

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6858587号  
(P6858587)

(45) 発行日 令和3年4月14日(2021.4.14)

(24) 登録日 令和3年3月26日(2021.3.26)

(51) Int.Cl.		F I		
<b>H O 1 L 21/304</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 L	21/304	6 1 1 Z
<b>B 2 3 K 26/53</b>	<b>(2014.01)</b>	B 2 3 K	26/53	
<b>B 2 3 K 26/08</b>	<b>(2014.01)</b>	B 2 3 K	26/08	D
<b>B 2 8 D 5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 8 D	5/00	Z

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2017-27114 (P2017-27114)	(73) 特許権者	000134051 株式会社ディスコ 東京都大田区大森北二丁目13番11号
(22) 出願日	平成29年2月16日(2017.2.16)	(74) 代理人	100075177 弁理士 小野 尚純
(65) 公開番号	特開2018-133485 (P2018-133485A)	(74) 代理人	100113217 弁理士 奥貫 佐知子
(43) 公開日	平成30年8月23日(2018.8.23)	(74) 代理人	100202496 弁理士 鹿角 剛二
審査請求日	令和1年12月24日(2019.12.24)	(74) 代理人	100202692 弁理士 金子 吉文
		(72) 発明者	平田 和也 東京都大田区大森北二丁目13番11号 株式会社ディスコ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ウェーハ生成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

c軸とc軸に直交するc面とを有する単結晶SiCインゴットからウェーハを生成するウェーハ生成方法であって、

単結晶SiCに対して透過性を有する波長のレーザー光線の集光点を単結晶SiCインゴットの端面から生成すべきウェーハの厚みに相当する深さに位置づけて単結晶SiCインゴットにレーザー光線を照射してSiCがSiとCとに分離した改質部と改質部からc面に等方的に形成されるクラックとからなる剥離層を形成する剥離層形成工程と、

単結晶SiCインゴットのウェーハが生成される側を、キャピテーションの発生が抑制される温度として0~25に設定された水中に浸漬し単結晶SiCインゴットの固有振動数と近似する周波数以上の周波数を有する超音波を発する振動板に対面させて剥離層を界面として単結晶SiCインゴットの一部を剥離しウェーハを生成するウェーハ生成工程と、

から少なくとも構成されるウェーハ生成方法。

【請求項2】

単結晶SiCインゴットの固有振動数と近似する周波数は単結晶SiCインゴットの固有振動数の0.8倍である請求項1記載のウェーハ生成方法。

【請求項3】

該剥離層形成工程において、

単結晶SiCインゴットの端面の垂線とc軸とが一致している場合、連続的に形成され

た改質部から c 面に等方的に形成されたクラックの幅を超えない範囲で単結晶 SiC インゴットと集光点とを相対的にインデックス送りして改質部を連続的に形成してクラックとクラックとを連結させて剥離層を形成する請求項 1 記載のウエーハ生成方法。

【請求項 4】

該剥離層形成工程において、

単結晶 SiC インゴットの端面の垂線に対して c 軸が傾いている場合、c 面と端面とでオフ角が形成される方向と直交する方向に改質部を連続的に形成して改質部から c 面に等方的にクラックを形成し、該オフ角が形成される方向にクラックの幅を超えない範囲で単結晶 SiC インゴットと集光点とを相対的にインデックス送りして該オフ角が形成される方向と直交する方向に改質部を連続的に形成して改質部から c 面に等方的にクラックを順次形成して剥離層を形成する請求項 1 記載のウエーハ生成方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、単結晶 SiC インゴットからウエーハを生成するウエーハ生成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

IC、LSI、LED等のデバイスは、Si（シリコン）やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（サファイア）等を素材としたウエーハの表面に機能層が積層され分割予定ラインによって区画されて形成される。また、パワーデバイス、LED等は単結晶 SiC（炭化ケイ素）を素材としたウエーハの表面に機能層が積層され分割予定ラインによって区画されて形成される。デバイスが形成されたウエーハは、切削装置、レーザー加工装置によって分割予定ラインに加工が施されて個々のデバイスに分割され、分割された各デバイスは携帯電話、パソコン等の電気機器に利用される。

20

【0003】

デバイスが形成されるウエーハは、一般的に円柱形状のインゴットをワイヤーソーで薄く切断することにより生成される。切断されたウエーハの表面及び裏面は、研磨することにより鏡面に仕上げられる（特許文献 1 参照。）。しかし、インゴットをワイヤーソーで切断し、切断したウエーハの表面及び裏面を研磨すると、インゴットの大部分（70～80%）が捨てられることになり不経済であるという問題がある。特に単結晶 SiC インゴットにおいては、硬度が高くワイヤーソーでの切断が困難であり相当の時間を要するため生産性が悪いと共に、インゴットの単価が高く効率よくウエーハを生成することに課題を有している。

30

【0004】

そこで本出願人は、単結晶 SiC に対して透過性を有する波長のレーザー光線の集光点を単結晶 SiC インゴットの内部に位置づけて単結晶 SiC インゴットにレーザー光線を照射し切断予定面に剥離層を形成し、剥離層からウエーハを剥離する技術を提案した（特許文献 2 参照。）。ところが、剥離層からウエーハを剥離することが困難であり生産効率が悪いという問題がある。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2000 - 94221 号公報

【特許文献 2】特開 2016 - 111143 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記事実に鑑みてなされた本発明の課題は、単結晶 SiC インゴットからウエーハを効率よく剥離することができるウエーハ生成方法を提供することである。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

