

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4509578号

(P4509578)

(45) 発行日 平成22年7月21日(2010.7.21)

(24) 登録日 平成22年5月14日(2010.5.14)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 3 K 26/00 (2006.01)
 B 2 3 K 26/04 (2006.01)
 G 0 2 B 21/00 (2006.01)
 H 0 1 L 21/301 (2006.01)

B 2 3 K 26/00 D
 B 2 3 K 26/04 C
 G 0 2 B 21/00
 H 0 1 L 21/78 B

請求項の数 14 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2004-4304 (P2004-4304)
 (22) 出願日 平成16年1月9日(2004.1.9)
 (65) 公開番号 特開2005-193284 (P2005-193284A)
 (43) 公開日 平成17年7月21日(2005.7.21)
 審査請求日 平成18年12月26日(2006.12.26)

(73) 特許権者 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100092657
 弁理士 寺崎 史朗
 (74) 代理人 100124291
 弁理士 石田 悟
 (72) 発明者 渥美 一弘
 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜
 松ホトニクス株式会社内
 (72) 発明者 久野 耕司
 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜
 松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工方法及びレーザ加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一のレーザ光をレンズで集光して加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工方法であって、

前記集光点が前記加工対象物内部の所定の位置に合うように設定された前記加工対象物の主面に対する初期位置に前記レンズを保持する準備ステップと、

当該レンズを前記初期位置に保持した状態で前記第一のレーザ光を照射し、前記レンズと前記加工対象物とを前記主面に沿って相対的に移動させて前記切断予定ラインの一端部において改質領域を形成する第一加工ステップと、

前記切断予定ラインの一端部において改質領域が形成された後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除し、当該解除後に前記レンズと前記主面との間隔を調整しながら、前記レンズと前記加工対象物とを前記主面に沿って相対的に移動させて改質領域を形成する第二加工ステップと、

を備えるレーザ加工方法。

【請求項 2】

前記第二加工ステップにおいては、

前記第一のレーザ光と前記主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて前記レンズで集光し、前記主面で反射された前記第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を超えた後に前記レンズを保持した状態を解除する、請

10

20

求項 1 に記載のレーザ加工方法。

【請求項 3】

前記第二加工ステップにおいては、

前記第一のレーザ光と前記主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて前記レンズで集光し、前記主面で反射された前記第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極大値となった後に前記レンズを保持した状態を解除する、請求項 1 に記載のレーザ加工方法。

【請求項 4】

前記第二加工ステップの後に、前記レンズが前記主面に向かう方向に駆動しないように保持する移行ステップを備える、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載のレーザ加工方法。

【請求項 5】

前記移行ステップにおいては、前記第一のレーザ光と前記主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて前記レンズで集光し、前記主面で反射された前記第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を下回った後に前記レンズを駆動しないように保持する、請求項 4 に記載のレーザ加工方法。

【請求項 6】

前記移行ステップにおいては、前記第一のレーザ光と前記主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて前記レンズで集光し、前記主面で反射された前記第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極小値となった後に前記レンズを駆動しないように保持する、請求項 4 に記載のレーザ加工方法。

【請求項 7】

前記切断予定ラインは第一の切断予定ライン及び第二の切断予定ラインを含み、

前記第一の切断予定ラインの第二加工ステップにおいて、前記主面の変位を単位時間帯ごとに順次記憶し、

前記第一の切断予定ラインの移行ステップにおいて、前記レンズの前記主面に対する位置が、前記移行ステップにおいて前記レンズを駆動しないように保持した時点に対応する単位時間帯から所定数前の単位時間帯において記憶した変位に基づいた位置となるように前記レンズを保持し、

前記第二の切断予定ラインの準備ステップにおいては、前記第一の切断予定ラインの移行ステップにおいて前記レンズを保持した位置を初期位置とする、請求項 4 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のレーザ加工方法。

【請求項 8】

第一のレーザ光を加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、

前記第 1 のレーザ光を前記加工対象物に向けて集光するレンズと、

前記加工対象物と前記レンズとを前記加工対象物の主面に沿って移動させる移動手段と

前記レンズを前記主面に対して進退自在に保持する保持手段と、

前記移動手段及び前記保持手段それぞれの挙動を制御する制御手段と、

を備え、

前記制御手段は前記集光点が前記加工対象物内部の所定の位置に合う状態となる初期位置に前記レンズを保持するように前記保持手段を制御し、

当該位置に前記レンズを保持した状態で前記第一のレーザ光を照射しながら、前記制御手段は前記加工対象物と前記レンズとを前記主面に沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御して前記切断予定ラインの一端部において改質領域を形成し、

前記切断予定ラインの一端部において改質領域が形成された後に、前記制御手段は前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除して前記レンズと前記主面との間隔を調整しながら保持するように前記保持手段を制御し、前記レンズと前記加工対象物とを前記主面に沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御して改質領域を形成する、レーザ加工装置。

【請求項 9】

前記レンズは、前記第一のレーザ光と前記主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、

前記制御手段は、前記主面で反射される前記第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を超えた後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除するように前記保持手段を制御する、請求項 8 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 10】

前記レンズは、前記第一のレーザ光と前記主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、

前記制御手段は、前記主面で反射される前記第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極大値となった後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除するように前記保持手段を制御する、請求項 8 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 11】

前記切断予定ラインの一端部において改質領域が形成された後に、前記制御手段は前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除して前記レンズと前記主面との間隔を調整しながら保持するように前記保持手段を制御し、前記レンズと前記加工対象物とを前記主面に沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御して改質領域を形成し、

更に、前記制御手段は前記レンズを前記主面に向かう方向に駆動させずに保持するように前記保持手段を制御すると共に、前記レンズと前記加工対象物とを前記主面に沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御する、請求項 8 ～ 10 のいずれか 1 項に記載のレーザ加工装置。

【請求項 12】

前記レンズは、前記第一のレーザ光と前記主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、

前記制御手段は、前記主面で反射される前記第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を下回った後に前記レンズを前記主面に向かう方向に駆動させずに保持するように前記保持手段を制御する、請求項 11 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 13】

前記レンズは、前記第一のレーザ光と前記主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、

前記制御手段は、前記主面で反射される前記第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極小値となった後に前記レンズを前記主面に向かう方向に駆動させずに保持するように前記保持手段を制御する、請求項 11 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 14】

前記切断予定ラインは第一の切断予定ライン及び第二の切断予定ラインを含み、

前記主面の変位を単位時間帯ごとに順次記憶する変位記憶手段を備え、

前記制御手段は、前記第一の切断予定ラインにおいて前記レンズを駆動させずに保持するように制御した時点に対応する単位時間帯から所定数前の単位時間帯において前記変位記憶手段が記憶した変位に基づいた位置を前記第二の切断予定ラインにおける初期位置として設定する、請求項 11 ～ 13 のいずれか 1 項に記載のレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ光を照射することで加工対象物を加工するためのレーザ加工方法及びレーザ加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のレーザ加工技術には、加工対象物を加工するためのレーザ光を集光する集光レンズに対し、加工対象物の主面高さを測定する測定手段（接触式変位計や超音波距離計等）を所定の間隔をもって並設させたものがある（例えば、下記特許文献 1 の図 6 ～ 図 10 参

照。)。このようなレーザ加工技術では、加工対象物の主面に沿ってレーザ光でスキャンする際に、測定手段により加工対象物の主面高さを測定し、その測定点が集光レンズの直下に到達したときに、その主面高さの測定値に基づいて集光レンズと加工対象物の主面との距離が一定となるように集光レンズをその光軸方向に駆動する。

【0003】

また、主面が凸凹している加工対象物を加工する技術としては、加工準備として、加工を施す部分全ての平面度を平面度測定手段（投光器と反射光受光器とを有する平面度測定器）によって測定した後、測定した平面度に基づいて加工対象物を加工するものがある（例えば、下記特許文献2参照。）。 10

【特許文献1】特開2002-219591号公報

【特許文献2】特開平11-345785号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記特許文献1に記載のレーザ加工技術においては、次のような解決すべき課題がある。すなわち、加工対象物の外側の位置からレーザ光の照射を開始してレーザ光と加工対象物とをその主面に沿って移動させて加工を行う場合に、測定手段は加工対象物の外側から測定を開始し、加工対象物の内側へと測定を行っていくことになる。そして、この測定によって得られた主面高さの測定値に基づいて集光レンズを駆動すると、加工対象物の端部においてレーザ光の集光点がずれる場合がある。 20

【0005】

また、上記特許文献2に記載の技術を用いた場合には、加工対象物の主面の平面度を正確に把握できるものの、加工準備と実際の加工とで同じ部位を2度スキャンしなければならないため、時間がかかり加工効率が低下する。

