

(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2018-93106

(P2018-93106A)

(43) 公開日 平成30年6月14日(2018.6.14)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
H01L	21/304	(2006.01)	H01L	21/304	611	4E168	
B23K	26/53	(2014.01)	B23K	26/53		5F057	
H01L	21/301	(2006.01)	H01L	21/78	B	5F063	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2016-236701 (P2016-236701)
 (22) 出願日 平成28年12月6日 (2016.12.6)

(71) 出願人 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
 (74) 代理人 100075177
 弁理士 小野 尚純
 (74) 代理人 100113217
 弁理士 奥貫 佐知子
 (74) 代理人 100202496
 弁理士 鹿角 剛二
 (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

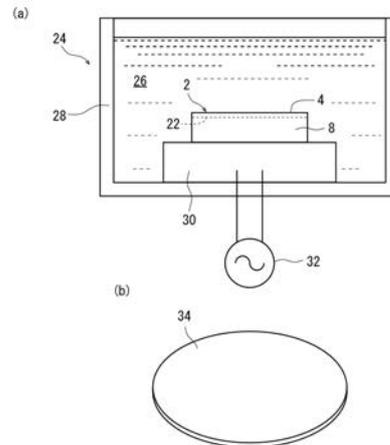
(54) 【発明の名称】 ウェーハ生成方法

(57) 【要約】

【課題】単結晶SiCインゴットからウェーハを効率よく剥離することができるウェーハ生成方法を提供する。

【解決手段】本発明のウェーハ生成方法は、単結晶SiCに対して透過性を有する波長のレーザー光線LBの集光点FPをインゴット2の第一の面4(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インゴット2にレーザー光線LBを照射してSiCがSi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とからなる剥離層22を形成する剥離層形成工程と、インゴット2を液体26中に浸漬しインゴット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を液体26を介してインゴット2に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の一部を剥離しウェーハ34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。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

c 軸と該 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 インゴットを液体中に浸漬し単結晶 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液体を介して単結晶 SiC インゴットに付与することによって、該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。

【請求項 2】

上記単結晶 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 記載のウエーハ生成方法。

【請求項 3】

該液体は水であり、キャピテーションの発生が抑制される温度に設定される請求項 1 記載のウエーハ生成方法。

【請求項 4】

水の温度は 0 ~ 25 である請求項 3 記載のウエーハ生成方法。

【請求項 5】

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該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 6】

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該剥離層を形成する請求項 1 記載のウエーハ生成方法。

【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 や LSI、LED 等のデバイスは、Si (シリコン) や Al₂O₃ (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、パワーデバイスや 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、切削装置や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る。分割された各デバイスは携帯電話やパソコン等の電気機器に利用されている。

【0003】

10

20

30

40

50

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。

【0004】

そこで本出願人は、インゴット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インゴットの内部に位置づけてインゴットにレーザー光線を照射することによって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。

【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。

【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軸と該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インゴットを液体中に浸漬し単結晶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液体を介して単結晶SiCインゴットに付与することによって、該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。

【0008】

好ましくは、上記単結晶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。該液体は水であり、キャピテーションの発生が抑制される温度に設定されるのが好都合である。水の温度は0～25であるのが好適である。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該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

10

20

30

40

50

改質部からc面に等方的にクラックを順次形成して該剥離層を形成するのが好ましい。

【発明の効果】

【0009】

本発明が提供するウエーハ生成方法は、c軸と該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インゴットを液体中に浸漬し単結晶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液体を介して単結晶SiCインゴットに付与することによって、該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。

10

【図面の簡単な説明】

【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。

20

【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インゴットの平面図(a)及び正面図(b)。

【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)及びB-B線断面図。

【発明を実施するための形態】

30

【0011】

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。

【0012】

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の間に位置する円筒形状の周面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。

40

【0013】

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のc面に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、チャックテーブル14及び集光器16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

50

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。

【0014】

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 X Y 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の位置に集光点 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 方向に加工送りしながらパルスレーザー光線 LB を集光器 16 からインゴット 2 に照射している。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の同一 c 面に、X 方向に沿って連続的に延びる直線状の改質部 18 を形成することができると共に、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 FP 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 から同一 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 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($L = V / F$)。図示の実施形態では、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。

【0015】

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、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する。そして、改質部形成加工とインデックス送りと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 の間隔に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の同一 c 面に、改質部 18 及びクラック 20 から構成される、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。

【0016】

また、剥離層形成工程の改質部形成加工は、集光点 FP とチャックテーブル 14 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 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 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

10

20

30

40

50

照射することにより行うこともできる。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のc面に、インゴット2の周方向に沿って連続的に延びる環状の改質部18を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、図5に示す場合には、集光点FP位置における集光点FP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

【0017】

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、集光点FP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Li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Li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の同一c面に、改質部18及びクラック20から構成される、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。

20

【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、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子30と、超音波振動子30に超音波振動を付与する超音波振動付与手段32とを含む。

【0019】

ウエーハ生成工程では、まず、剥離層22が形成されたインゴット2を液槽28内に入れ液体26中に浸漬すると共に超音波振動子30の上面に載せる。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から超音波振動子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子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ハ34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。