上記課題を解決するために本発明が提供するものは、以下のウエーハ生成方法である。すなわち、 $c$ 軸と $c$ 面に直交する $c$ 面とを有する単結晶SiCインゴットからウエーハを生成するウエーハ生成方法であって、単結晶SiCに対して透過性を有する波長のレーザー光線の集光点を単結晶SiCインゴットの端面から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに位置づけて単結晶SiCインゴットにレーザー光線を照射してSiCがSiとCとに分離した改質部と改質部から $c$ 面に等方的に形成されるクラックとからなる剥離層を形成する剥離層形成工程と、単結晶SiCインゴットのウエーハが生成される側を、キャピテーションの発生が抑制される温度として $0 \sim 25$  に設定された水中に浸漬し単結晶SiCインゴットの固有振動数と近似する周波数以上の周波数を有する超音波を発する振動板に対面させて剥離層を界面として単結晶SiCインゴットの一部を剥離しウエーハを生成するウエーハ生成工程と、から少なくとも構成されるウエーハ生成方法である。

10

## 【0008】

好ましくは、単結晶SiCインゴットの固有振動数と近似する周波数は単結晶SiCインゴットの固有振動数の $0.8$ 倍である。該剥離層形成工程において、単結晶SiCインゴットの端面の垂線と $c$ 軸とが一致している場合、連続的に形成された改質部から $c$ 面に等方的に形成されたクラックの幅を超えない範囲で単結晶SiCインゴットと集光点とを相対的にインデックス送りして改質部を連続的に形成してクラックとクラックとを連結させて剥離層を形成するのが好都合である。該剥離層形成工程において、単結晶SiCインゴットの端面の垂線に対して $c$ 軸が傾いている場合、 $c$ 面と端面とでオフ角が形成される方向と直交する方向に改質部を連続的に形成して改質部から $c$ 面に等方的にクラックを形成し、該オフ角が形成される方向にクラックの幅を超えない範囲で単結晶SiCインゴットと集光点とを相対的にインデックス送りして該オフ角が形成される方向と直交する方向に改質部を連続的に形成して改質部から $c$ 面に等方的にクラックを順次形成して剥離層を形成するのが好ましい。

20

## 【発明の効果】

## 【0009】

本発明が提供するウエーハ生成方法は、単結晶SiCに対して透過性を有する波長のレーザー光線の集光点を単結晶SiCインゴットの端面から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに位置づけて単結晶SiCインゴットにレーザー光線を照射してSiCがSiとCとに分離した改質部と改質部から $c$ 面に等方的に形成されるクラックとからなる剥離層を形成する剥離層形成工程と、単結晶SiCインゴットのウエーハが生成される側を、キャピテーションの発生が抑制される温度として $0 \sim 25$  に設定された水中に浸漬し単結晶SiCインゴットの固有振動数と近似する周波数以上の周波数を有する超音波を発する振動板に対面させて剥離層を界面として単結晶SiCインゴットの一部を剥離しウエーハを生成するウエーハ生成工程と、から少なくとも構成されているので、単結晶SiCインゴットからウエーハを効率よく剥離することができ、したがって生産性の向上が図られる。

30

## 【図面の簡単な説明】

40

## 【0010】

【図1】端面の垂線と $c$ 軸とが一致している単結晶SiCインゴットの斜視図。

【図2】剥離層形成工程が実施されている状態を示す斜視図(a)及び正面図(b)。

【図3】上方から見た改質部及びクラックを示す模式図。

【図4】上方から見た改質部を示す模式図。

【図5】剥離層形成工程において改質部が周方向に連続的に形成されている状態を示す斜視図。

【図6】ウエーハ生成工程が実施されている状態を示す正面図(a)及び生成されたウエーハの斜視図(b)。

【図7】端面の垂線に対して $c$ 軸が傾いている単結晶SiCインゴットの正面図(a)、

50

平面図 ( b ) 及び斜視図 ( c )。

【図 8】剥離層形成工程が実施されている状態を示す斜視図 ( a ) 及び正面図 ( b )。

【図 9】剥離層が形成された単結晶 SiC インゴットの平面図 ( a )、B - B 線断面図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

本発明のウエーハ生成方法は、単結晶 SiC インゴットの c 軸が端面の垂線に対して傾いているか否かに関わらず使用することができる。まず、端面の垂線と c 軸とが一致している単結晶 SiC インゴットにおける本発明のウエーハ生成方法の実施形態について図 1 ないし図 6 を参照しつつ説明する。

【 0 0 1 2 】

図 1 に示す円柱形状の六方晶単結晶 SiC インゴット 2 (以下「インゴット 2」という。)は、円形状の第一の面 4 (端面)と、第一の面 4 と反対側の円形状の第二の面 6 と、第一の面 4 及び第二の面 6 の間に位置する周面 8 と、第一の面 4 から第二の面 6 に至る c 軸 ( $<0001>$  方向)と、c 軸に直交する c 面 ( $\{0001\}$  面)とを有する。インゴット 2 においては、第一の面 4 の垂線 10 に対して c 軸が傾いておらず、垂線 10 と c 軸とが一致している。

【 0 0 1 3 】

図示の実施形態では、まず、第一の面 4 から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに SiC が Si と C とに分離した改質部と改質部から c 面に等方的に形成されるクラックとからなる剥離層を形成する剥離層形成工程を実施する。剥離層形成工程は、たとえば図 2 にその一部を示すレーザー加工装置 12 を用いて実施することができる。レーザー加工装置 12 は、被加工物を保持するチャックテーブル 14 と、チャックテーブル 14 に保持された被加工物にパルスレーザー光線 LB を照射する集光器 16 とを備える。チャックテーブル 14 は、回転手段によって上下方向に延びる軸線を中心として回転されると共に、X 方向移動手段によって X 方向に進退され、Y 方向移動手段によって Y 方向に進退される (いずれも図示していない。)。集光器 16 は、レーザー加工装置 12 のパルスレーザー光線発振器から発振されたパルスレーザー光線 LB を集光して被加工物に照射するための集光レンズ (いずれも図示していない。)を含む。なお、X 方向は図 2 に矢印 X で示す方向であり、Y 方向は図 2 に矢印 Y で示す方向であって X 方向に直交する方向である。X 方向及び Y 方向が規定する平面は実質上水平である。