【0006】

そこで本発明では、加工対象物の端部におけるレーザ光の集光点のずれを極力少なくしつつ効率よくレーザ加工を行うことができるレーザ加工方法及びレーザ加工装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明者らは上記課題を解決するために種々の検討を行った。まず、加工用の第1のレーザ光と、加工対象物の主面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて照射する加工方法について検討した。この検討内容について図10（A）～図10（C）を参照しながら説明する。 30

【0008】

図10（A）では、ダイシングフィルム802に固定されているシリコンウェハ800を、レーザユニット804からレーザ光を照射して加工する場合であって、加工準備段階を示している。レーザユニット804は、レーザ光をシリコンウェハ800に向けて集光するための集光レンズ804aと、集光レンズ804aを保持するためのレンズホルダ804bと、レンズホルダ804bをシリコンウェハ800に対して進退自在に保持するピエゾアクチュエータ804cと、を含む。レーザユニット804を含むレーザ加工装置にはこの他、レーザ光源といった部位があるがそれらの記載は省略する。図10（A）の状態では、加工用の第1のレーザ光806及びシリコンウェハ800の主面800bの変位を測定するための第2のレーザ光808の照射を開始し、矢印Aの方向にシリコンウェハ800が移動するようにシリコンウェハ800を載置しているステージ（図示しない）を移動させる。シリコンウェハ800に第1のレーザ光806で加工しようとしているのは切断予定ライン800aに相当する位置である。 40

【0009】

シリコンウェハ800が図10（A）の矢印Aの方向に移動すると、図10（B）に示すように第1のレーザ光806及び第2のレーザ光808の光軸がシリコンウェハ800 50

と交差する位置になる。ピエゾアクチュエータ804cは、第2のレーザ光808の反射光から検出される非点収差信号が所定の値になるようにレンズホルダ804bをシリコンウェハ800に対して進退させる。従って、図10(B)の状態からは、ピエゾアクチュエータ804cが縮んでレンズホルダ804b及び集光レンズ804aは上昇する。しかしながら、シリコンウェハ800は図10(A)の矢印Aの方向に移動し続けているので、レンズホルダ804b及び集光レンズ804aが所定の位置に上昇し、切断予定ライン800aにおいて第1のレーザ光806の集光点が合うまでにはタイムラグが発生する。また、非点収差信号も大きく振られることになって第1のレーザ光806の集光点がずれることにもなる。

【0010】

従って、図10(C)に示すように、切断予定ライン800aにおいて第1のレーザ光806の焦点が合って安定状態になるまでの区間Bでは、切断予定ライン800aではない部分がレーザ加工されることになる。例えば、シリコンウェハ800の厚みが100 μ mであって、15mSの時間遅れが発生するものとすれば、加工速度が100mm/Sの場合には区間Bの長さは理論上1.5mmとなる。

【0011】

また、図10(A)～図10(C)では理想的に平面度の高いシリコンウェハ800について考えたが、例えば端部が反りがあっている場合も考えられる。端部が反りがあっているシリコンウェハの例について図11(A)～図11(C)を参照しながら説明する。

【0012】

図11(A)では、ダイシングフィルム802に固定されているシリコンウェハ810を、レーザユニット804からレーザ光を照射して加工する場合であって、加工準備段階を示している。レーザユニット804は図10(A)～図10(C)を参照しながら説明したものと同様である。シリコンウェハ810は、その端部が反りがあっている。シリコンウェハ810の切断予定ライン810aは主面810bから等距離に位置するように設定されている。

【0013】

シリコンウェハ810が図11(A)の矢印Aの方向に移動すると、図11(B)に示すように第1のレーザ光806及び第2のレーザ光808の光軸がシリコンウェハ810と交差する位置になる。ピエゾアクチュエータ804cは、第2のレーザ光808の反射光から検出される非点収差信号が所定の値になるようにレンズホルダ804bをシリコンウェハ810に対して進退させる。従って、図11(B)の状態からは、ピエゾアクチュエータ804cが縮んでレンズホルダ804b及び集光レンズ804aは上昇する。しかしながら、シリコンウェハ810は図11(A)の矢印Aの方向に移動し続けているので、レンズホルダ804b及び集光レンズ804aが所定の位置に上昇し、切断予定ライン810aにおいて第1のレーザ光806の集光点が合うまでにはタイムラグが発生する。また、シリコンウェハ810の端部が反りがあっているために、レンズホルダ804b及び集光レンズ804aが所定の位置まで上昇する際には、図11(B)の点線Cの位置から主面810bの実際の位置に対するギャップが反映されてオーバーシュートを起こすことになる。

【0014】

従って、図11(C)に示すように、切断予定ライン810aにおいて第1のレーザ光806の集光点が合って安定状態になるまでの区間Dでは、切断予定ライン800aではない部分がレーザ加工されることになる。この区間Dの長さはオーバーシュートの分だけ図10(C)における区間Bの長さよりも長くなる傾向にある。そこで本発明者らは、加工対象物の端部における処理に着目した。本発明はこれらの知見に基づいてなされたものである。

【0015】

本発明のレーザ加工方法は、第一のレーザ光をレンズで集光して加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に改質領

域を形成するレーザ加工方法であって、集光点が加工対象物内部の所定の位置に合うように設定された加工対象物の主面に対する初期位置にレンズを保持する準備ステップと、当該レンズを初期位置に保持した状態で第一のレーザ光を照射し、レンズと加工対象物とを主面に沿って相対的に移動させて切断予定ラインの一端部において改質領域を形成する第一加工ステップと、切断予定ラインの一端部において改質領域が形成された後にレンズを初期位置に保持した状態を解除し、当該解除後にレンズと主面との間隔を調整しながら、レンズと加工対象物とを主面に沿って相対的に移動させて改質領域を形成する第二加工ステップと、を備える。

【0016】

本発明のレーザ加工方法によれば、初期位置にレンズを保持した状態で切断予定ラインの一端部において改質領域を形成するので、加工対象物の端部の形状変動による影響を極力排除して改質領域を形成することができる。そして、切断予定ラインの一端部において改質領域を形成した後にレンズを保持した状態を解除し、レンズの位置を調整しながら残部において改質領域を形成するので、加工対象物内部の所定の位置に改質領域を形成することができる。

【0017】

また、本発明のレーザ加工方法では、第二加工ステップにおいて、第一のレーザ光と主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けてレンズで集光し、主面で反射された第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を超えた後にレンズを保持した状態を解除することも好ましい。第1のレーザ光と第2のレーザ光とがレンズで集光され同一の軸線上において照射されるので、例えば、加工対象物を載置するステージの振動を原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。また、反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、所定の閾値を主面の高さに応じた値に設定すれば、反射光の光量が所定の閾値となる部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを保持した状態を解除できる。

【0018】

また、本発明のレーザ加工方法では、第二加工ステップにおいて、第一のレーザ光と主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けてレンズで集光し、主面で反射された第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極大値となった後にレンズを保持した状態を解除することも好ましい。第1のレーザ光と第2のレーザ光とがレンズで集光され同一の軸線上において照射されるので、例えば、加工対象物を載置するステージの振動を原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。また、反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極大値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを保持した状態を解除できる。

【0019】

また、本発明のレーザ加工方法では、第二加工ステップの後に、レンズが主面向かう方向に駆動しないように保持する移行ステップを備えることも好ましい。改質領域を形成した後にレンズを主面向かう方向に駆動しないように保持するので、例えば、次の切断予定ラインの加工に移行する際に円滑な移行が可能となる。

【0020】

また、本発明のレーザ加工方法では、移行ステップにおいては、第一のレーザ光と主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けてレンズで集光し、主面で反射された第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を下回った後にレンズを駆動しないように保持することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、所定の閾値を主面の高さに応じた値に設定すれば、反射光の光量が所定の閾値となる部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを駆動しないように保持することができる。

【0021】

また、本発明のレーザ加工方法では、移行ステップにおいては、第一のレーザ光と主面の変位を測定するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けてレンズで集光し、主面で反射された第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極小値となった後にレンズを駆動しないように保持することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極小値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを駆動しないように保持することができる。

