

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7283886号
(P7283886)

(45)発行日 令和5年5月30日(2023.5.30)

(24)登録日 令和5年5月22日(2023.5.22)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 L 21/304 (2006.01) H 0 1 L 21/304 6 1 1 Z
B 2 3 K 26/53 (2014.01) B 2 3 K 26/53

請求項の数 5 (全17頁)

(21)出願番号	特願2018-210458(P2018-210458)	(73)特許権者	000005821 パナソニックホールディングス株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22)出願日	平成30年11月8日(2018.11.8)	(74)代理人	110002952 弁理士法人鷲田国際特許事務所
(65)公開番号	特開2019-134155(P2019-134155 A)	(72)発明者	北村 嘉朗 大阪府門真市大字門真1006番地 パ ナソニック株式会社内
(43)公開日	令和1年8月8日(2019.8.8)	(72)発明者	藤原 和樹 大阪府門真市大字門真1006番地 パ ナソニック株式会社内
審査請求日	令和3年7月30日(2021.7.30)	(72)発明者	住本 勝児 大阪府門真市大字門真1006番地 パ ナソニック株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2018-16347(P2018-16347)	(72)発明者	大森 健志
(32)優先日	平成30年2月1日(2018.2.1)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP) (出願人による申告)平成28年度、国立研究開発法人科学技術振興機構、研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム 産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 スライス方法およびスライス装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルスレーザー発振器からZ方向に出射されたレーザー光をウエハ内部に集光させて照射することで改質部を生成し、レーザー光をX方向およびY方向に走査して、前記ウエハ内部に複数の改質部が前記X方向および前記Y方向に連なった改質層を形成する改質層形成工程と、熱源により、前記改質層を前記ウエハの融点未満かつ前記改質層の融点以上の温度で加熱することで、前記改質層を熔融し、液状層を形成する改質層熔融工程と、前記液状層を境界として、前記ウエハを分離する分離工程と、を含み、前記改質層は、前記複数の改質部のそれぞれが、前記Z方向において異なる長さおよび位置のばらつきを有することにより凹凸形状を有し、

前記改質層を構成する前記改質部それぞれの、前記Z方向における厚みは、前記ウエハの未改質層において、前記改質部の前記Z方向の長さや位置の違いに対応して形成される凹凸形状の、前記Z方向における最高位置と最低位置との高低差よりも大きい、スライス方法。

【請求項2】

前記分離工程では、前記レーザー光の走査方向と平行な方向に前記ウエハを分離する、請求項1に記載のスライス方法。

【請求項3】

前記レーザー光のパルス幅は、0.2ピコ秒以上かつ100ピコ秒以下である、請求項1または2に記載のスライス方法。

【請求項 4】

前記レーザー光は、前記ウエハの透過率 50%以上の波長を有する、
請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のスライス方法。

【請求項 5】

Z方向にパルスレーザー光を出射し、ウエハ内部に集光させて照射することで改質部を生成し、レーザー光をX方向およびY方向に走査して、前記ウエハ内部に複数の改質部が前記X方向および前記Y方向に連なった改質層を形成するレーザー発振器と、

前記改質層を前記ウエハの融点未満かつ前記改質層の融点以上の温度で加熱することで、前記改質層を溶融し、液状層を形成する熱源と、

前記液状層を境界として、前記ウエハを分離する分離部と、を含み、

前記改質層は、前記複数の改質部のそれぞれが、前記Z方向において異なる長さおよび位置のばらつきを有することにより凹凸形状を有し、

前記改質層を構成する前記改質部それぞれの、前記Z方向における厚みは、前記ウエハの未改質層において、前記改質部の前記Z方向の長さや位置の違いに対応して形成される凹凸形状の、前記Z方向における最高位置と最低位置との高低差よりも大きい、

スライス装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スライス方法およびスライス装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えばシリコン(Si)、窒化ガリウム(GaN)、シリコンカーバイド(SiC)、サファイア、ダイヤモンドといった硬脆性材料から基板(ウエハ)を製造する方法の一つとして、レーザを用いて硬脆性材料の内部に改質層を形成し、その改質層を境界としてウエハ状に分離する方法がある。

【0003】

例えば特許文献1には、シリコンウエハのスライス工程において、集光レンズでレーザー光の集光点を被加工材の内部に合わせ、そのレーザー光で被加工材を相対的に走査することにより面状の加工領域を形成し、被加工材の内部で発生した熱による膨張・収縮を利用して、加工領域を境界として被加工材の一部を基板として分離する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2011-60860号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上述した従来の方法では、被加工材として硬脆性材料を用いると、楔状の圧入材が圧入された部分の近傍にチッピングを生じさせたり、ウエハが反る方向にモーメントが作用するため、ウエハ自体が割れたりするおそれがある。

【0006】

本発明の目的は、被加工材の内部に改質層を形成した後、改質層を境界として被加工材分離する際に生じる不具合を抑制できるスライス方法およびスライス装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様に係るスライス方法は、レーザー発振器からZ方向に出射されたレーザー光をウエハ内部に集光させながらX方向およびY方向に走査して、前記ウエハ内部に複数の改質部が前記X方向および前記Y方向に連なった改質層を形成する改質層形成工程と、熱

10

20

30

40

50

源により、前記改質層を前記ウエハの融点未満かつ前記改質層の融点以上の温度で加熱することで、前記改質層を溶融し、液状層を形成する改質層溶融工程と、前記液状層を境界として、前記ウエハを分離する分離工程と、を含み、前記改質層は、前記複数の改質部のそれぞれが、前記Z方向において異なる長さおよび位置のばらつきを有することにより凹凸形状を有し、前記改質層を構成する前記改質部それぞれの、前記Z方向における厚みは、前記ウエハの未改質層において、前記改質部の前記Z方向の長さや位置の違いに対応して形成される凹凸形状の、前記Z方向における最高位置と最低位置との高低差よりも大きい。