【 0 0 1 4 】

剥離層形成工程では、まず、インゴット 2 の第二の面 6 とチャックテーブル 14 の上面との間に接着剤 (たとえばエポキシ樹脂系接着剤)を介在させ、チャックテーブル 14 にインゴット 2 を固定する。あるいは、チャックテーブル 14 の上面に複数の吸引孔が形成されており、チャックテーブル 14 の上面に吸引力を生成してインゴット 2 を保持してもよい。次いで、レーザー加工装置 12 の撮像手段 (図示していない。)によって第一の面 4 の上方からインゴット 2 を撮像する。次いで、撮像手段によって撮像されたインゴット 2 の画像に基づいて、レーザー加工装置 12 の X 方向移動手段及び Y 方向移動手段によってチャックテーブル 14 を移動させることによって、インゴット 2 と集光器 16 との XY 平面における位置を調整する。次いで、レーザー加工装置 12 の集光点位置調整手段 (図示していない。)によって集光器 16 を昇降させ、第一の面 4 から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに集光点 FP を位置づける。次いで、インゴット 2 と集光点 FP とを相対的に移動させながら、単結晶 SiC に対して透過性を有する波長のパルスレーザー光線 LB を集光器 16 からインゴット 2 に照射する改質部形成加工を行う。図示の実施形態では図 2 に示すとおり、改質部形成加工において、集光点 FP を移動させずに集光点 FP に対してチャックテーブル 14 を所定の加工送り速度で X 方向移動手段によって X 方向に加工送りしている。改質部形成加工によって、第一の面 4 から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに、SiC が Si と C とに分離した直線状の改質部 18 を X 方向に沿って連続的に形成することができる。図 3 に示すとおり、改質部 18 から c 面に沿って等方的に延びるクラック 20 を形成することができる。図 3 に改質部 18 を中心としてク

10

20

30

40

50

クラック 20 が形成される領域を二点鎖線で示す。図 4 を参照して説明すると、改質部 18 の直径を  $D$  とし、加工送り方向において隣接する集光点  $F P$  の間隔を  $L$  とすると、 $D > L$  の関係（すなわち、加工送り方向である  $X$  方向において隣接する改質部 18 と改質部 18 とが重複する関係）を有する領域で改質部 18 から  $c$  面に沿って等方的にクラック 20 が形成される。加工送り方向において隣接する集光点  $F P$  の間隔  $L$  は、集光点  $F P$  とチャックテーブル 14 との相対速度  $V$ 、及びパルスレーザー光線  $L B$  の繰り返し周波数  $F$  により規定される（ $L = V / F$ ）。図示の実施形態では、集光点  $F P$  に対するチャックテーブル 14 の  $X$  方向への加工送り速度  $V$  と、パルスレーザー光線  $L B$  の繰り返し周波数  $F$  とを調整することによって  $D > L$  の関係を満たすことができる。

**【 0 0 1 5 】**

剥離層形成工程では改質部形成加工に続いて、クラック 20 の幅を超えない範囲で、インゴット 2 と集光点  $F P$  とを相対的にインデックス送りする。図示の実施形態ではインデックス送りにおいて、クラック 20 の幅を超えない範囲で、集光点  $F P$  を移動させずに集光点  $F P$  に対してチャックテーブル 14 を  $Y$  方向移動手段によって  $Y$  方向に所定インデックス量  $L i$  だけインデックス送りしている。そして、改質部形成加工とインデックス送りとを交互に繰り返すことにより、 $X$  方向に沿って連続的に延びる改質部 18 を  $Y$  方向にインデックス量  $L i$  の間隔をおいて複数形成すると共に、 $Y$  方向において隣接するクラック 20 とクラック 20 とを連結させる。これによって、第一の面 4 から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに、 $S i C$  が  $S i$  と  $C$  とに分離した改質部 18 と改質部 18 から  $c$  面に等方的に形成されるクラック 20 とからなる、インゴット 2 からウエーハを剥離するための剥離層 22 を形成することができる。なお、剥離層形成工程では、改質部形成加工とインデックス送りとを交互に繰り返すことにより、インゴット 2 の同じ部分に改質部形成加工を複数回（たとえば 4 回）行ってもよい。

**【 0 0 1 6 】**

剥離層形成工程の改質部形成加工においては、インゴット 2 と集光点  $F P$  とを相対的に移動すればよく、たとえば図 5 に示すとおり、集光点  $F P$  を移動させずに集光点  $F P$  に対してチャックテーブル 14 を上方からみて反時計回り（時計回りでもよい。）に所定の回転速度でレーザー加工装置 12 の回転手段によって回転させながら、単結晶  $S i C$  に対して透過性を有する波長のパルスレーザー光線  $L B$  を集光器 16 からインゴット 2 に照射してもよい。これによって、第一の面 4 から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに、 $S i C$  が  $S i$  と  $C$  とに分離した環状の改質部 18 をインゴット 2 の周方向に沿って連続的に形成することができると共に、改質部 18 から  $c$  面に沿って等方的に延びるクラック 20 を形成することができる。上述したとおり、改質部 18 の直径を  $D$  とし、加工送り方向において隣接する集光点  $F P$  の間隔を  $L$  とすると、 $D > L$  の関係を有する領域で改質部 18 から  $c$  面に沿って等方的にクラック 20 が形成され、また加工送り方向において隣接する集光点  $F P$  の間隔  $L$  は、集光点  $F P$  とチャックテーブル 14 との相対速度  $V$ 、及びパルスレーザー光線  $L B$  の繰り返し周波数  $F$  により規定される（ $L = V / F$ ）ところ、図 5 に示す場合には、集光点  $F P$  位置における集光点  $F P$  に対するチャックテーブル 14 の周速度  $V$  と、パルスレーザー光線  $L B$  の繰り返し周波数  $F$  とを調整することによって  $D > L$  の関係を満たすことができる。