【0022】

また、本発明のレーザ加工方法では、切断予定ラインは第一の切断予定ライン及び第二の切断予定ラインを含み、第一の切断予定ラインの第二加工ステップにおいて、主面の変位を単位時間帯ごとに順次記憶し、第一の切断予定ラインの移行ステップにおいて、レンズの主面に対する位置が、第一の切断予定ラインの移行ステップにおいてレンズを駆動しないように保持した時点に対応する単位時間帯から所定数前の単位時間帯において記憶した変位に基づいた位置となるようにレンズを保持し、第二の切断予定ラインの準備ステップにおいては、第一の切断予定ラインの移行ステップにおいてレンズを保持した位置を初期位置とすることも好ましい。レンズを駆動しないように保持した時点に対応する単位時間帯から所定数前の単位時間帯において記憶した変位に基づいた位置となるように、次の切段予定ラインの準備ステップにおいてレンズの主面に対する位置を設定するので、加工対象物の端部の形状変動による影響を極力排除できる。

【0023】

本発明のレーザ加工装置は、第一のレーザ光を加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、第1のレーザ光を前記加工対象物に向けて集光するレンズと、加工対象物とレンズとを加工対象物の主面に沿って移動させる移動手段と、レンズを主面に対して進退自在に保持する保持手段と、移動手段及び保持手段それぞれの挙動を制御する制御手段と、を備え、制御手段は集光点が加工対象物内部の所定の位置に合う状態となる初期位置にレンズを保持するように保持手段を制御し、当該位置にレンズを保持した状態で第一のレーザ光を照射しながら、制御手段は加工対象物とレンズとを主面に沿って相対的に移動させるように移動手段を制御して切断予定ラインの一端部において改質領域を形成し、切断予定ラインの一端部において改質領域が形成された後に、制御手段はレンズを初期位置に保持した状態を解除してレンズと主面との間隔を調整しながら保持するように保持手段を制御し、レンズと加工対象物とを主面に沿って相対的に移動させるように移動手段を制御して改質領域を形成する。

【0024】

本発明のレーザ加工装置によれば、初期位置にレンズを保持した状態で切断予定ラインの一端部において改質領域を形成するので、加工対象物の端部の形状変動による影響を極力排除して改質領域を形成することができる。そして、切断予定ラインの一端部において改質領域を形成した後にレンズを保持した状態を解除し、レンズの位置を調整しながら残部において改質領域を形成するので、加工対象物内部の所定の位置に改質領域を形成することができる。

【0025】

また、本発明のレーザ加工装置では、レンズは、第一のレーザ光と主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、制御手段は、主面で反射される第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を超えた後にレンズを初期位置に保持した状態を解除するように保持手段を制御することも好ましい。第1のレーザ光と第2のレーザ光とがレンズで集光され同一の軸線上において照射されるので、例えば、加工対象物を載置するステージの振動を原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。また、反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、所定の閾値を主面の高さに応

じた値に設定すれば、反射光の光量が所定の閾値となる部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを保持した状態を解除できる。

【0026】

また、本発明のレーザ加工装置では、レンズは、第一のレーザ光と主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、制御手段は、主面で反射される第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極大値となった後にレンズを初期位置に保持した状態を解除するように保持手段を制御することも好ましい。第1のレーザ光と第2のレーザ光とがレンズで集光され同一の軸線上において照射されるので、例えば、加工対象物を載置するステージの振動を原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。また、反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極大値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを保持した状態を解除できる。

【0027】

また、本発明のレーザ加工装置では、切断予定ラインの一端部において改質領域が形成された後に、制御手段はレンズを初期位置に保持した状態を解除してレンズと主面との間隔を調整しながら保持するように保持手段を制御し、レンズと加工対象物とを主面に沿って相対的に移動させるように移動手段を制御して改質領域を形成し、更に、制御手段はレンズを主面に向かう方向に駆動させずに保持するように保持手段を制御すると共に、レンズと加工対象物とを主面に沿って相対的に移動させるように移動手段を制御することも好ましい。改質領域を形成した後にレンズを主面に向かう方向に駆動しないように保持するので、例えば、次の切断予定ラインの加工に移行する際に円滑な移行が可能となる。

【0028】

また、本発明のレーザ加工装置では、レンズは、第一のレーザ光と主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、制御手段は、主面で反射される第二のレーザ光の反射光の光量が所定の閾値を下回った後にレンズを主面に向かう方向に駆動させずに保持するように保持手段を制御することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、所定の閾値を主面の高さに応じた値に設定すれば、反射光の光量が所定の閾値となる部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを駆動しないように保持することができる。

【0029】

また、本発明のレーザ加工装置では、レンズは、第一のレーザ光と主面の変位を取得するための第二のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、制御手段は、主面で反射される第二のレーザ光の反射光の光量の変化量が極小値となった後にレンズを主面に向かう方向に駆動させずに保持するように保持手段を制御することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極小値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定してレンズを駆動しないように保持することができる。

【0030】

また、本発明のレーザ加工装置では、切断予定ラインは第一の切断予定ライン及び第二の切断予定ラインを含み、主面の変位を単位時間帯ごとに順次記憶する変位記憶手段を備え、制御手段は、第一の切断予定ラインにおいてレンズを駆動させずに保持するように制御した時点に対応する単位時間帯から所定数前の単位時間帯において変位記憶手段が記憶した変位に基づいた位置を第二の切断予定ラインにおける初期位置として設定することも好ましい。レンズを駆動しないように保持した時点に対応する単位時間帯から所定数前の単位時間帯において記憶した変位に基づいた位置となるように、次の切断予定ラインの準備ステップにおいてレンズの主面に対する位置を設定するので、加工対象物の端部の形状変動による影響を極力排除できる。

【発明の効果】

【0031】

本発明のレーザ加工方法及びレーザ加工装置によれば、加工対象物の端部におけるレーザ光の集光点のずれを極力少なくしつつ効率よくレーザ加工を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

本発明の知見は、例示のみのために示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解することができる。引き続いて、添付図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付して、重複する説明を省略する。

【0033】

本実施形態のレーザ加工装置について図1を参照しながら説明する。図1に示すように、レーザ加工装置1は、ステージ2（移動手段）上に載置された平板状の加工対象物Sの内部に集光点Pを合わせて加工用レーザ光L1（第1のレーザ光）を照射し、加工対象物Sの内部に多光子吸収による改質領域Rを形成する装置である。ステージ2は、上下方向及び左右方向への移動並びに回転移動が可能なものであり、このステージ2の上方には、主にレーザヘッドユニット3、光学系本体部4及び対物レンズユニット5からなるレーザ出射装置6が配置されている。また、レーザ加工装置1は制御装置7（制御手段）を備えており、制御装置7はステージ2及びレーザ出射装置6に対してそれぞれの挙動（ステージ2の移動、レーザ出射装置6のレーザ光の出射等）を制御するための制御信号を出力する。

【0034】

レーザヘッドユニット3は、光学系本体部4の上端部に着脱自在に取り付けられている。このレーザヘッドユニット3はL字状の冷却ジャケット11を有しており、この冷却ジャケット11の縦壁11a内には、冷却水が流通する冷却管12が蛇行した状態で埋設されている。この縦壁11aの前面には、加工用レーザ光L1を下方に向けて出射するレーザヘッド13と、このレーザヘッド13から出射された加工用レーザ光L1の光路の開放及び閉鎖を選択的に行うシャッターユニット14とが取り付けられている。これにより、レーザヘッド13及びシャッターユニット14が過熱するのを防止することができる。なお、レーザヘッド13は、例えばNd:YAGレーザを用いたものであり、加工用レーザ光L1としてパルス幅1 μ s以下のパルスレーザ光を出射する。

【0035】

更に、レーザヘッドユニット3において、冷却ジャケット11の底壁11bの下面には、冷却ジャケット11の傾き等を調整するための調整部15が取り付けられている。この調整部15は、レーザヘッド13から出射された加工用レーザ光L1の光軸 α を、上下方向に延在するように光学系本体4及び対物レンズユニット5に設定された軸線 β に一致させるためのものである。つまり、レーザヘッドユニット3は調整部15を介して光学系本体部4に取り付けられる。その後、調整部15により冷却ジャケット11の傾き等が調整されると、冷却ジャケット11の動きに追従してレーザヘッド13の傾き等も調整される。これにより、加工用レーザ光L1は、その光軸 α が軸線 β と一致した状態で光学系本体4内に進行することになる。なお、冷却ジャケット11の底壁11b、調整部15及び光学系本体部4の筐体21には、加工用レーザ光L1が通過する貫通孔が形成されている。

【0036】

また、光学系本体部4の筐体21内の軸線 β 上には、レーザヘッド13から出射された加工用レーザ光L1のビームサイズを拡大するビームエキスパンダ22と、加工用レーザ光L1の出力を調整する光アッテネータ23と、光アッテネータ23により調整された加工用レーザ光L1の出力を観察する出力観察光学系24と、加工用レーザ光L1の偏光を調整する偏光調整光学系25とが上から下にこの順序で配置されている。なお、光アッテネータ23には、除去されたレーザ光を吸収するビームダンパ26が取り付けられており、このビームダンパ26は、ヒートパイプ27を介して冷却ジャケット11に接続されて