【0008】

本発明の一態様に係るスライス装置は、Z方向にレーザー光を出射し、ウエハ内部に集光させながらX方向およびY方向に走査して、前記ウエハ内部に複数の改質部が前記X方向および前記Y方向に連なった改質層を形成するレーザー発振器と、前記改質層を前記ウエハの融点未満かつ前記改質層の融点以上の温度で加熱することで、前記改質層を溶融し、液状層を形成する熱源と、前記液状層を境界として、前記ウエハを分離する分離部と、を含み、前記改質層は、前記複数の改質部のそれぞれが、前記Z方向において異なる長さおよび位置のばらつきを有することにより凹凸形状を有し、前記改質層を構成する前記改質部それぞれの、前記Z方向における厚みは、前記ウエハの未改質層において、前記改質部の前記Z方向の長さや位置の違いに対応して形成される凹凸形状の、前記Z方向における最高位置と最低位置との高低差よりも大きい。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、被加工材の内部に改質層を形成した後、改質層を境界として被加工材を分離する際に生じる不具合を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施の形態に係るレーザー加工装置の一例を示す模式図

【図2A】本発明の実施の形態に係る改質層形成動作時の被加工材の移動方向の一例を示す模式図

【図2B】本発明の実施の形態に係る改質層形成動作時の被加工材の移動方向の一例を示す模式図

【図2C】本発明の実施の形態に係るレーザー照射パルス間隔の一例を示す図

【図3A】本発明の実施の形態に係る改質層形成動作時の被加工材の断面を示す模式図

【図3B】本発明の実施の形態に係る改質層形成動作時の被加工材の断面を示す模式図

【図3C】本発明の実施の形態に係る改質層形成動作時の被加工材の断面を示す模式図

【図4A】本発明の実施の形態に係る改質層の形成後の被加工材の断面を示す模式図

【図4B】本発明の実施の形態に係る改質層の形成後の被加工材の断面を示す模式図

【図5】本発明の実施の形態に係る分離装置の模式図

【図6A】本発明の実施の形態に係る被加工材分離動作時の被加工材の断面を示す模式図

【図6B】本発明の実施の形態に係る被加工材分離動作時の被加工材の断面を示す模式図

【図7】本発明の実施の形態に係る改質層の厚みの例を示す模式図

【図8】本発明の実施の形態に係る複数の改質層が形成された被加工材の断面を示す模式図

【図9】本発明の実施の形態に係る改質層を形成した被加工材を示す斜視図

【図10A】本発明の実施の形態に係る被加工材の上部および下部が水平方向に回転した状態を真上から見た模式図

【図10B】本発明の実施の形態に係る被加工材のXZ平面における端面が回転する前の状態を示す模式図

【図10C】図10Bに示した端面が回転した後の状態を示す模式図

【図11A】本発明の実施の形態に係る被加工材の上部および下部がZ方向に傾いた状態を示す模式図

【図11B】本発明の実施の形態に係る被加工材のYZ平面における端面が傾く前の状態

を示す模式図

【図 1 1 C】図 1 1 B に示した端面が傾いた後の状態を示す模式図

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 1】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、各図において、共通する構成要素については同一符号を付し、それらの構成要素については適宜説明を省略する。

【0 0 1 2】

本発明の実施の形態に係るレーザ加工装置（改質層形成装置）1 0 0 の構成について説明する。図 1 は、本実施の形態に係るスライス装置 1 0 0 の模式図である。

10

【0 0 1 3】

レーザ加工装置 1 0 0 は、固定テーブル 2、駆動ステージ 3、レーザ発振器 4、ミラー 6、およびレンズ 7 を有する。

【0 0 1 4】

被加工材 1 は、例えば窒化ガリウム（硬脆性材料の一例。以下、G a Nともいう）で構成され、内部に、後述の改質層 8 が形成される加工対象の部材である。被加工材 1 としては、例えば、直径が 2 インチ、厚みが 4 0 0 μm であるものが好ましいが、直径および厚みは上記値に限定されるものではなく、4 0 0 μm より厚いインゴット材を用いてもよいし、2 インチより大きい直径のインゴット材を用いてもよい。

【0 0 1 5】

固定テーブル 2 は、例えば真空吸着により被加工材 1 を固定する。なお、固定テーブル 2 としては、後述する駆動ステージ 3 の駆動による被加工材 1 の位置ズレが生じないものを用いる。

20

【0 0 1 6】

駆動ステージ 3 は、X 軸、Y 軸、Z 軸の各方向への駆動、および 方向に回転可能である。また、駆動ステージ 3 は、被加工材 1 に対するレーザ光 5 の相対位置を制御することができる。

【0 0 1 7】

レーザ発振器 4 は、被加工材 1 に対して、例えば直径約 4 mm の直線偏光であるレーザ光 5 を出射する。例えば、レーザ光 5 は、5 0 % 以上の透過率を有する波長（例えば、波長 5 3 2 nm）であり、パルス幅が 0 . 2 ピコ秒以上かつ 1 0 0 ピコ秒以下（例えば、1 5 ピコ秒）であり、最大出力 5 0 W のピコ秒レーザである。また、レーザ光 5 の最大繰返し周波数は 1 M H z である。

30

【0 0 1 8】

また、レーザ発振器 4 は、駆動ステージ 3 との制御信号（図 1 に示す破線の両矢印）のやりとりにより、レーザ光 5 の O N / O F F を制御することができる。

【0 0 1 9】

なお、透過率の測定には、例えば、積分球付き分光光度計（日本分光株式会社製、V 7 1 0 0。図示略）を用いる。透過率とは、レーザ発振器 4 から出射された全光量に対する、被加工材 1 を透過した光の光量（光度計で受光された光量）の比である。

40

【0 0 2 0】

ミラー 6 は、レーザ発振器 4 から出射されたレーザ光 5 を 9 0 % 以上反射させ、レンズ 7 へ送ることができる。ミラー 6 としては、例えば、波長 5 3 2 nm のレーザ光 5 を高い反射率で反射する誘電多層膜ミラーを用いることができる。

【0 0 2 1】

レンズ 7 は、レーザ光 5 を集光する際（レーザ光 5 が被加工材 1 を透過するとき）に生じる収差を加工深さに応じて最適な収差量に補正することが可能なレンズである。