**【 0 0 1 7 】**

改質部形成加工をインゴット 2 の周方向に沿って環状に行った場合には、クラック 20 の幅を超えない範囲で、たとえば、集光点  $F P$  を移動させずに集光点  $F P$  に対してチャックテーブル 14 を  $X$  方向移動手段又は  $Y$  方向移動手段によってインゴット 2 の径方向に所定インデックス量  $L i$  だけインデックス送りする。そして、改質部形成加工とインデックス送りとを交互に繰り返すことにより、インゴット 2 の周方向に沿って連続的に延びる改質部 18 をインゴット 2 の径方向にインデックス量  $L i$  の間隔をおいて複数形成すると共に、インゴット 2 の径方向において隣接するクラック 20 とクラック 20 とを連結させる。これによって、第一の面 4 から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに、 $S i C$  が  $S i$  と  $C$  とに分離した改質部 18 と改質部 18 から  $c$  面に等方的に形成されるクラック 2

10

20

30

40

50

0とからなる、インゴット2からウエー八を剥離するための剥離層22を形成することができる。なお、図5に示す場合においても、改質部形成加工とインデックス送りとを交互に繰り返すことにより、インゴット2の同じ部分に改質部形成加工を複数回(たとえば4回)行ってもよい。

【0018】

剥離層形成工程を実施した後、剥離層22を界面としてインゴット2の一部を剥離してウエー八を生成するウエー八生成工程を実施する。ウエー八生成工程は、たとえば図6に示す剥離装置24を用いて実施することができる。剥離装置24は、液体26を収容する液槽28と、液槽28内に配置された超音波振動板30と、超音波振動板30に超音波振動を付与する超音波振動付与手段32と、被加工物を保持する保持手段34とを備える。保持手段34は、実質上鉛直に延びるアーム36と、アーム36の下端に付設された吸着片38とを含む。吸着片38は下面において被加工物を吸着するように構成されている。

10

【0019】

図6を参照して説明を続けると、ウエー八生成工程では、まず、剥離層22から遠い方の端面である第二の面6を上に向けて、剥離層22が形成されたインゴット2を保持手段34の吸着片38の下面に吸着させる。次いで、剥離装置24の昇降手段(図示していない。)によって保持手段34を下降させ、ウエー八が生成される側(剥離層22から近い方の端面側)である第一の面4側を液体26中に浸漬して超音波振動板30に対面させる。ウエー八が生成される側の端面と超音波振動板30とを対面させる際は、ウエー八が生成される側の端面と超音波振動板30の上面との間に間隙(たとえば4~5mm程度)を設ける。次いで、インゴット2の固有振動数と近似する周波数以上の周波数を有する超音波振動を超音波振動付与手段32から超音波振動板30に付与する。そうすると、インゴット2の固有振動数と近似する周波数以上の周波数を有する超音波が超音波振動板30から液体26を介してインゴット2に付与される。これによって、剥離層22を界面としてインゴット2の一部を効率よく剥離してウエー八39を生成することができ、したがって生産性の向上が図られる。なお、図示の実施形態では、インゴット2が液槽28の上部に配置されると共に超音波振動板30が液槽28の下部に配置されているが、ウエー八生成工程においては、ウエー八が生成される側の端面と超音波振動板30とが対面していればよく、すなわち、インゴット2が液槽28の下部に配置されると共に超音波振動板30が液槽28の上部に配置されていてもよい。あるいは、上下方向以外の方向(たとえば水平方向)においてウエー八が生成される側の端面と超音波振動板30とが対面していてもよい。また、超音波振動板30からインゴット2に超音波振動を付与する際は、適宜の揺動手段(図示していない。)によって保持手段34を揺動させてもよい。

20

30

【0020】

なお、インゴット2の固有振動数と近似する周波数とは、インゴット2を液体26中に浸漬し液体26を介してインゴット2に超音波を付与することによって剥離層22を界面としてインゴット2の一部を剥離する際に、インゴット2の固有振動数よりも所定量低い周波数から徐々に超音波の周波数を上昇させたときに、剥離層22を界面とするインゴット2の一部剥離が開始する周波数であり、インゴット2の固有振動数よりも小さい周波数である。具体的には、インゴット2の固有振動数と近似する周波数はインゴット2の固有振動数の0.8倍程度である。また、ウエー八生成工程を実施する際の液槽28内の液体26は水であり、水の温度は、超音波振動付与手段32から超音波振動板30に超音波振動が付与された際にキャビテーションの発生が抑制される温度に設定されているのが好ましい。具体的には、水の温度が0~25に設定されているのが好適であり、これによって超音波のエネルギーがキャビテーションに変換されることなく、効果的にインゴット2に超音波のエネルギーを付与することができる。