いる。これにより、レーザ光を吸収したビームダンパ26が過熱するのを防止することができる。

【0037】

更に、ステージ2上に載置された加工対象物Sを観察すべく、光学系本体部4の筐体21には、観察用可視光を導光するライトガイド28が取り付けられ、筐体21内にはCCDカメラ29が配置されている。観察用可視光はライトガイド28により筐体21内に導かれ、視野絞り31、レチクル32、ダイクロイックミラー33等を順次通過した後、軸線β上に配置されたダイクロイックミラー34により反射される。反射された観察用可視光は、軸線β上を下方に向かって進行して加工対象物Sに照射される。なお、加工用レーザ光L1はダイクロイックミラー34を透過する。

10

【0038】

そして、加工対象物Sの表面S1で反射された観察用可視光の反射光は、軸線βを上方向に向かって進行し、ダイクロイックミラー34により反射される。このダイクロイックミラー34により反射された反射光は、ダイクロイックミラー33により更に反射されて結像レンズ35等を通過し、CCDカメラ29に入射する。このCCDカメラ29により撮像された加工対象物Sの画像はモニタ（図示せず）に映し出される。

【0039】

また、対物レンズユニット5は、光学系本体部4の下端部に着脱自在に取り付けられている。対物レンズユニット5は、複数の位置決めピンによって光学系本体部4の下端部に対して位置決めされるため、光学系本体4に設定された軸線βと対物レンズユニット5に設定された軸線βとを容易に一致させることができる。この対物レンズユニット5の筐体41の下端には、 piezo素子を用いたアクチュエータ43（保持手段）を介在させて、軸線βに光軸が一致した状態で加工用対物レンズ42が装着されている。なお、光学系本体部4の筐体21及び対物レンズユニット5の筐体41には、加工用レーザ光L1が通過する貫通孔が形成されている。また、加工用対物レンズ42によって集光された加工用レーザ光L1の集光点Pにおけるピークパワー密度は 1×10^8 (W/cm²) 以上となる。

20

【0040】

更に、対物レンズユニット5の筐体41内には、加工対象物Sの表面S1から所定の深さに加工用レーザ光L1の集光点Pを位置させるべく、測距用レーザ光L2（第2のレーザ光）を出射するレーザダイオード44と受光部45とが配置されている。測距用レーザ光L2はレーザダイオード44から出射され、ミラー46、ハーフミラー47により順次反射された後、軸線β上に配置されたダイクロイックミラー48により反射される。反射された測距用レーザ光L2は、軸線β上を下方に向かって進行し、加工用対物レンズ42を通過して加工対象物Sの表面S1に照射される。なお、加工用レーザ光L1はダイクロイックミラー48を透過する。

30

【0041】

そして、加工対象物Sの表面S1で反射された測距用レーザ光L2の反射光は、加工用対物レンズ42に再入射して軸線β上を上方向に向かって進行し、ダイクロイックミラー48により反射される。このダイクロイックミラー48により反射された測距用レーザ光L2の反射光は、ハーフミラー47を通過して受光部45内に入射し、フォトダイオードを4等分してなる4分割位置検出素子上に集光される。この4分割位置検出素子上に集光された測距用レーザ光L2の反射光の集光像パターンに基づいて、加工用対物レンズ42による測距用レーザ光L2の集光点が加工対象物Sの表面S1に対してどの位置にあるかを検出することができる。4分割位置検出素子上に集光された測距用レーザ光L2の反射光の集光像パターンに関する情報は、制御装置7に出力される。制御装置7はこの情報に基づいて、アクチュエータ43に加工用対物レンズ42を保持する位置を指示する制御信号を出力する。

40

【0042】

制御装置7は物理的には、ステージ2及びレーザ出射装置6と信号の授受を行うためのインタフェイスと、CPU（中央演算装置）と、メモリやHDDといった記憶装置と、を

50

備え、記憶装置に格納されているプログラムに基づいてCPUが所定の情報処理を行い、その情報処理の結果を制御信号としてインタフェイスを介してステージ2及びレーザ出射装置6に出力する。

【0043】

制御装置7の機能的な構成を図2に示す。図2に示すように、制御装置7は機能的には、レーザ出射制御部701と、ステージ移動制御部702と、アクチュエータ制御部703と、集光点演算部704と、端部判断部705と、循環メモリ706（変位記憶手段）と、を備える。レーザ出射制御部701は、加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2の出射を制御する信号をレーザヘッドユニット3のレーザヘッド13及び対物レンズユニット5のレーザダイオード44にそれぞれ出力する部分である。ステージ移動制御部702は、ステージ2の移動を制御する制御信号をステージ2に出力する部分である。アクチュエータ制御部703はアクチュエータ43の駆動を制御する制御信号を対物レンズユニット5のアクチュエータ43に出力する部分である。アクチュエータ制御部703は循環メモリ706にアクチュエータ43の移動量を格納する部分でもある。この移動量は加工対象物Sの主面S1の変位に応じて変化するので、主面S1の変位を表す量として捉えることもできる。集光点演算部704は対物レンズユニット5の受光部45から出力される非点収差信号に基づいて、加工対象物Sと測距用レーザ光L2の集光点との距離を算出する部分である。端部判断部705は受光部45が受光する光量に基づいて、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に対応する位置にあるかどうかを判断する部分である。循環メモリ706は、アクチュエータ43の移動量を格納する循環メモリである。循環メモリ706は64チャンネルの格納領域を有しており、それぞれの格納領域に移動量を順次格納する。尚、各機能的構成要素の動作については後述する。

【0044】

以上のように構成されたレーザ加工装置1によるレーザ加工方法の概要について説明する。まず、ステージ2上に加工対象物Sを載置し、ステージ2を移動させて加工対象物Sの内部に加工用レーザ光L1の集光点Pを合わせる。このステージ2の初期位置は、加工対象物Sの厚さや屈折率、加工用対物レンズ42の開口数等に基づいて決定される。

【0045】

続いて、レーザヘッド13から加工用レーザ光L1を出射すると共に、レーザダイオード44から測距用レーザ光L2を出射し、加工用対物レンズ42により集光された加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2が加工対象物Sの所望のライン（切断予定ライン）上をスキャンするようにステージ2を移動させる。このとき、受光部45により測距用レーザ光L2の反射光が検出され、加工用レーザ光L1の集光点Pの位置が加工対象物Sの表面S1から常に一定の深さとなるようにアクチュエータ43が制御装置7によってフィードバック制御されて、加工用対物レンズ42の位置が軸線 β 方向に微調整される。

【0046】

従って、例えば加工対象物Sの表面S1に面振れがあっても、表面S1から一定の深さの位置に多光子吸収による改質領域Rを形成することができる。このように平板状の加工対象物Sの内部にライン状の改質領域Rを形成すると、そのライン状の改質領域Rが起点となって割れが発生し、ライン状の改質領域Rに沿って容易且つ高精度に加工対象物Sを切断することができる。

【0047】

本実施形態のレーザ加工装置1を用いるレーザ加工方法についてより具体的に説明する。このレーザ加工方法の説明では、レーザ加工装置1の動作も併せて説明する。本実施形態のレーザ加工方法は、ウェハ状の加工対象物Sに対する加工用対物レンズ42の初期位置を設定する準備工程と、加工用レーザ光L1を照射して改質領域を形成する加工工程とに分けることができるので、準備工程及び加工工程についてそれぞれ説明する。

【0048】

（準備工程） まず、ウェハ状の加工対象物Sに対する加工用対物レンズ42の初期位置を設定する準備工程について説明する。

【0049】

図3は加工対象物Sの平面図である。加工対象物Sにはn本の切断予定ライン $C_1 \sim C_n$ が設定されており、この切断予定ライン $C_1 \sim C_n$ それぞれで順番にレーザ加工を行う。まず、最初の切断予定ライン C_1 上の一点 Q_1 において加工対象物Sの内部の所定の位置に集光点が合うようにステージ2（図1参照）の高さを調整する。その調整した高さを初期位置として、切断予定ライン C_1 の延長上の点 X_1 に加工用対物レンズ42が位置するようにステージ2を移動させる。

【0050】

より詳細に図4（A）～図4（C）を参照しながら説明する。図4（A）～図4（C）は、図3のII-II断面を示す図である。尚、理解を容易にするために図4（A）～図4（C）においては断面を示すハッチングを省略する。図4（A）に示すように、加工対象物Sはダイシングフィルム2aを介してステージ2に吸着されて固定されている。ダイシングフィルム2aはダイシングリング（図示しない）で固定されている。