【0 0 2 2】

レンズ 7 を透過したレーザ光 5 a の集光点 A（レーザ光 5 a の先端部分）は、被加工材 1 の内部において、被加工材 1 の表面（図中の上面）から距離 B 離れた位置に調整されて

50

いる。

【 0 0 2 3 】

レンズ 7 としては、例えば、波長 5 3 2 n m のレーザ光 5 を透過させる顕微鏡用の収差補正環付きであって、開口数 (Numerical Aperture : N A) が 0 . 7 であり、焦点距離が 4 m m のレンズを用いることができる。

【 0 0 2 4 】

また、レンズ 7 のうち少なくともレーザ光 5 を入射させる面は、レーザ光 5 が被加工材 1 に対して少なくとも 5 0 % 以上の透過率を有するように、鏡面加工が施されている。

【 0 0 2 5 】

改質層 8 は、集光点 A の近傍において窒化ガリウムの改質成分で形成され、主に G a N が分解されて生成されたガリウム (G a)、ガリウムの二量体および G a x N y クラスタにより形成される。改質層 8 を形成するにあたっては改質層 8 の厚みが 2 0 μ m 以下となるように調整されるが、駆動ステージ 3 の精度および固定テーブル 2 (被加工材 1) の面精度等により、改質層 8 は、凹凸を有した形状となる。

10

【 0 0 2 6 】

次に、図 1 に示したレーザ加工装置 1 0 0 の動作について、図 2 A、図 2 B、図 3 A、図 3 B、および図 3 C を用いて説明する。図 2 A、図 2 B、図 3 A、図 3 B、および図 3 C は、レーザ加工装置 1 0 0 による改質層形成動作を説明する模式図である。

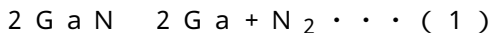
【 0 0 2 7 】

レーザ光 5 a は、上述したように、被加工材 1 に対する 5 0 % 以上の透過率を有するため、集光点 A の近傍に減衰の小さい状態で集光される。ここでは例として、集光点 A と被加工材 1 の表面との間の距離 B を、被加工材 1 の厚み 4 0 0 μ m の 1 / 2、すなわち 2 0 0 μ m に設定する。

20

【 0 0 2 8 】

レンズ 7 の収差補正環は、被加工材 1 の厚みに応じて調整されるため、レーザ光 5 a は、集光点 A において最も絞られた状態となる。上述したとおりレーザ光 5 はピコ秒レーザであるため、多光子吸収加工により、集光点 A において主に下記式 (1) の反応が生じ、改質層 8 が形成される。



【 0 0 2 9 】

材料分析結果によれば、改質層 8 においては、主に G a が生成され、G a 以外にも G a 二量体、G a x N y クラスタが形成されることが分かっている。G a は融点 T m = 2 9 . 8 の液体金属と呼ばれるものである。

30

【 0 0 3 0 】

固定テーブル 2 に固定された被加工材 1 は、駆動ステージ 3 の駆動によりレーザ光 5 a に対して相対的に移動する。これにより、面状の改質層 8 が形成される。

【 0 0 3 1 】

図 2 A および図 2 B は、それぞれ、改質層形成動作における被加工材 1 の移動方向 (レーザ光 5 a の走査方向と言ってもよい) の一例を示している。矢印 E 1、E 2 はレーザパルスを照射しながら走査する方向を示しており、実際には図 2 C に示すようになる。

40

【 0 0 3 2 】

図 2 A の各矢印 E 1 に示すように、被加工材 1 を、X 軸方向においてライン間隔 D 1 の分だけずらしながら、Y 軸方向において所定の向きへの移動と逆向きへの移動とを交互に繰り返すことにより、改質層 8 を形成してもよい。

【 0 0 3 3 】

または、図 2 B の各矢印 E 2 に示すように、被加工材 1 を、X 軸方向においてライン間隔 D 1 の分だけずらしながら、Y 軸方向において同じ向きに移動させることを繰り返すことにより、改質層 8 を形成してもよい。

【 0 0 3 4 】

また、Y 軸方向におけるレーザ照射パルス間隔 D 2 は、図 2 C に示した走査方向に隣あ

50

うレーザーパルスの間隔を示し、レーザー発振器 4 の繰り返し周波数 F および駆動ステージ 3 の走査速度 V により決まる。例えば、レーザー照射パルス間隔 D 2 は、以下の式 (2) で算出される値となる。

$$D 2 = V / F \cdot \cdot \cdot (2)$$

【 0 0 3 5 】

例えば、繰り返し周波数が 1 0 0 0 k H z であり、走査速度が 1 0 0 0 m m / s である場合、1 μ m ごとに、集光点 A 近傍に改質層 8 が形成される。ライン間隔 D 1 およびレーザー照射パルス間隔 D 2 はともに、レーザー光 5 の集光スポット径以下 (例えば、1 μ m 以下) であることが好ましいが、集光スポット径は光学系によって異なるため、集光スポット径以下に限定されない。

【 0 0 3 6 】

図 3 A ~ 図 3 C は、それぞれ、改質層形成動作時の被加工材 1 の断面を示している。

【 0 0 3 7 】

図 3 A は、被加工材 1 の端部における改質層 8 の形成状態を示している。9 x は、X 方向のエネルギー密度プロファイルを示し、9 z は、Z (深さ) 方向のエネルギー密度プロファイルを示す。

【 0 0 3 8 】

X 方向および Z 方向のどちらに関しても、レーザー光 5 a の集光点近傍において急激にエネルギー密度が上昇することにより、多光子吸収と呼ばれる現象が発生する。このため、集光点以外ではレーザー光 5 a は透過するのに対し、エネルギー密度が高い集光点でのみレーザー光が吸収されることで、被加工材 1 の内部に改質部 8 a が形成される。改質部 8 a は、Y 軸方向にレーザー光 5 a が走査され、線状に形成される。

【 0 0 3 9 】

図 3 A に示した改質部 8 a の形成の後、図 3 B に示すように、X 軸方向にライン間隔 D 1 の分ずれた位置において Y 軸方向にレーザー光 5 a を複数回走査することで、連続した改質部 8 b が形成される。そして、最終的には、図 3 C に示すように、被加工材 1 の全面にわたって面状の改質層 8 が形成される。