30

【0020】

なお、上記のインゴット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、上記のインゴット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、ウエーハ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から超音波振動子30に超音波振動が付与された際にキャピ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ピ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】

50

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ハ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】

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の間に位置する円筒形状の周面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 $\theta = 4$ 度）が形成されている（オフ角 θ 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 θ 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 θ が形成される方向Aに直交している。図7(a)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（ $L2 < L1$ ）。

10

【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のc面に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 θ 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 θ 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の位置に集光点FPを位置づける。次いで、オフ角 θ 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、オフ角 θ が形成される方向Aと直交する方向（X方向）に加工送りしながらパルスレーザー光線LBを集光器16からインゴット40に照射している。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の同一c面に、オフ角 θ が形成される方向Aと直交する方向（X方向）に沿って連続的に延びる直線状の改質部54を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から同一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、 $D > L$ の関係性を有する領域で改質部54から同一c面に沿って等方的にクラック56が形成される。また上述のとおり、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

20

30

40

50

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。

【0024】

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、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(すなわち、オフ角 θ が形成される方向A)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交互に繰り返すことにより、オフ角 θ 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 θ 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 θ 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、改質部54及びクラック56から構成される、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。

【0025】

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、たとえば上述の剥離装置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が形成されたインゴット40を液槽28内に入れ液体26中に浸漬すると共に超音波振動子30の上面に載せる。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から超音波振動子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子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る、したがって生産性の向上が図られる。

【0026】

本実施形態においても、上記のインゴット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2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、上記のインゴット40の固有振動数と近似する周波数はインゴット2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から超音波振動子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。

【0027】

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

10

20

30

40

50

スポット径 : 3 μm
 集光レンズの開口数 (NA) : 0.65
 加工送り速度 V : 200 mm/s

【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100 μm 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17 μm 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150 μm のクラックを形成した。その後、集光器を150 μm 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100 μm 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=17 μm 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、次のとおり

10

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

20

【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。

30

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

40

【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、500

50

W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。

[実験3の結果]

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

10

【0032】

20

[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。

[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

30

【0033】

実験2の結果から、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SiCインゴットにおいては25kHz）に依存し、単結晶SiCインゴットの固有振動数と近似する20kHz（単結晶SiCインゴ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SiCインゴットの固有振動数の近傍の20～30kHz（単結晶SiCインゴ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SiCインゴ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SiCインゴットの固有振動数の近傍の20～30kHz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SiCインゴ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

40

50

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ビ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 SiC インゴ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。

【符号の説明】

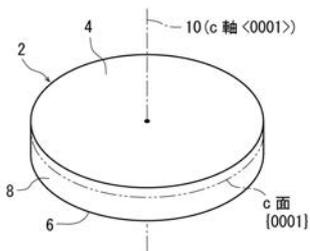
【 0 0 3 4 】

- 2 : 端面の垂線と c 軸とが一致している単結晶 SiC インゴット
- 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
- 34 : 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 SiC インゴット
- 42 : 第一の面 (端面)
- 48 : 垂線
- 54 : 改質部
- 56 : クラック
- 68 : 剥離層
- FP : 集光点
- LB : パルスレーザー光線
- : オフ角
- A : オフ角が形成される方向