【0051】

図4（A）に示すように、加工対象物2の切断予定ライン C_1 上の一点 Q_1 に対応する位置に加工用対物レンズ42が配置されるようにステージ2が移動する。加工用対物レンズ42を保持しているアクチュエータ43は最も縮んだ状態から $25\mu\text{m}$ 伸びた状態になる。この伸び量 $25\mu\text{m}$ は、アクチュエータ43の最大伸び量 $50\mu\text{m}$ の半分の量として設定されている。この状態で観察用可視光の反射光のピントが合うようにステージ2を上下させる。尚、ステージ2の上下動による誤差が大きい場合は、まずアクチュエータ43を所望の位置まで動かしてその時の非点収差信号を記憶したら、いったんアクチュエータ43を元の位置まで戻し、ステージ2を（大雑把に）移動させて、アクチュエータ43を先ほど記憶した非点収差信号と合う位置に微調整させると良い。

【0052】

続いて、図4（B）に示すように、図4（A）の状態からステージ2が更に所定の距離（以下、加工高さ）上昇して、加工対象物Sの表面S1と加工用対物レンズ42との距離が図4（A）における距離から加工高さ分だけ近づくように設定される。ここで、可視域のピント位置とレーザ光の集光位置とが一致するものとすれば、加工用レーザ光L1は、加工対象物Sの内部であって、その表面S1から加工高さと加工対象物Sのレーザ波長における屈折率との積の値に相当する位置に集光されることになる。例えば、加工対象物Sがシリコンウェハであってその屈折率が3.6（波長 $1.06\mu\text{m}$ ）であり、加工高さが $10\mu\text{m}$ であれば、 $3.6 \times 10 = 36\mu\text{m}$ の位置に集光されることになる。図4（B）に示す状態で測距用レーザ光L2の反射光から非点収差信号を得て、この非点収差信号の値を基準値とする。

【0053】

図4（B）に示す状態からそのままステージ2を移動させて、加工用対物レンズ42が切断予定ライン C_1 の延長上の点 X_1 に至った段階で図4（C）に示すように待機状態となる。図4（B）及び図4（C）に示す、鉛直方向における加工対象物Sに対する加工用対物レンズ42の位置が初期位置となる。

【0054】

この準備工程におけるレーザ加工装置1の動作について図5に示すフローチャートを参照しながら説明する。制御装置7のステージ制御部702がステージ2に対して加工用対物レンズ42が C_1 上の一点 Q_1 に移動するように制御信号を出力する（ステップS01）。この制御信号の出力に応じてステージ2が移動する。更に制御装置7のアクチュエータ制御部703がアクチュエータ43に対して $25\mu\text{m}$ 伸びるように制御信号を出力する（ステップS02）。この制御信号の出力に応じてアクチュエータ43は $25\mu\text{m}$ 伸びる。この状態で可視観察光によってピントが合うようにステージ2を上下させ、その可視観察光のピントが合う位置を設定し、加工用対物レンズ42及び加工対象物Sは図4（A）で説明した状態になる（ステップS03）。

【0055】

制御装置 7 のステージ移動制御部 702 がステージ 2 に対して所定の加工高さ（例えば、 $10\ \mu\text{m}$ ）上昇するように制御信号を出力する（ステップ S04）。この制御信号の出力に応じてステージは $10\ \mu\text{m}$ 上昇し、加工用対物レンズ 42 及び加工対象物 S は図 4（B）で説明した状態になる。

【0056】

制御装置 7 のレーザ出射制御部 701 はレーザダイオード 44 に対して測距用レーザ光 L2 を出射するように制御信号を出力する（ステップ S05）。この制御信号の出力に応じてレーザダイオード 44 は測距用レーザ光 L2 を出射し、加工対象物 S の表面 S1 で反射された反射光は受光部 45 の 4 分割位置検出素子が受光する。この受光に応じて出力される信号は集光点演算部 704 及び端部判断部 705 に出力される。

10

【0057】

集光点演算部 704 はこの状態における非点収差信号の値を基準値として保持する（ステップ S06）。続いて、ステージ移動制御部 702 からステージ 2 に対して、加工用対物レンズ 42 が加工対象物 S の切断予定ライン C1 の延長上の X1 に対応する位置まで移動するように制御信号を出力する（ステップ S07）。この制御信号の出力に応じてステージ 2 は移動し、加工用対物レンズ 42 が加工対象物 S の切断予定ライン C1 の延長上の X1 に対応する位置まで移動すると、ステージ移動制御部 702 からステージ 2 に対して移動を停止するように制御信号を出力する（ステップ S08）。

【0058】

（加工工程） 引き続いて、加工用レーザ光 L1 及び測距用レーザ光 L2 を照射して改質領域を形成する加工工程について説明する。

20

【0059】

図 4（A）～図 4（C）と同様に図 3 の II-II 断面を示す図 6（A）～図 6（C）を参照しながら説明する。尚、理解を容易にするために図 6（A）～図 6（C）においては断面を示すハッチングを省略する。図 6（A）は図 4（C）の状態から引き続いて、切断予定ライン C1 において加工用対物レンズ 42 が改質領域の形成を開始した状態を示している。アクチュエータ 43 は図 4（C）で設定された伸び量で固定されている。図 4（C）から図 6（A）の状態に差し掛かる前に加工用レーザ光 L1 及び測距用レーザ光 L2 が照射される。加工用対物レンズ 42 が図中矢印 E の方向に移動するようにステージ 2 が移動する。

30

【0060】

測距用レーザ光 L2 はダイシングフィルム 2a においては反射率が低く反射される全光量は少ないが、加工対象物 S においては反射される全光量が增大する。すなわち、受光部 45（図 1 参照）の 4 分割位置検出素子が検出する測距用レーザ光 L2 の反射光の全光量が多くなるので、反射光の全光量が予め定められた閾値を超えた場合に加工対象物 S の切断予定ライン C1 と加工用対物レンズ 42 が交差する位置にあるものと判断できる。従って、受光部 45（図 1 参照）の 4 分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも大きくなった場合に、加工用対物レンズ 42 が切断予定ライン C1 の一端に相当する位置にあるものとして（図 7（A）に相当する状態になってもものとして）、その時点でのアクチュエータ 43 の伸び量の保持を解除して、所定の間隔ごと（例えば、各サンプリングポイントごと）に非点収差信号がステップ S06 で保持した基準値となるようにアクチュエータ 43 の伸び量制御を開始する。従って、加工用対物レンズ 42 が図 6（A）中の矢印 E 方向に移動すると図 6（B）に示す状態になる。図 6（B）に示すように、区間 F（一端部）においては一定の加工高さで改質領域 R が形成されることになる。この区間 F において一定の加工高さで改質領域 R が形成されると、その後、加工用対物レンズ 42 は切断予定ライン C1 に沿って移動し、加工用レーザ光 L1 によって改質領域 R を形成する。この間、測距用レーザ光 L2 の反射光から得られる非点収差信号が上記基準値となるようにアクチュエータ 43 が調整される。

40

【0061】

図 6（B）に示す状態から更に加工用対物レンズ 42 が図 6（A）中矢印 E の方向に移

50

動すると、図6 (C) に示すように加工用対物レンズ42は切断予定ラインC₁の他端に差し掛かる。加工用対物レンズ42が加工対象物Sから外れた位置に至ると、図6 (A) を参照しながら説明したのとは逆の状態となり、受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する測距用レーザ光L2の反射光の全光量が少なくなる。従って、受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも小さくなった場合に、加工用対物レンズ42が切断予定ラインC₁の一端に相当する位置にあるものとして (図6 (C) に相当する状態になってものとして)、その時点でのアクチュエータの伸び量を保持する。アクチュエータ43の伸び量を保持したまま加工用対物レンズ42が図6 (C) 中のX₂の位置に至るようにステージ2が移動し、次の切断予定ラインC₂の加工に備える (移行ステップ)。

10

【0062】

尚、上述の説明で、加工用対物レンズ42が切断予定ラインC₁の一端に相当する位置 (図6 (A)) に到達したこと検出するために、受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも大きくなったことに基づいたが、これに限られず他の基準を適用することもできる。その一例を図7 (A) ~図7 (B) を参照しながら説明する。図7 (A) は、縦軸に受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する全光量を取り、横軸に時間をとって、図6 (A) ~図6 (B) に相当する受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する全光量の変化を記録した図である。この場合には上述の通り、予め定められた閾値T₁を上回った時点で加工用対物レンズ42が切断予定ラインC₁の一端に相当する位置に到達したと判断している。