40

【0021】

次に、端面の垂線に対してc軸が傾いている単結晶SiCインゴットにおける本発明のウエー八生成方法の実施形態について図7ないし図9を参照しつつ説明する。

【0022】

50

図7に示す全体として円柱形状の六方晶単結晶SiCインゴット40(以下「インゴット40」という。)は、円形状の第一の面42(端面)と、第一の面42と反対側の円形状の第二の面44と、第一の面42及び第二の面44の間に位置する周面46と、第一の面42から第二の面44に至るc軸( $\langle 0001 \rangle$ 方向)と、c軸に直交するc面( $\{0001\}$ 面)とを有する。インゴット40においては、第一の面42の垂線48に対してc軸が傾いており、c面と第一の面42とでオフ角(たとえば $\theta = 1, 3, 6$ 度)が形成されている。オフ角 $\theta$ が形成される方向を図7に矢印Aで示す。また、インゴット40の周面46には、結晶方位を示す矩形の第一のオリエンテーションフラット50及び第二のオリエンテーションフラット52が形成されている。第一のオリエンテーションフラット50は、オフ角 $\theta$ が形成される方向Aに平行であり、第二のオリエンテーションフラット52は、オフ角 $\theta$ が形成される方向Aに直交している。図7(b)に示すとおり、垂線48の方向にみて、第二のオリエンテーションフラット52の長さL2は、第一のオリエンテーションフラット50の長さL1よりも短い(L2 < L1)。

### 【0023】

図示の実施形態では、まず、第一の面42から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さにSiCがSiとCとに分離した改質部と改質部からc面に等方的に形成されるクラックとからなる剥離層を形成する剥離層形成工程を実施する。剥離層形成工程は、上述のレーザー加工装置12を用いて実施することができる。剥離層形成工程では、まず、インゴット40の第二の面44とチャックテーブル14の上面との間に接着剤(たとえばエポキシ樹脂系接着剤)を介在させ、チャックテーブル14にインゴット40を固定する。あるいは、チャックテーブル14の上面に複数の吸引孔が形成されており、チャックテーブル14の上面に吸引力を生成してインゴット40を保持してもよい。次いで、レーザー加工装置12の撮像手段によって第一の面42の上方からインゴット40を撮像する。次いで、撮像手段によって撮像されたインゴット40の画像に基づいて、レーザー加工装置12のX方向移動手段、Y方向移動手段及び回転手段によってチャックテーブル14を移動及び回転させることによって、インゴット40の向きを所定の向きに調整すると共に、インゴット40と集光器16とのXY平面における位置を調整する。インゴット40の向きを所定の向きに調整する際は、図8(a)に示すとおり、第一のオリエンテーションフラット50をY方向に整合させると共に、第二のオリエンテーションフラット52をX方向に整合させることによって、オフ角 $\theta$ が形成される方向AをY方向に整合させると共に、オフ角 $\theta$ が形成される方向Aと直交する方向をX方向に整合させる。次いで、レーザー加工装置12の集光点位置調整手段によって集光器16を昇降させ、第一の面42から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに集光点FPを位置づける。次いで、オフ角 $\theta$ が形成される方向Aと直交する方向と整合しているX方向にインゴット40と集光点FPとを相対的に移動させながら、単結晶SiCに対して透過性を有する波長のパルスレーザー光線LBを集光器16からインゴット40に照射する改質部形成加工を行う。図示の実施形態では図8に示すとおり、改質部形成加工において、集光点FPを移動させずに集光点FPに対してチャックテーブル14を所定の加工送り速度でX方向移動手段によってX方向に加工送りしている。改質部形成加工によって、第一の面42から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに、SiCがSiとCとに分離した直線状の改質部54をオフ角 $\theta$ が形成される方向Aと直交する方向(X方向)に沿って連続的に形成することができると共に、図9に示すとおり、改質部54からc面に沿って等方的に延びるクラック56を形成することができる。上述したとおり、改質部54の直径をDとし、加工送り方向において隣接する集光点FPの間隔をLとすると、 $D > L$ の関係を有する領域で改質部54からc面に沿って等方的にクラック56が形成され、また加工送り方向において隣接する集光点FPの間隔Lは、集光点FPとチャックテーブル14との相対速度V、及びパルスレーザー光線LBの繰り返し周波数Fにより規定される( $L = V / F$ )ところ、本実施形態では、集光点FPに対するチャックテーブル14のX方向への加工送り速度Vと、パルスレーザー光線LBの繰り返し周波数Fとを調整することによって $D > L$ の関係を満たすことができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 4 】

剥離層形成工程では改質部形成加工に続いて、クラック56の幅を超えない範囲で、オフ角が形成される方向Aに整合しているY方向にインゴット40と集光点FPとを相対的にインデックス送りする。図示の実施形態ではインデックス送りにおいて、クラック56の幅を超えない範囲で、集光点FPを移動させずに集光点FPに対してチャックテーブル14をY方向移動手段によってY方向に所定インデックス量 $L_i'$ だけインデックス送りしている。そして、改質部形成加工とインデックス送りとを交互に繰り返すことにより、オフ角が形成される方向Aと直交する方向に沿って連続的に延びる改質部54を、オフ角が形成される方向Aにインデックス量 $L_i'$ の間隔をおいて複数形成すると共に、オフ角が形成される方向Aにおいて隣接するクラック56とクラック56とを連結させる。これによって、第一の面42から生成すべきウエーハの厚みに相当する深さに、SiCがSiとCとに分離した改質部54と改質部54からc面に等方的に形成されるクラック56とからなる、インゴット40からウエーハを剥離するための剥離層58を形成することができる。なお、剥離層形成工程では、改質部形成加工とインデックス送りとを交互に繰り返すことにより、インゴット40の同じ部分に改質部形成加工を複数回(たとえば4回)行ってもよい。