【 0 0 4 0 】

このようにして形成された改質層 8 は、駆動ステージ 3 の駆動精度や固定テーブル 2 (被加工材 1) の面精度の影響を受けるため、Z 方向に集光点がばらつきながら形成された形状となる。

【 0 0 4 1 】

図 3 C では例として、改質層 8 を、楕円状の改質部 8 a、8 b が連なった形状として図示しているが、実際に形成される改質層 8 では、レーザー光 5 a の入射側が、レーザー光 5 a の出射側よりも、平坦な形状となる。これは、レーザー光 5 a の入射側の形状が、上下動が少ない集光点の位置によって決まる一方で、レーザー光 5 a の出射側では、集光点で加工に用いられなかった漏れ光が加工閾値を超える範囲で改質が進むため、改質範囲を規定することが困難であるためである。

【 0 0 4 2 】

図 4 A および図 4 B は、改質層 8 が形成された被加工材 1 の断面を示す模式図である。図 4 A は、レーザー走査方向 (主走査方向と言ってもよい。例えば、Y 軸方向) に対して垂直な副走査方向 (例えば、X 軸方向) の断面を示している。図 4 B は、レーザー走査方向に平行な Y 軸方向の断面を示している。

【 0 0 4 3 】

改質層 8 は、線状の改質部 8 a、8 b (図 3 A、図 3 B 参照) が連なって形成されるため、図 4 A に示すように、レーザー走査方向と垂直な X 軸方向では、Z 方向のばらつきの有無や程度に関わらず、凹凸の大きい形状が得られる。また、図 4 B に示すように、レーザー走査方向と平行な Y 軸方向では、駆動ステージ 3 の精度や固定テーブル 2 の面精度の影響が支配的な凹凸の小さい形状が得られる。

【 0 0 4 4 】

10

20

30

40

50

次に、改質層 8 を形成した被加工材 1 を分離する分離装置 200（本発明のスライス装置の一例）について、図 5 を用いて説明する。図 5 は、本実施の形態に係る分離装置 200 の模式図である。

【0045】

分離装置 200 は、分離治具 11（分離部の一例）および加熱装置 12（加熱部の一例）を有する。

【0046】

粘着シート 10 は、両面に粘着力を有する。この粘着力は、120（熱剥離温度 T_o ）以上に加熱された場合に失われる。粘着シート 10 としては、例えば、ダイシングテープを用いることができる。

10

【0047】

分離治具 11 は、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向に水平移動でき、方向（図 1 参照）に回転できる。また、分離治具 11 は、温度測定機能を有し、測定した温度を後述の加熱装置 12 にフィードバックすることができる。

【0048】

加熱装置 12 は、被加工材 1 を加熱する接触式の熱源（例えば、ホットプレートなど）である。加熱装置 12 は、分離治具 11 に測定された温度に基づいて、改質層 8 の融点 T_n 以上、粘着シート 10 の熱剥離温度 T_o 未満になるように、加熱温度を制御する。なお、改質層 8 の主成分はガリウム（Ga）であることから、改質層 8 の融点 $T_n = Ga$ の融点 T_m とみなしてよい。

20

【0049】

次に、図 5 に示した分離装置の動作について、図 6 A、図 6 B を用いて説明する。図 6 A および図 6 B は、分離装置による被加工材分離動作を説明する模式図である。

【0050】

改質層 8 は、加熱装置 12 により融点 T_n 以上に加熱されると、溶融する。このときに、分離治具 11 を用いて、改質層 8 が形成された XY 面と略平行な方向へ荷重を作用させ、改質層 8 を境界として、被加工材 1 の上部ウエハ（以下、単に、上部という）1 a と被加工材 1 の下部ウエハ（以下、単に、下部という）1 b とを、XY 面と略平行な方向にずらす。これにより、被加工材 1 は、上部 1 a と下部 1 b とに分離する。

【0051】

また、加熱装置 12 により熱剥離温度 T_o 以上に加熱されることで、粘着シート 10 の粘着力は失われる。これにより、分離後の上部 1 a および下部 1 b は、分離治具 11 から剥離することができる。

30

【0052】

図 6 A は、上部 1 a と下部 1 b とを C1 方向（レーザ走査方向に垂直な X 軸方向）にずらした場合を示している。上述したとおり、加熱装置 12 の加熱により改質層 8 は溶融するが、改質層 8 周縁の未改質部（GAN 部と言ってもよい）には、C1 方向に対して垂直な方向（Z 方向）に凹凸部分が残存する。よって、図 6 A に示すように、上部 1 a と下部 1 b とを C1 方向にずらす場合、上部 1 a の凹凸部分と下部 1 b の凹凸部分とが干渉する。したがって、上部 1 a と下部 1 b とを十分にずらすことができず、被加工材 1 を上部 1 a と下部 1 a とに分離することができない。

40

【0053】

一方、図 6 B は、上部 1 a と下部 1 b とを C2 方向（レーザ走査方向と平行な Y 軸方向）にずらした場合を示している。レーザ走査方向には凹凸部分が少なく、凹凸部分があったとしても、駆動ステージ 3 の精度や固定テーブル 2 の面精度に起因する緩やかな凹凸形状である。よって、図 6 B に示すように、上部 1 a と下部 1 b とを C2 方向にずらす場合、上部 1 a の凹凸部分と下部 1 b の凹凸部分との干渉は生じにくい。したがって、被加工材 1 を上部 1 a と下部 1 b とに分離することができる。

【0054】

また、図 7 に示すように、上部 1 a の未改質層の表面粗さ（Z 方向の長さ）を Rz_a 、

50

下部 1 b の未改質層の表面粗さ (Z 方向の長さ) を $R_{z b}$ 、改質層 8 の厚み (Z 方向の長さ) を F とした場合、 $F > R_{z a}$ かつ $F > R_{z b}$ を満たすように改質層 8 を形成する。さらには、表面粗さ $R_{z a}$ 、 $R_{z b}$ に比べて、厚み F が 10 % 以上大きい改質層 8 を形成することが好ましい。これにより、上述した凹凸部分による干渉の影響を低減することができる。より安定した分離を実現できる。

