19.7 |
| 最小値 | 313.2 | 18.3 |

【0060】

同じ実験条件で単結晶部材10に加工層21を形成し、加工進行方向(レーザ走査方向S)に沿って一列に並んだ各変質部21cを切断した光学顕微鏡写真図を図9に示す。図9に示すように、上記のクラックCSが略同一深さ位置に形成されていることが確認された。なお、レーザ光照射面側の単結晶部材部分の剥離面を図10に示す。

【産業上の利用可能性】

【0061】

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(シリコン基板)であれば、太陽電池に応用可能であり、また、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。

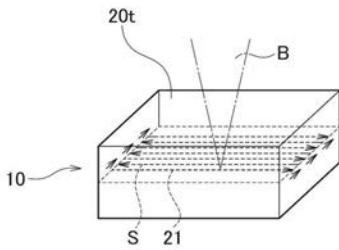
【符号の説明】

【0062】

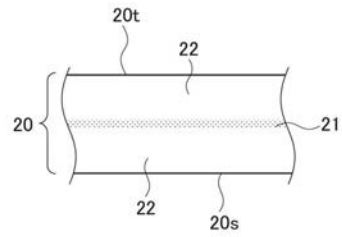
- 10 単結晶部材
- 20 内部加工層形成単結晶部材
- 20t 被照射面
- 21 加工層
- 21c 変質部
- 21s 加工痕
- 22 非加工層(非加工部)
- 72 回折光学素子(回折光学素子、レーザ集光手段)

- 7 3 アパーチャ (レーザ集光手段)
- 7 4 凸レンズ (凸レンズ、レーザ集光手段)
- 7 8 集光器 (集光器、レーザ集光手段)
- 8 2 集光レンズ群
- B レーザ光
- B D レーザ光
- C F クラック
- C S クラック
- F オフセット方向
- L 距離 (中心間距離)
- S 走査方向
- p 加工ピッチ
- w 加工オフセット

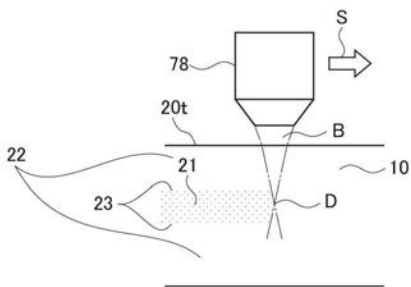
【 図 1 】



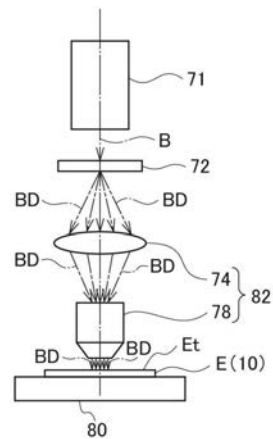
【 図 3 】



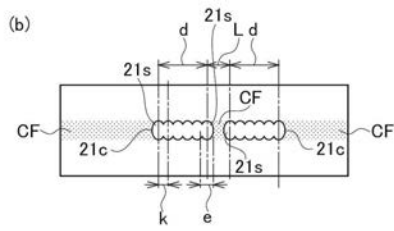
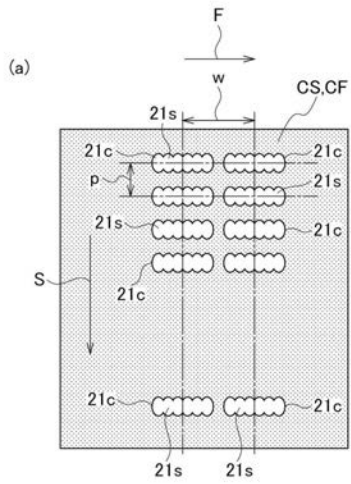
【 図 2 】



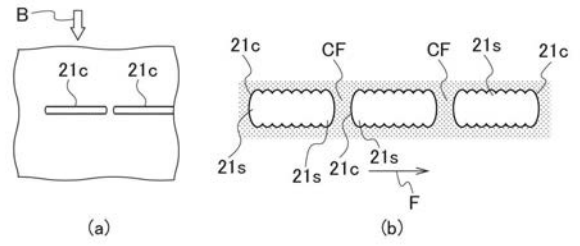
【 図 4 】



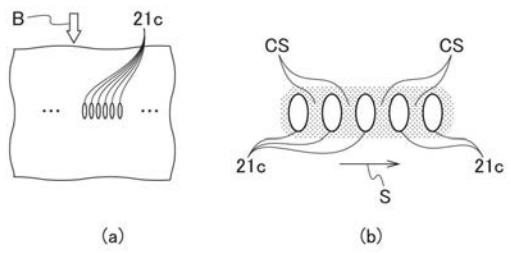
【 図 5 】



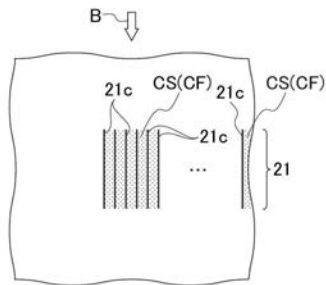
【 図 6 】



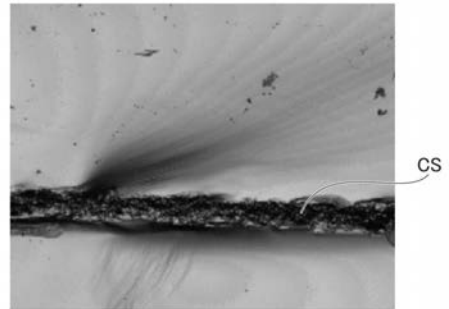
【 図 7 】



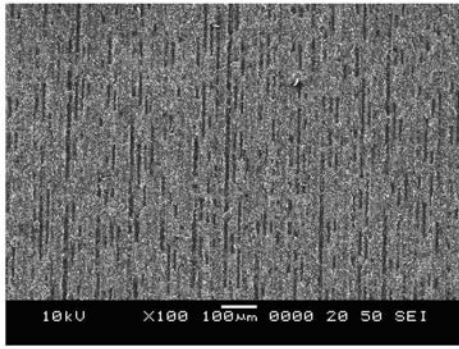
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 1 0 】



フロントページの続き

(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 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

Fターム(参考) 4E168 AE01 CB07 DA02 DA24 DA38 DA43 EA05 EA06 HA01 JA12

5F057 AA03 AA05 AA14 AA34 BA01 BB03 CA02 DA22 DA31