20

【0063】

図7 (A) のグラフから、所定の間隔ごと (例えば、各サンプリングポイントごと) に、後の全光量の値から前の全光量の値を差し引いた差分の変化量を算出し、縦軸に変化量をとって横軸に時間をとった図を図7 (B) に示す。この場合に、正のピークが現れている部分は、全光量の変化が最も大きな点、すなわち加工対象物Sのエッジ中央付近に相当する部分であると考えられる。そこで、図7 (A) に示す全光量が閾値T₁となった後であって、図7 (B) に示す差分のピークの変化が収まった後にアクチュエータ43の追従を開始することもできる。

【0064】

また、上述の説明で、加工用対物レンズ42が切断予定ラインC₁の他端に相当する位置 (図6 (C)) にあること検出するために、受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも小さくなったことに基づいたが、これに限られず他の基準を適用することもできる。その一例を図8 (A) ~図8 (B) を参照しながら説明する。図8 (A) は、縦軸に受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する全光量を取り、横軸に時間をとって、図6 (B) ~図6 (C) の状態における受光部45 (図1参照) の4分割位置検出素子が検出する全光量の変化を記録した図である。この場合には上述の通り、予め定められた閾値T₁を下回った時点で加工用対物レンズ42が切断予定ラインC₁の一端に相当する位置にあると判断している。

30

【0065】

図8 (A) のグラフから、所定の間隔ごと (例えば、各サンプリングポイントそれぞれ) に、後の全光量の値から前の全光量の値を差し引いた差分の変化量を算出し、縦軸に変化量をとって横軸に時間をとった図を図8 (B) に示す。この場合に、負のピークが現れている部分は、全光量の変化が最も大きな点、すなわち加工対象物Sのエッジ (外縁) 中央付近に相当する部分であると考えられる。そこで、この部分に相当するアクチュエータ43の伸縮量で固定することもできる。

40

【0066】

また、アクチュエータ43の伸縮量は、図8 (A) の区間G (全光量が閾値T₁を下回った時点でアクチュエータ43の伸縮量を固定した場合) 又は区間H (全光量の変化量が負のピークとなった時点でアクチュエータ43の伸縮量を固定した場合) の間において循環メモリ706 (図2参照) に格納されている。この循環メモリ706は64チャンネル分

50

の循環メモリであるから、例えば最初の5チャンネル分のメモリに格納されているアクチュエータ43の伸縮量の平均値を求め、この平均値となるようにアクチュエータ43の伸縮量を固定してもよい。この場合には、図8(A)中の区間G又は区間Hの最初の四分の一の部分に対応する加工対象物Sの主面高さに対応した位置にアクチュエータ43が固定されることになり、次の切断予定ラインC₂の初期位置として設定するのにより好適である。

【0067】

この加工工程におけるレーザ加工装置1の動作について図9に示すフローチャートを参照しながら説明する。尚、レーザ加工装置1のステージ2及び加工用対物レンズ42は、図4(C)を参照しながら説明した状態にあるものとする。

【0068】

制御部7のレーザ出射制御部701が、レーザヘッド13に対して加工用レーザ光L1を出射するように、レーザダイオード44に対しては測距用レーザ光L2を出射するように、それぞれ制御信号を出力する(ステップS11)。この制御信号の出力に応じて加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2がそれぞれ出射される。

【0069】

制御装置7のステージ制御部702がステージ2に対して加工用対物レンズ42が図6(A)の矢印E方向に移動するように制御信号を出力する(ステップS12)。この制御信号の出力に応じてステージ2は移動を開始する。

【0070】

制御装置7の端部判断部705は、受光部45から出力される信号に基づいて、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に差し掛かったかどうかを判断する(ステップS13)。端部判断部705は、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に差し掛かったと判断すると、アクチュエータ制御部703に対してアクチュエータ43の伸縮を開始して、非点収差信号が保持している基準値に等しくなるように、制御信号を出力するように指示する指示信号を出力する。アクチュエータ制御部703はアクチュエータ43に伸縮を開始して、非点収差信号が保持している基準値に等しくなるための、制御信号を出力する(ステップS14)。この制御信号の出力に応じてアクチュエータ43は加工対象物Sの表面S1の変位に応じて伸縮して、測距用レーザ光L2の集光点位置が基準位置となるように加工用対物レンズ42を保持する。従って、加工対象物Sの表面S1の変位に応じた位置に改質領域Rが形成される(図6(B)参照)。

【0071】

端部判断部705は、受光部45から出力される信号に基づいて、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの他端に差し掛かったかどうかを判断する(ステップS15)。端部判断部705は、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に差し掛かったと判断すると、アクチュエータ制御部703に対してアクチュエータ43の伸縮を停止する制御信号を出力するように指示する指示信号を出力する。この指示信号の出力に応じて、アクチュエータ制御部703はアクチュエータ43に対して伸縮を停止して保持状態とするための制御信号を出力する(ステップS16)。この制御信号の出力に応じてアクチュエータ43は伸縮を停止する。ステージ移動制御部702は、加工用対物レンズ42が切断予定ラインC1の延長線上の点X₂に差し掛かると、ステージ2に対して移動を停止するように制御信号を出力する(ステップS17)。その後、循環メモリ706に格納されているアクチュエータ43の伸縮量の内、最初の5チャンネル分のメモリに格納されているアクチュエータ43の伸縮量の平均値を算出し、この平均値となるようにアクチュエータ43の伸縮量を固定する(ステップS18)。

【0072】

上述した準備工程及び加工工程は、加工対象物Sの全ての切断予定ラインC₁~C_nそれぞれで行われ、切断予定ラインC₁~C_nそれぞれに沿って改質領域Rが形成される。

【0073】

本実施形態では、初期位置に加工用対物レンズ42を保持して加工用レーザ光L1を照

射してレーザ加工を開始するので、加工対象物 S の端部の形状変動の影響を極力排除することができる。

【0074】

加工用対物レンズ 4 2 を初期位置に保持した状態で加工対象物 S の端部に改質領域を形成した後に加工用対物レンズ 4 2 を保持した状態を解除して、加工用対物レンズ 4 2 と加工対象物 S との距離が一定となるように調整しながら改質領域を形成するので、加工対象物 S の表面 S 1 から一定の距離隔てた位置に改質領域を安定して形成できる。

【0075】

改質領域を形成した後に加工用対物レンズ 4 2 を加工対象物 S の主面 S 1 に向かう方向に駆動しないように保持するので、次の切断予定ラインの加工に移行する際に円滑な移行が可能となる。

【0076】

加工用対物レンズ 4 2 を駆動しないように保持した時点から所定時間前に記憶したアクチュエータ 4 3 の伸縮量に基づいた位置となるように、次の切段予定ラインの準備ステップにおいて加工用対物レンズ 4 2 の主面 S 1 に対する位置を設定するので、次の切断予定ラインにおいても加工対象物 S の端部の形状変動による影響を極力排除できる。

【0077】

切断予定ラインに沿って改質領域を安定して形成することができるので、改質領域を形成した後にダイシングフィルム 2 a の拡張等により加工対象物としてのウエハをチップ状に切断・分離する工程において、良好な切断品質で且つ大量のウエハを切断する場合でも常に安定してウエハの切断を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図 1】 本実施形態であるレーザ加工装置の構成を示す図である。