【 0 0 5 5 】

例えば、厚み F が約 $10 \mu\text{m}$ であり、表面粗さ $R_{z a}$ 、 $R_{z b}$ がそれぞれ約 $20 \mu\text{m}$ 程度である場合、上部 1 a と下部 1 b とを分離することは困難となる。よって、その場合、厚み F が $20 \mu\text{m}$ よりも大きくなるように改質層 8 を形成することが好ましい。このような厚み F を得るためには、集光点近傍でエネルギー密度が加工閾値を超える領域を広げる必要がある。よって、レーザー光 5 a のパワーを大きくしたり、 NA (開口数) が少し小さいレンズを用いたりすればよい。

10

【 0 0 5 6 】

次に、分離時の傾きについて説明する。

【 0 0 5 7 】

図 9 に改質層を形成した被加工材 1 の斜視図を示す。改質層厚み F において、 XZ 平面において隣り合うレーザー走査間が接続されている部分の厚みを G_x とし、 YZ 平面において隣り合うレーザー走査間が接続されている部分の厚みを G_y とする。また、 X 方向の被加工材 1 のサイズを W_1 、 Y 方向の被加工材 1 のサイズを W_2 とする。

【 0 0 5 8 】

20

図 10 A は、被加工材 1 の上部 1 a および下部 1 b が水平方向に回転した状態を真上から見た模式図である。図 10 B は、被加工材 1 の XZ 平面における端面が回転する前の状態を示す模式図である。図 10 C は、図 10 B に示した端面が回転した後の状態を示す模式図である。

【 0 0 5 9 】

図 10 C に示すように上部 1 a に対して下部 1 b が距離 H ずれることにより、図 10 A に示すように上部 1 a および下部 1 b が角度 θ_1 回転する。これにより、図 10 C に示す衝突点 15 が生じ、これ以上回転できない状態となる。角度 θ_1 は、以下の式 (3) で表すことができる。

$$\theta_1 = \tan^{-1} (H / W_2) \quad H / W_2 [\text{rad}] \cdots (3)$$

30

【 0 0 6 0 】

図 11 A は、上部 1 a および下部 1 b が Z 方向に傾いた状態を示す模式図である。図 11 B は、被加工材 1 の YZ 平面における端面が傾く前の状態を示す模式図である。図 11 C は、図 11 B に示した端面が傾いた後の状態を示す模式図である。

【 0 0 6 1 】

図 11 A に示すように上部 1 a に対して下部 1 b が図 11 C に示す角度 θ_2 傾くことにより、図 11 C に示す衝突点 16 が生じ、これ以上傾くことができない状態となる。角度 θ_2 は、以下の式 (4) で表すことができる。

$$\theta_2 = \tan^{-1} (G_y / W_2) \quad G_y / W_2 [\text{rad}] \cdots (4)$$

【 0 0 6 2 】

40

例えば、厚み $G_x = G_y = 5 \mu\text{m}$ 、 $H = 10 \mu\text{m}$ 、 $W_1 = W_2 = 50 \text{mm}$ である場合、

$$\theta_1 = H / W_2 = 10 / (50 \times 1000) = 0.2 \text{mrad}$$

$$\theta_2 = G_y / W_2 = 5 / (50 \times 1000) = 0.1 \text{mrad}$$

となる。

【 0 0 6 3 】

つまり、図 10 B に示す状態と図 10 C に示す状態との間の状態、または、図 11 B に示す状態と図 11 C に示す状態との間の状態であれば、上部 1 a と下部 1 b の相対位置を変更することは可能であり、ウエハを分離することができる。よって、この状態を略平行と定義することができる。

【 0 0 6 4 】

50

上記説明では、改質層 8 が 1 つである場合を例に挙げて説明したが、改質層 8 は複数あってもよい。以下、この場合について、図 8 を用いて説明する。図 8 は、複数の改質層 8 が形成された被加工材 1 の断面を示す模式図である。

【 0 0 6 5 】

図 8 において、押さえ部 1 3 は、被加工材 1 をスライスした後のウエハ 1 c、1 d、1 e、1 f、1 g のどの高さにも合わせることができ、C 方向の分離荷重に負けない強度を有する。

【 0 0 6 6 】

図 8 では、例として、ウエハ 1 c を分離するために、押さえ部 1 3 をウエハ 1 d の高さに調整した場合を示している。C 方向に荷重を作用させる際に、ウエハ 1 より下方のウエハ 1 d ~ 1 g のズレを抑制することにより、C 方向への荷重がウエハ 1 c とウエハ 1 d との間の改質層の分離に作用するため、ウエハ 1 c のみを分離することができる。

10

【 0 0 6 7 】

ウエハ 1 c を分離した後、ウエハ 1 d の表面を研磨する。その後、再度粘着シート 1 0 により、残りの被加工材 1 を固定し、押さえ部 1 3 の位置をウエハ 1 e の高さに変更する。これにより、ウエハ 1 d を分離することができる。

【 0 0 6 8 】

なお、ウエハ 1 e ~ 1 g に対しても上述した動作を繰り返すことにより、ウエハ 1 e ~ 1 g を分離することができる。分離後のウエハ 1 c ~ 1 g は、後工程で研磨され、改質層 8 が除去される。これにより、G a N ウエハとして用いることができるようになる。

20

【 0 0 6 9 】

以上説明したように、本実施の形態は、レーザ光 5 a の集光により形成された被加工材 1 の改質層 8 を、被加工材 1 の融点未満かつ改質層 8 の融点以上の温度で加熱することにより、改質層 8 を溶融させ、溶融した改質層 8 を境界として、被加工材 1 を分離することを特徴とする。

【 0 0 7 0 】

これにより、本実施の形態では、被加工材の内部に改質層を形成した後、改質層を境界として被加工材を分離する際に生じる不具合（例えば、チップング、クラック、割れなど）を抑制できる。したがって、分離時の歩留りを向上させることができる。また、後工程において研磨量を低減できるので、材料ロスの低減も期待できる。

30

【 0 0 7 1 】

なお、本発明は、上記実施の形態の説明に限定されず、その趣旨を逸脱しない範囲において種々の変形が可能である。以下、各変形例について説明する。

【 0 0 7 2 】

[変形例 1]