10

## 【 0 0 2 5 】

剥離層形成工程を実施した後、剥離層58を界面としてインゴット40の一部を剥離してウエーハを生成するウエーハ生成工程を実施する。ウエーハ生成工程は、上述の剥離装置24を用いて実施することができる。ウエーハ生成工程では、まず、剥離層58から遠い方の端面である第二の面44を上に向けて、剥離層58が形成されたインゴット40を保持手段34の吸着片38の下面に吸着させる。次いで、剥離装置24の昇降手段によって保持手段34を下降させ、ウエーハが生成される側(剥離層58から近い方の端面側)である第一の面42側を液体26中に浸漬して超音波振動板30に対面させる。ウエーハが生成される側の端面と超音波振動板30とを対面させる際は、ウエーハが生成される側の端面と超音波振動板30の上面との間に間隙(たとえば4~5mm程度)を設ける。次いで、インゴット40の固有振動数と近似する周波数以上の周波数を有する超音波振動を超音波振動付与手段32から超音波振動板30に付与する。そうすると、インゴット40の固有振動数と近似する周波数以上の周波数を有する超音波が超音波振動板30から液体26を介してインゴット40に付与される。これによって、剥離層58を界面としてインゴット40の一部を効率よく剥離してウエーハを生成することができ、したがって生産性の向上が図られる。なお、ウエーハ生成工程においては、ウエーハが生成される側の端面と超音波振動板30とが対面していればよく、たとえば上下方向において対面していてもよく、あるいは水平方向において対面していてもよい。また、超音波振動板30からインゴット40に超音波振動を付与する際は、適宜の揺動手段(図示していない。)によって保持手段34を揺動させてもよい。

20

30

## 【 0 0 2 6 】

本実施形態においても、インゴット40の固有振動数と近似する周波数とは、インゴット40を液体26中に浸漬し液体26を介してインゴット40に超音波を付与することによって剥離層58を界面としてインゴット40の一部を剥離する際に、インゴット40の固有振動数よりも所定量低い周波数から徐々に超音波の周波数を上昇させたときに、剥離層58を界面とするインゴット40の一部剥離が開始する周波数であり、インゴット40の固有振動数よりも小さい周波数である。具体的には、インゴット40の固有振動数と近似する周波数はインゴット40の固有振動数の0.8倍程度である。また、ウエーハ生成工程を実施する際の液層28内の液体26は水であり、水の温度は、超音波振動付与手段32から超音波振動板30に超音波振動が付与された際にキャビテーションの発生が抑制される温度に設定されているのが好ましい。具体的には、水の温度が0~25に設定されているのが好適であり、これによって超音波のエネルギーがキャビテーションに変換されることなく、効果的にインゴット40に超音波のエネルギーを付与することができる。

40

## 【 0 0 2 7 】

50



ここで、単結晶SiCインゴットの固有振動数と近似する周波数と、剥離装置の液槽に収容する液体の温度とについて、下記のレーザー加工条件下で本発明者が行った実験の結果に基づいて説明する。

## 【0028】

## [レーザー加工条件]

パルスレーザー光線の波長 : 1064nm  
 繰り返し周波数F : 60kHz  
 平均出力 : 1.5W  
 パルス幅 : 4ns  
 スポット径 : 3μm  
 集光レンズの開口数(NA) : 0.65  
 加工送り速度V : 200mm/s

10

## 【0029】

## [実験1] 適正な剥離層の形成

厚み3mmの単結晶SiCインゴットの端面から100μm内側にパルスレーザー光線の集光点を位置づけて単結晶SiCインゴットにパルスレーザー光線を照射し、SiCがSiとCとに分離した直径17μmの改質部を形成し、加工送り方向において隣接する改質部同士の重なり率R=80%で連続的に改質部を形成し、改質部からc面に等方的に直径150μmのクラックを形成した。その後、集光器を150μmインデックス送りして同様に改質部を連続的に形成すると共にクラックを形成してウエーハの厚みに相当する100μmの深さに剥離層を形成した。なお、改質部同士の重なり率Rは、改質部の直径D=17μmと、加工送り方向において隣接する集光点同士の間隔Lとから、次のおりに算出される。また、加工送り方向において隣接する集光点同士の間隔Lは、上述のおり、加工送り速度V(本実験では200mm/s)と、パルスレーザー光線の繰り返し周波数F(本実験では60kHz)とで規定される(L=V/F)。

20

$$\begin{aligned}
 R &= (D - L) / D \\
 &= \{ D - (V / F) \} / D \\
 &= [ 17 (\mu\text{m}) - \{ 200 (\text{mm} / \text{s}) / 60 (\text{kHz}) \} ] / 17 (\mu\text{m}) \\
 &= [ 17 \times 10^{-6} (\text{m}) - \{ 200 \times 10^{-3} (\text{m} / \text{s}) / 60 \times 10^3 (\text{Hz}) \} ] / 17 \times 10^{-6} (\text{m}) \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

30

## 【0030】

## [実験2] 固有振動数に対する超音波の周波数依存性

厚み3mmの上記単結晶SiCインゴットの固有振動数を求めたところ25kHzであった。そこで実験2では、実験1で剥離層を形成した上記単結晶SiCインゴットを25の水に浸漬して付与する超音波の出力を100Wとし、超音波の周波数を10kHz、15kHz、20kHz、23kHz、25kHz、27kHz、30kHz、40kHz、50kHz、100kHz、120kHz、150kHzと上昇させ、実験1で形成した剥離層を界面として上記単結晶SiCインゴットからウエーハが剥離する時間を計測して周波数依存性を検証した。

40

## [実験2の結果]

周波数	剥離時間
10kHz	10分経過しても剥離しなかった：NG
15kHz	10分経過しても剥離しなかった：NG
20kHz	90秒で剥離した
23kHz	30秒で剥離した
25kHz	25秒で剥離した
27kHz	30秒で剥離した
30kHz	70秒で剥離した
40kHz	170秒で剥離した