【図 2】 本実施形態のレーザ加工装置が備える制御装置の機能的な構成を示す図である。

【図 3】 本実施形態を説明するための加工対象物を示す図である。

【図 4】 本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

【図 5】 本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

【図 6】 本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

【図 7】 本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

【図 8】 本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

【図 9】 本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

【図 10】 本発明に至る検討内容を説明するための図である。

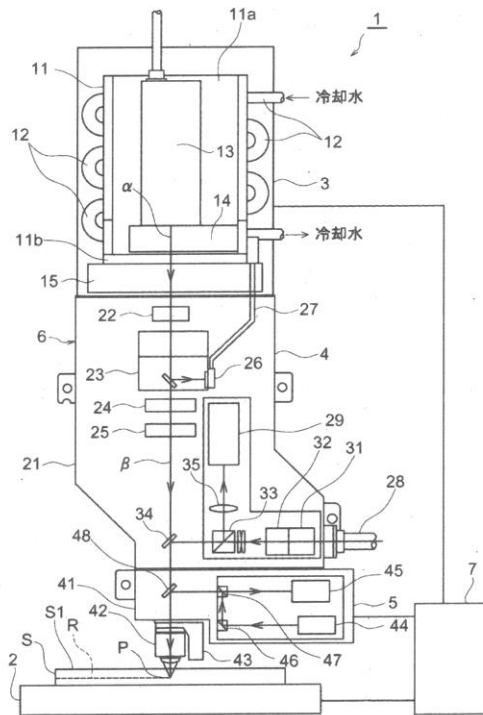
【図 11】 本発明に至る検討内容を説明するための図である。

【符号の説明】

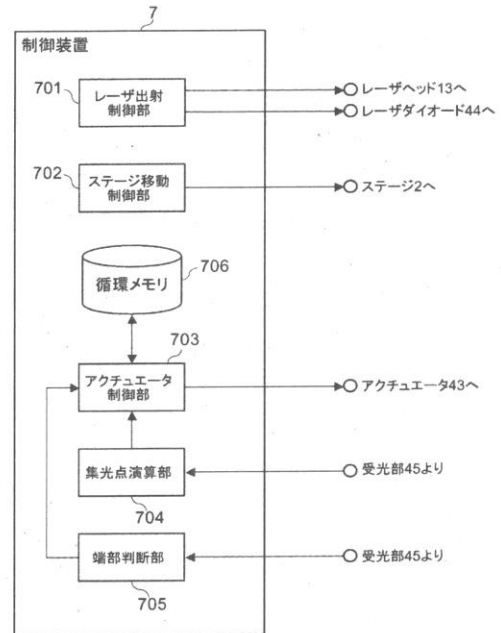
【0079】

1 …レーザ加工装置、2 …ステージ、3 …レーザヘッドユニット、4 …光学系本体部、5 …対物レンズユニット、6 …レーザ出射装置、7 …制御装置、S …加工対象物、R …改質領域、4 2 …加工用対物レンズ、4 3 …アクチュエータ、1 3 …レーザヘッド、4 4 …レーザダイオード、4 5 …受光部。