実施の形態では、Y 軸方向の直線走査を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、X 軸方向の直線走査、軸回りの回転走査、軸の回転中心から偏芯させた位置に被加工材 1 を設置した円弧走査などを用いてもよい。なお、X 軸走査を用いる場合、上記実施の形態と同様に被加工材 1 の分離が可能であるが、回転走査または円弧走査を用いる場合では、被加工材 1 を分離させる際に、回転方向または円弧方向に分離荷重を作用させる必要がある。

40

【 0 0 7 3 】

[変形例 2]

実施の形態では、加熱装置 1 2 として、接触式の熱源を用いる場合を例に挙げて説明したが、加熱装置 1 2 は非接触式の熱源であってもよい。例えば、非接触式の熱源として、被加工材 1 に対して 8 0 % 以上の透過率を有し、改質層 8 が 5 0 % 以上の吸収性を示す光を発する光源（例えば、I R ヒータ、ハロゲンランプなど）を用いてもよい。この場合も、実施の形態と同様に、改質部に析出した G a を加熱しながらの分離が可能となる。

【 0 0 7 4 】

[変形例 3]

50

実施の形態では、加熱装置 12 の加熱温度が、改質層 8 の融点 T_n 以上、かつ、粘着シート 10 の熱剥離温度 T_o 未満である場合を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、粘着シート 10 を用いない場合（例えば、支持基板上に固定して剥離させない場合や、真空吸着などにより固定する場合など）には、加熱温度を、改質層 8 の融点 T_n 以上、かつ、被加工材 1（GaN 基板）の融点未満に設定すればよい。

【0075】

[変形例 4]

実施の形態では、被加工材 1 として、直径が 2 インチであり、厚みが $400\ \mu\text{m}$ であり、材質が窒化ガリウムである材料を用いる場合を例に挙げて説明したが、直径、厚み、および材質は、これに限定されない。被加工材 1 の材質は、例えば、シリコン基板、サファイア基板、サファイア基板上に GaN 層をエピタキシャル成長させた基板、ヒ化ガリウム（GaAs）基板、リン化インジウム（InP）基板、窒化アルミニウムガリウム（AlGaN）/GaN 基板、SiC 基板、SiC 基板上に GaN 層をエピタキシャル成長させた基板、ダイヤモンドなどであってもよい。すなわち、レーザー光が透過し、改質層を形成可能な材料であれば適用可能である。ただし、改質層の融点が高い材質（例えば、GaN）が好適である。

10

【0076】

[変形例 5]

実施の形態では、レーザー発振器 4 から発振されるレーザー光 5 の波長が $532\ \text{nm}$ である場合を例に挙げて説明したが、レーザー光 5 の波長は、これに限定されず、被加工材 1 に対して透過率を有する波長であればよい。ただし、短い波長の方が、被加工材 1 内部の集光点 A の厚み方向および水平方向の寸法が小さくなり、加工性が向上するため、好適である。

20

【0077】

[変形例 6]

実施の形態では、レーザー光 5 のパルス幅が 0.2 ピコ秒以上かつ 100 ピコ秒以下であり、レーザー光 5 の最大繰返し周波数が $1\ \text{MHz}$ である場合を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、レーザー光 5 のパルス幅は、 1 フェムト秒（fs）以上かつ 1 ナノ秒（ns）以下の範囲であって、多光子吸収による内部加工が可能となるものであればよい。レーザー光 5 の繰返し周波数は、被加工材 1 とレーザー光 5 との相互作用に起因する加工性と、生産性との関係から、レーザー発振器 4 が発振可能な $10\ \text{MHz}$ 以下の範囲から選択されればよい。

30

【0078】

[変形例 7]

実施の形態では、レンズ 7 の開口数が 0.7 である場合を例に挙げて説明したが、これに限定されず、 0.4 以上かつ 0.95 以下であればよい。ただし、集光点 A の径を小さくするために、レンズ 7 の開口数は大きい方が好ましい。レンズ 7 としては、集光点 A のエネルギー密度を高くできるため、収差補正機能付レンズを用いることが望ましいが、これに限定されず、例えば位相変調素子やレンズなどにより、予め収差補正を加えてもよい。

【0079】

[変形例 8]

また、実施の形態で説明した改質層形成動作および被加工材分離動作は、例えばミラー、回折光学素子または位相変調素子を用いて、レーザー光 5 を被加工材 1 の複数部分に同時に照射し、被加工材 1 を加工する場合にも適用できる。その場合、加工時間を短縮できるので、より生産性が向上する。

40

【産業上の利用可能性】

【0080】

本発明は、レーザーを用いて硬脆性材料の内部に改質層を形成し、その改質層を境界としてウエハ状に分離する技術全般に適用できる。

【符号の説明】

【0081】

50

- 1 被加工材
- 1 a 被加工材 1 の上部ウエハ
- 1 b 被加工材 1 の下部ウエハ
- 1 c、1 d、1 e、1 f、1 g ウエハ
- 2 固定テーブル
- 3 駆動ステージ
- 4 レーザ発振器
- 5、5 a レーザ光
- 6 ミラー
- 7 レンズ
- 8 改質層
- 8 a、8 b 改質部
- 10 粘着シート
- 11 分離治具
- 12 加熱装置
- 13 押さえ部
- 15、16 衝突点
- 100 レーザ加工装置
- 200 分離装置