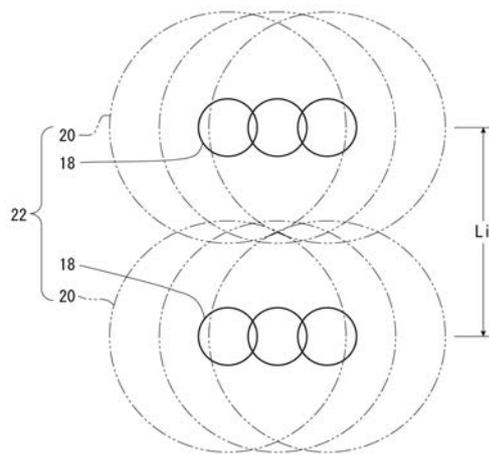
10

20

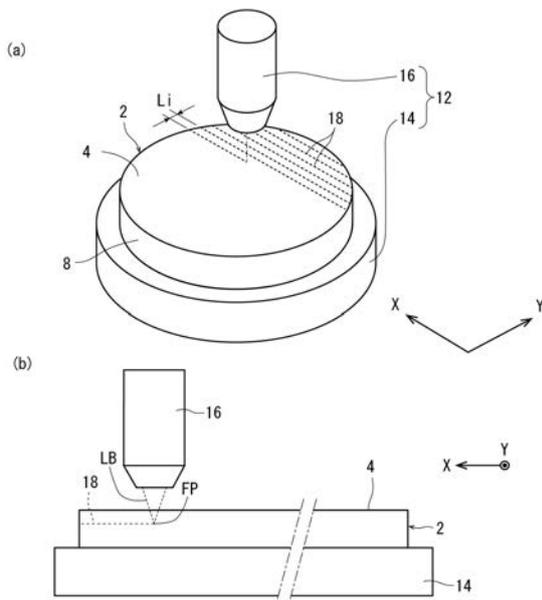
【 図 1 】



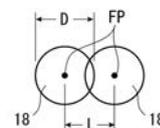
【 図 3 】



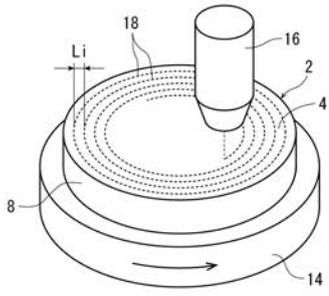
【 図 2 】



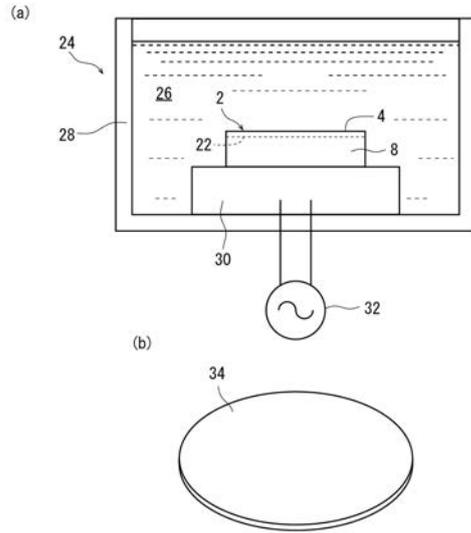
【 図 4 】



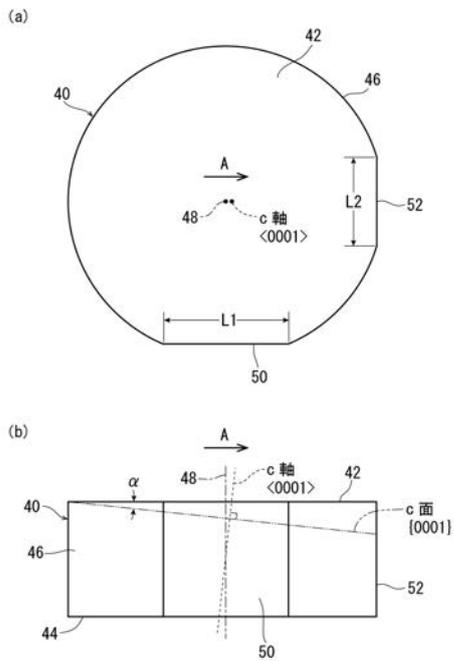
【 図 5 】



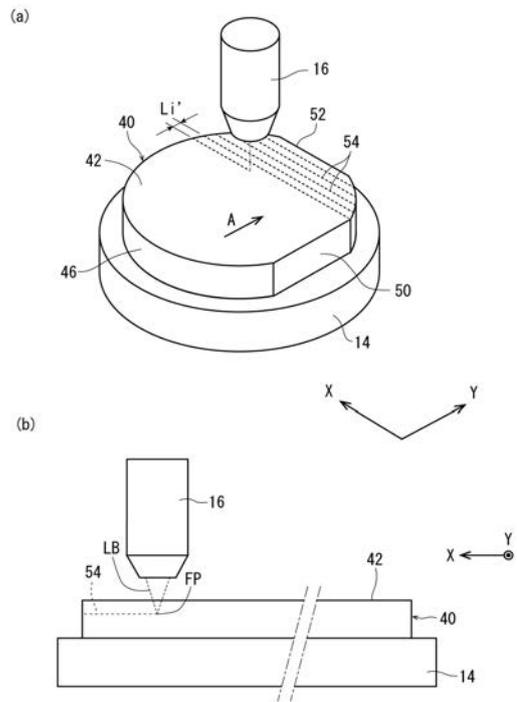
【 図 6 】



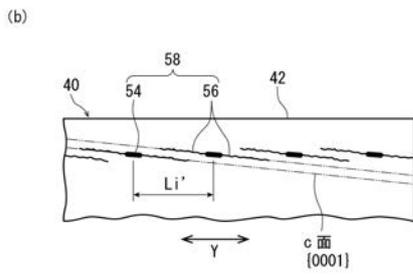
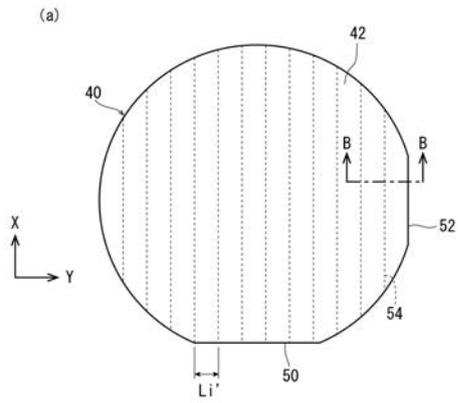
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4E168 AE01 CA06 CB01 CB07 CB15 DA02 DA32 DA45 HA01 JA13
KA05
5F057 AA12 BA01 BB09 CA02 DA19 DA22 DA26 DA31 EB26 EC02
FA15
5F063 AA36 BA45 CB07 CB28 DD27 DD31 DD80 FF01