50

50 kHz	200秒で剥離した
100 kHz	220秒で剥離した
120 kHz	240秒で剥離した
150 kHz	300秒で剥離した

【0031】

[実験3] 超音波の出力依存性

実験2では超音波の出力を100Wに固定し、超音波の周波数を変化させて、実験1で剥離層を形成した上記単結晶SiCインゴットからのウエーハの剥離時間を計測したが、実験3では、超音波の周波数毎に超音波の出力を200W、300W、400W、500Wと上昇させ、実験1で形成した剥離層を界面として上記単結晶SiCインゴットからウエーハが剥離する時間を計測して出力依存性を検証した。なお、下記「NG」は、実験2の結果と同様に、単結晶SiCインゴットに超音波の付与を開始してから10分経過しても単結晶SiCインゴットからウエーハが剥離しなかったことを意味する。

10

[実験3の結果]

周波数	出力毎の剥離時間			
	200W	300W	400W	500W
10 kHz	NG	NG	NG	NG
15 kHz	NG	NG	NG	NG
20 kHz	50秒	33秒	15秒	6秒
23 kHz	16秒	10秒	4秒	3秒
25 kHz	3秒	1秒	1秒以下	1秒以下
27 kHz	15秒	11秒	5秒	2秒
30 kHz	48秒	40秒	18秒	3秒
40 kHz	90秒	47秒	23秒	4秒
50 kHz	100秒	58秒	24秒	6秒
100 kHz	126秒	63秒	26秒	7秒
120 kHz	150秒	70秒	27秒	8秒
150 kHz	170秒	82秒	42秒	20秒

20

【0032】

[実験4] 温度依存性

実験4では、実験1で剥離層を形成した上記単結晶SiCインゴットを浸漬する水の温度を0から上昇させ、実験1で形成した剥離層を界面として上記単結晶SiCインゴットからウエーハが剥離する時間を計測して温度依存性を検証した。なお、実験4では、超音波の周波数を25kHzに設定し、超音波の出力を500Wに設定した。

30

[実験4の結果]

温度	剥離時間
0	0.07秒
5	0.09秒
10	0.12秒
15	0.6秒
20	0.8秒
25	0.9秒
30	3.7秒
35	4.2秒
40	6.1秒
45	7.1秒
50	8.2秒

40

【0033】

実験2の結果から、剥離層を界面として単結晶SiCインゴットからウエーハを剥離するための超音波の周波数は単結晶SiCインゴットの固有振動数(本実験で用いた単結晶

50

S i C イングットにおいては 25 kHz ) に依存し、単結晶 S i C イングットの固有振動数と近似する 20 kHz ( 単結晶 S i C イングットの固有振動数の 0.8 倍の周波数 ) であることを確認することができた。また、単結晶 S i C イングットの固有振動数の近傍の 20 ~ 30 kHz ( 単結晶 S i C イングットの固有振動数の 0.8 ~ 1.5 倍の周波数 ) で、剥離層を界面として単結晶 S i C イングットからウエーハが効果的に ( 比較的短い時間で ) 剥離することを確認することができた。また、実験 3 の結果から、単結晶 S i C イングットの固有振動数の近傍の 20 ~ 30 kHz を超える周波数であっても、超音波の出力を高めることにより、剥離層を界面として単結晶 S i C イングットからウエーハが効果的に剥離することを確認することができた。さらに、実験 4 の結果から、剥離装置の液槽に収容する液体が水である場合に、水の温度が 25 を超えると超音波のエネルギーがキャピテーションに変換されてしまうため、剥離層を界面として単結晶 S i C イングットからウエーハを効果的に剥離することができないことを確認することができた。

10

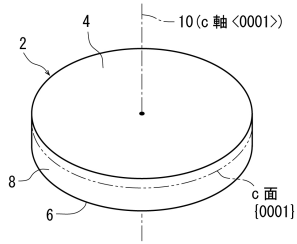
## 【符号の説明】

## 【 0 0 3 4 】

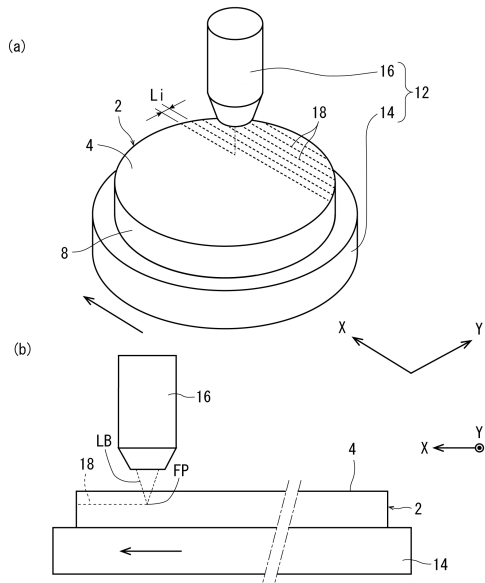
- 2 : 端面の垂線と c 軸とが一致している単結晶 S i C イングット
- 4 : 第一の面 ( 端面 )
- 10 : 垂線
- 18 : 改質部
- 20 : クラック
- 22 : 剥離層
- 26 : 液体
- 30 : 超音波振動板
- 39 : ウエーハ
- 40 : 端面の垂線に対して c 軸が傾いている単結晶 S i C イングット
- 42 : 第一の面 ( 端面 )
- 48 : 垂線
- 54 : 改質部
- 56 : クラック
- 58 : 剥離層