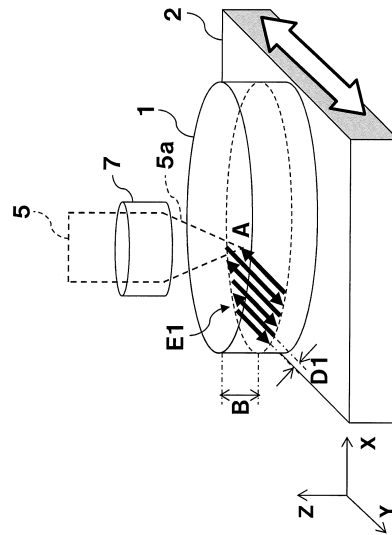
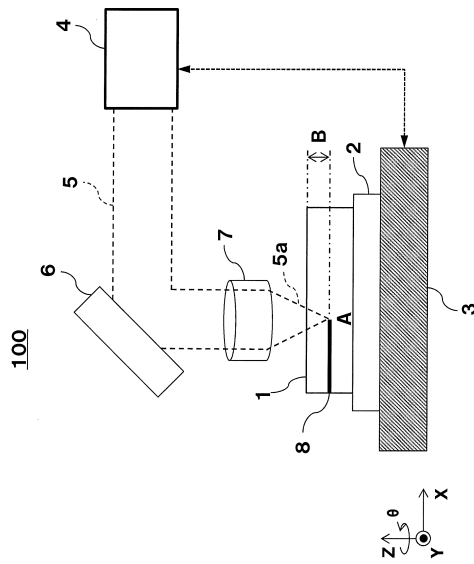
10