20

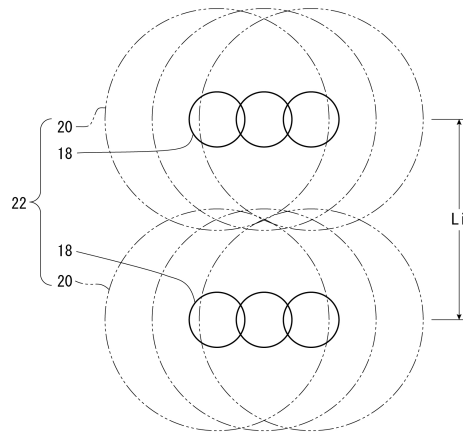
【 図 1 】



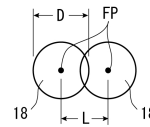
【 図 2 】



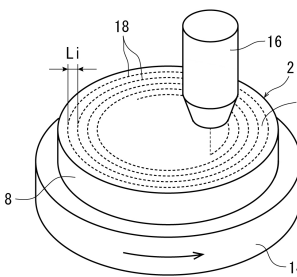
【 図 3 】



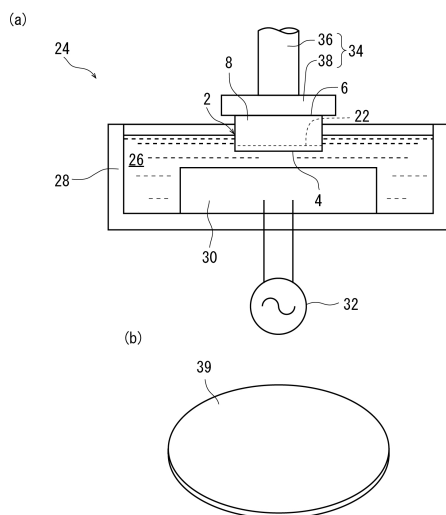
【 図 4 】



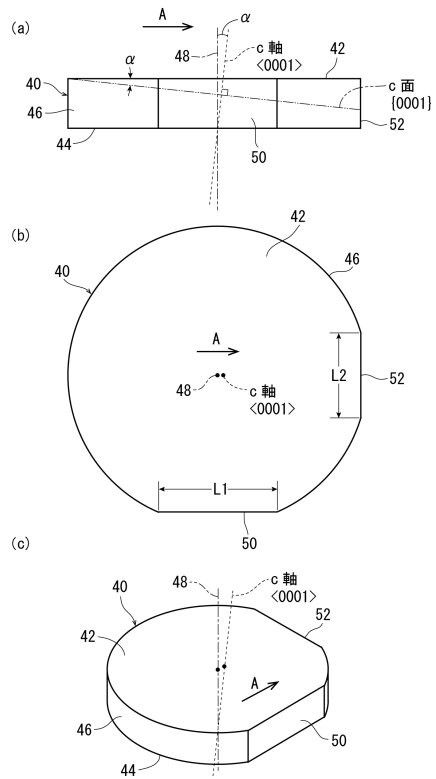
【 図 5 】



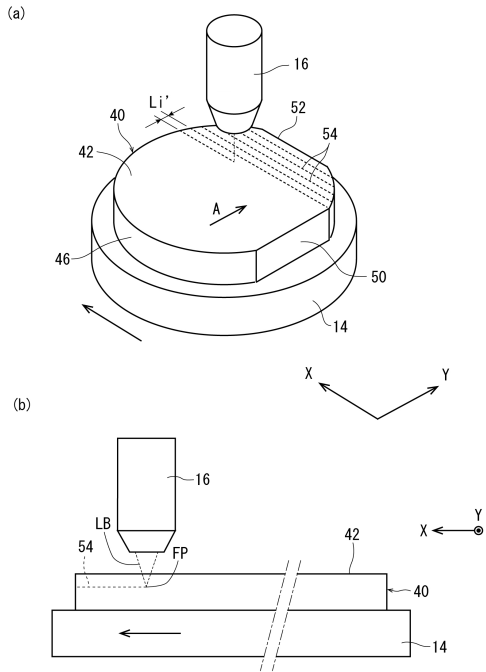
【 図 6 】



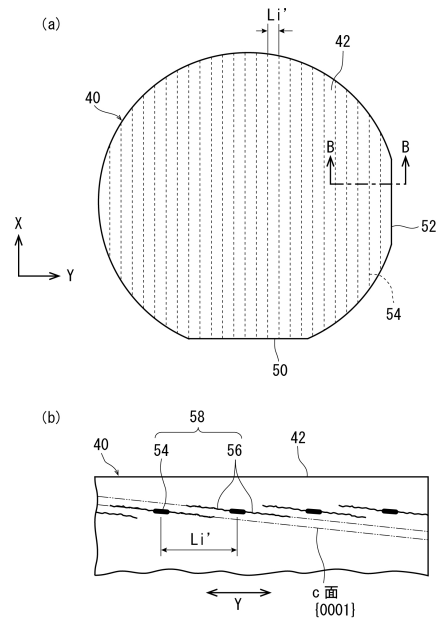
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山本 涼兵  
東京都大田区大森北二丁目13番11号 株式会社ディスコ内

審査官 三浦 みちる

(56)参考文献 特開2016-124015(JP,A)  
特開平10-190032(JP,A)  
特開2011-103361(JP,A)  
特表2013-503366(JP,A)  
国際公開第2008/129982(WO,A1)  
特開2016-100368(JP,A)  
特開2007-150164(JP,A)  
特開2013-049161(JP,A)  
実開昭53-080113(JP,U)  
特表2013-504178(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L	21/304
B23K	26/08
B23K	26/53
B28D	5/00