【図面】

20

【図 1】

【図 2 A】

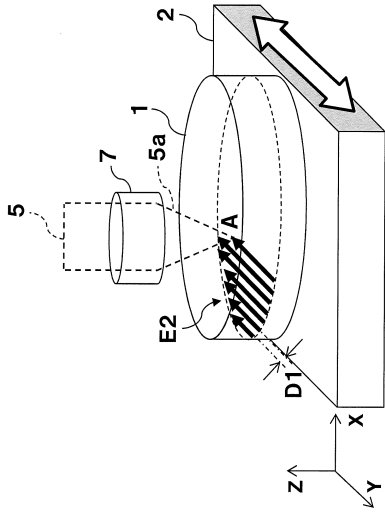


30

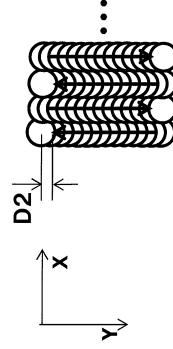
40

50

【図 2 B】



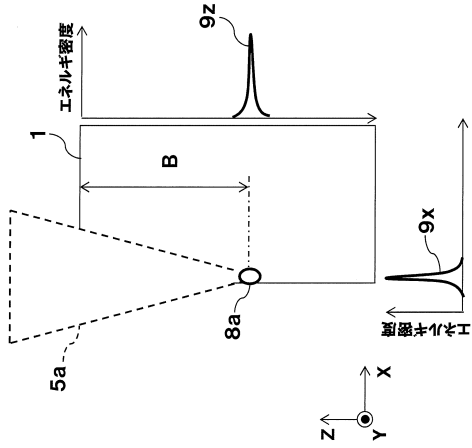
【図 2 C】



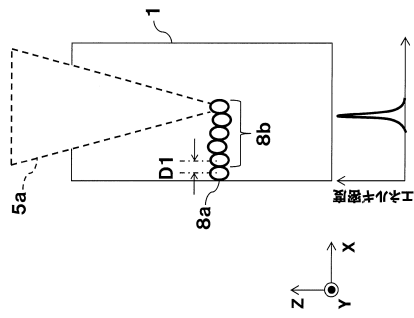
10

20

【図 3 A】



【図 3 B】

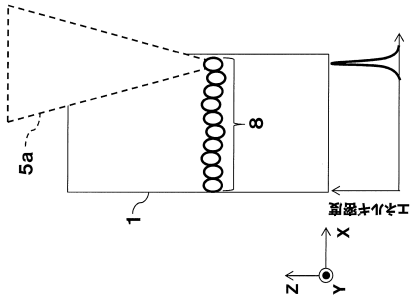


30

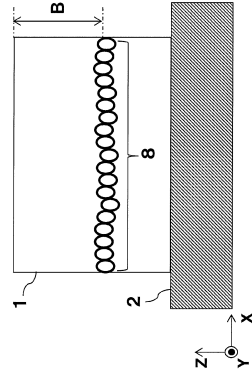
40

50

【図 3 C】

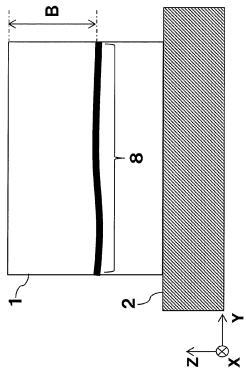


【図 4 A】

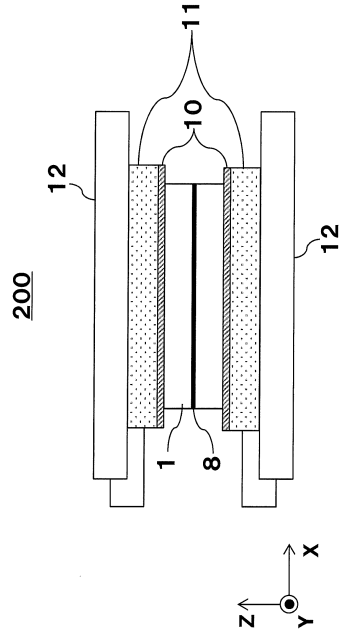


10

【図 4 B】



【図 5】



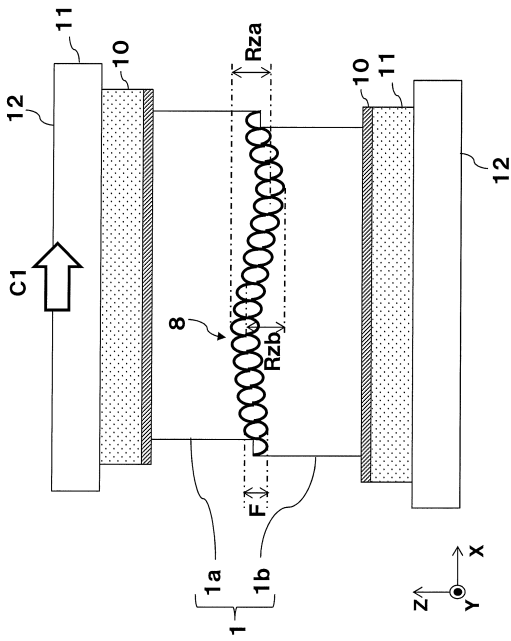
20

30

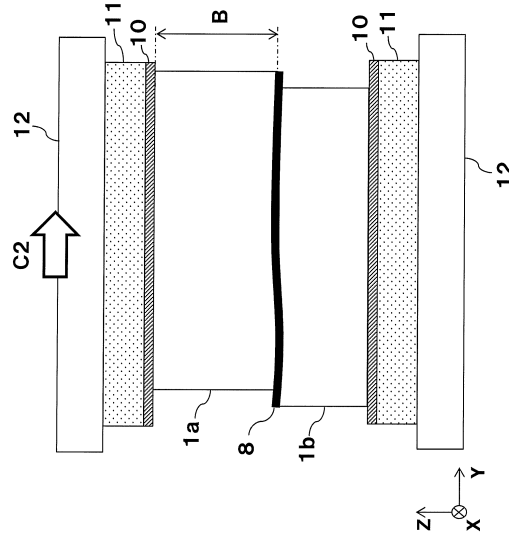
40

50

【図 6 A】



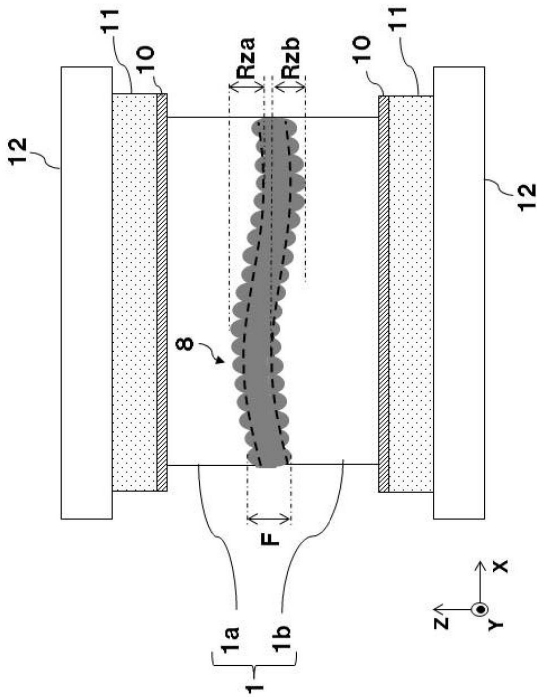
【図 6 B】



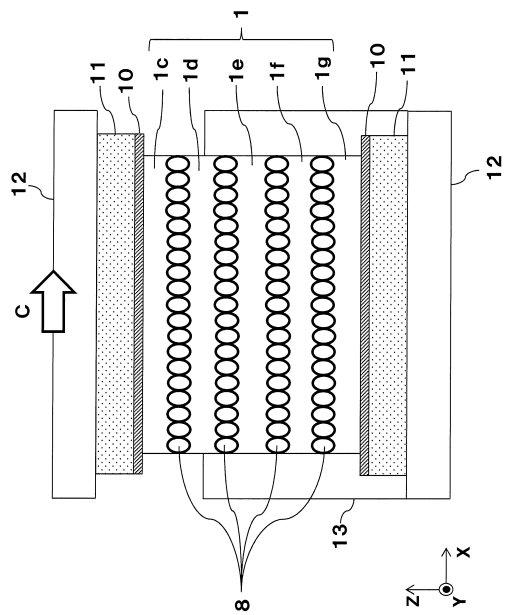
10

20

【図 7】



【図 8】

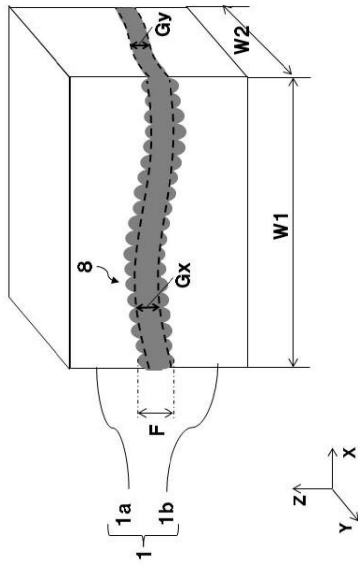


30

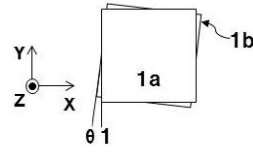
40

50

【図 9】



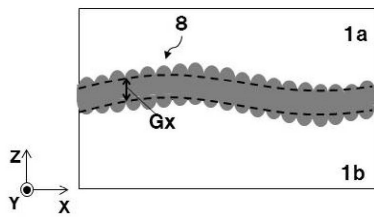
【図 10 A】



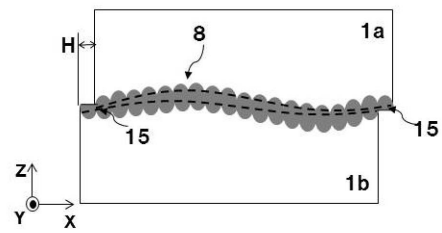
10

20

【図 10 B】



【図 10 C】

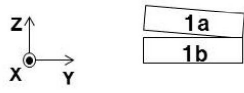


30

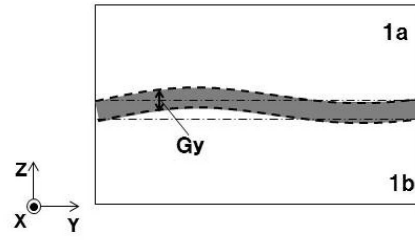
40

50

【 1 1 A】

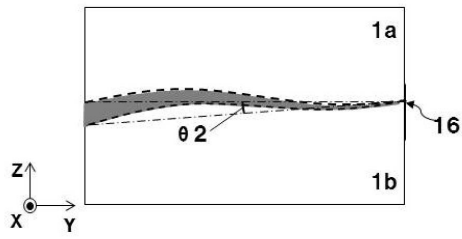


【 1 1 B】



10

【 1 1 C】



20

30

40

50

フロントページの続き

大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 内田 正和

- (56)参考文献 特開2003-303743(JP,A)
特開2017-069510(JP,A)
特開2015-119076(JP,A)
特開2017-183600(JP,A)
特開2016-043558(JP,A)
特開2013-158779(JP,A)
特開平06-268051(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21/304
B23K 26/53