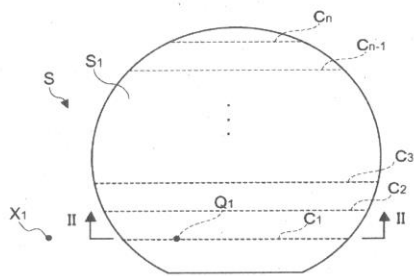
【図 1】



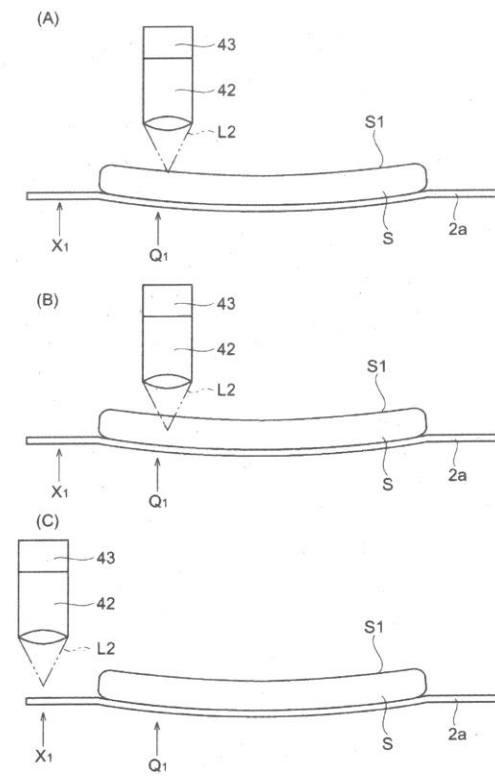
【図 2】



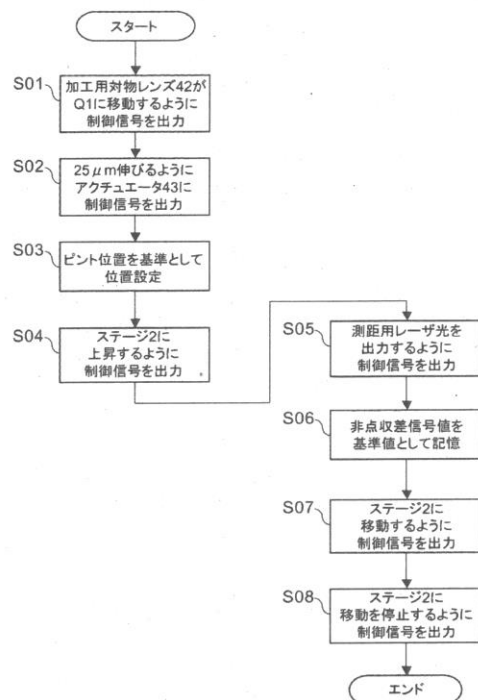
【図 3】



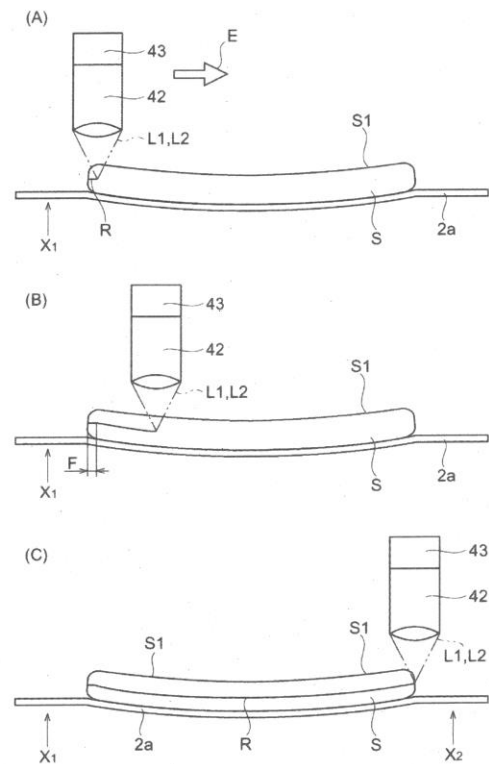
【図 4】



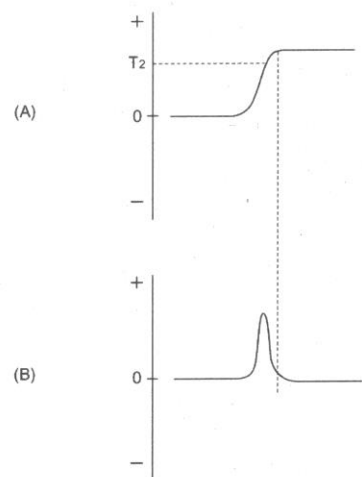
【図 5】



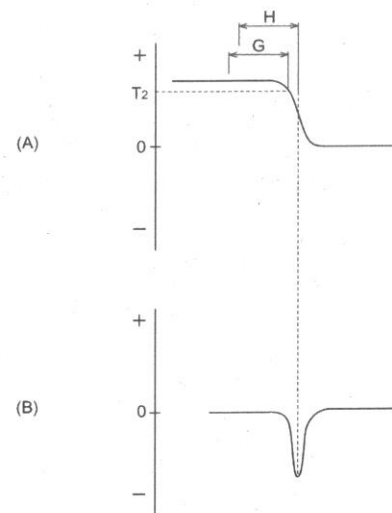
【図 6】



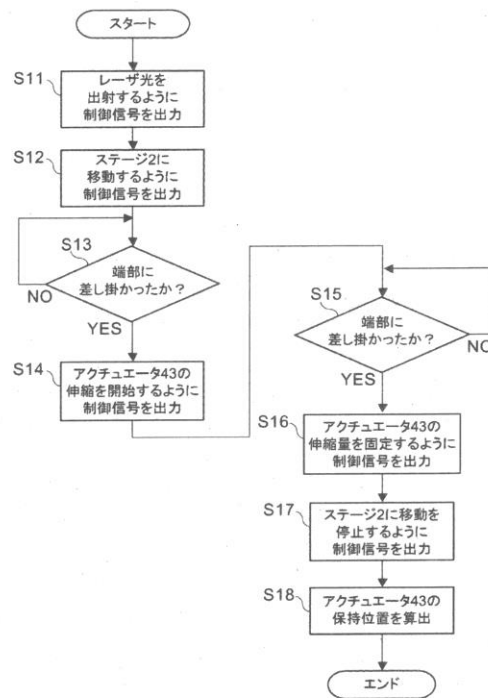
【図 7】



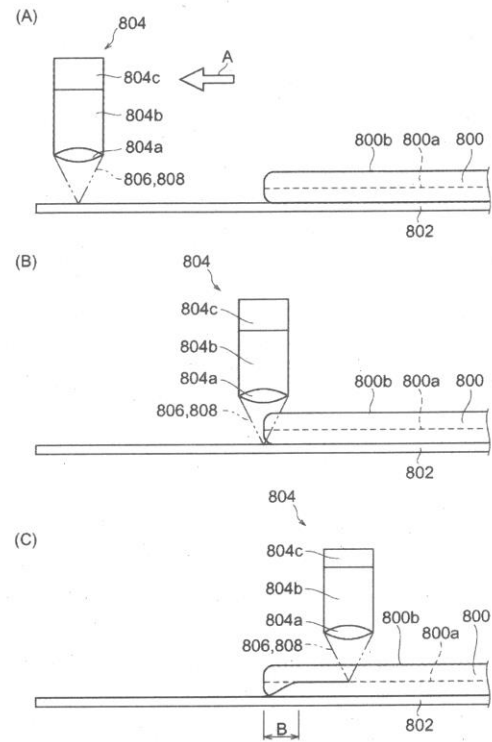
【図 8】



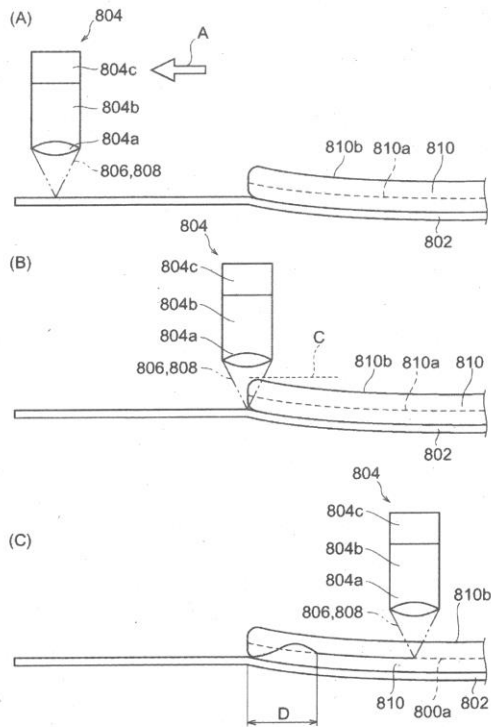
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 楠 昌好
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 鈴木 達也
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 福満 憲志
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 福世 文嗣
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 青木 正博

- (56)参考文献 国際公開第02/22301 (WO, A1)
特開平04-244910 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/00-26/42
G02B 21/00
H01L 21/301

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5122611号

(P5122611)

(45) 発行日 平成25年1月16日(2013. 1. 16)

(24) 登録日 平成24年11月2日(2012. 11. 2)

(51) Int. Cl.

F I

H 0 1 L 21/301 (2006. 01)

H 0 1 L 21/78

B

B 2 3 K 26/00 (2006. 01)

H 0 1 L 21/78

Q

B 2 3 K 26/40 (2006. 01)

B 2 3 K 26/00

G

B 2 3 K 26/38 (2006. 01)

B 2 3 K 26/40

B 2 3 K 26/06 (2006. 01)

B 2 3 K 26/38

3 2 0

請求項の数 3 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2010-167359 (P2010-167359)
 (22) 出願日 平成22年7月26日(2010. 7. 26)
 (62) 分割の表示 特願2004-212059 (P2004-212059)
 の分割
 原出願日 平成16年7月20日(2004. 7. 20)
 (65) 公開番号 特開2010-267995 (P2010-267995A)
 (43) 公開日 平成22年11月25日(2010. 11. 25)
 審査請求日 平成22年7月26日(2010. 7. 26)
 (31) 優先権主張番号 特願2003-277039 (P2003-277039)
 (32) 優先日 平成15年7月18日(2003. 7. 18)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100124291
 弁理士 石田 悟
 (74) 代理人 100140442
 弁理士 柴山 健一
 (72) 発明者 福満 憲志
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 切断方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコンウェハの内部に集光点を合わせて、前記集光点のピークパワー密度が 1×10^4 (W/cm^2) 以上の条件でパルスレーザ光を照射し、前記パルスレーザ光を前記シリコンウェハの切断予定ラインに沿って相対的に移動させることにより、前記切断予定ラインに沿って前記シリコンウェハの内部に溶融処理領域を形成すると共に、前記シリコンウェハの内部であって前記溶融処理領域を挟んで前記パルスレーザ光の入射側とは反対側に、前記切断予定ラインに沿って相互に離隔するように複数の微小空洞を形成する工程と、前記溶融処理領域と前記微小空洞とからなる改質領域を起点として割れを発生させ、前記切断予定ラインに沿って前記シリコンウェハを切断する工程と、を備え、前記パルスレーザ光のパルスピッチは $2.00 \mu m \sim 7.00 \mu m$ である、切断方法。

【請求項 2】

前記パルスレーザ光のパルス幅は $100 ns \sim 500 ns$ である、請求項 1 に記載の切断方法。

【請求項 3】

前記微小空洞のできる位置の深さは、 $45 \mu m \sim 90 \mu m$ である、請求項 1 又は 2 に記載の切断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

本発明は、切断方法に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザ加工によって加工対象物を切断する方法として下記非特許文献1に記載のものがあ
る。この非特許文献1に記載のレーザ加工方法はシリコンウェハを切断するものであ
って、シリコンが透過する $1\mu\text{m}$ 近辺の波長を使用し、ウェハ内部で集光して改質層を連続
的に形成し、それをきっかけとして切断する方法である。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】荒井一尚、「半導体ウェハにおけるレーザダイシング加工」、砥粒加工
学会誌、Vol. 47、No. 5、2003 MAY、229-231

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のレーザ加工方法で加工したシリコンウェハを切断する場合にはウェハを曲げる方
向に力を加えて内部亀裂を進展させる必要がある。従って、シリコンウェハの裏面に貼り
付けたテープをシリコンウェハに並行に引き離して切断する方法（エキスパンド法）を採
用すると歩留まりが悪くなる。

【0005】

そこで本発明では、シリコンウェハを容易に切断できる切断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】

【0006】

本発明の切断方法は、シリコンウェハの内部に集光点を合わせて、集光点のピークパワ
ー密度が $1 \times 10^3 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上の条件でパルスレーザ光を照射し、パルスレーザ光
をシリコンウェハの切断予定ラインに沿って相対的に移動させることにより、切断予定ラ
インに沿ってシリコンウェハの内部に溶融処理領域を形成すると共に、シリコンウェハの
内部であって溶融処理領域を挟んでパルスレーザ光の入射側とは反対側に、切断予定ライ
ンに沿って相互に離隔するように複数の微小空洞を形成する工程と、溶融処理領域と微小
空洞とからなる改質領域を起点として割れを発生させ、切断予定ラインに沿ってシリコン
ウェハを切断する工程と、を備え、パルスレーザ光のパルスピッチは $2.00\mu\text{m} \sim 7.00\mu\text{m}$
である。ここで、微小空洞のできる位置の深さは、 $45\mu\text{m} \sim 90\mu\text{m}$ であるこ
とが好ましい。

【0007】

この切断方法によれば、シリコンウェハにパルスレーザ光を照射して、溶融処理領域と
微小空洞とをシリコンウェハ内部に形成できる。このとき、パルスピッチが $2.00 \sim 7.00\mu\text{m}$
のパルスレーザ光をシリコンウェハに照射するので、的確に微小空洞を形成で
きる。そして、溶融処理領域と微小空洞とからなる改質領域を起点として、切断予定ライ
ンに沿ってシリコンウェハを容易に切断できる。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、シリコンウェハを容易に切断することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本実施形態のレーザ加工方法によってレーザ加工を行う加工対象物の平面図であ
る。

【図2】図1に示す加工対象物のI-I断面図である。

【図3】本実施形態のレーザ加工方法によってレーザ加工を行った加工対象物の平面図で
ある。

【図４】図３に示す加工対象物のⅠⅤ－ⅠⅤ断面図である。

【図５】図３に示す加工対象物のⅤ－Ⅴ断面図である。

【図６】本実施形態のレーザ加工方法によって切断された加工対象物の平面図である。

【図７】本実施形態のレーザ加工方法に使用できるレーザ加工装置の概略構成図である。

【図８】本実施形態のレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。

【図９】本実施形態のレーザ加工方法によって切断されたシリコンウェハの断面の写真を表した図である。

【図１０】本実施形態のレーザ加工方法によって切断されたシリコンウェハの断面の写真を表した図である。

【図１１】図９及び図１０に示す断面の全体を示す写真である。

【図１２】本実施形態のレーザ加工方法の条件を検討した図である。

【図１３】本実施形態のレーザ加工方法によって切断されたシリコンウェハの断面の写真を表した図である。

【図１４】本実施形態のレーザ加工方法によって切断されたシリコンウェハの断面の写真を表した図である。

【図１５】図１４の模式図である。

【図１６】本実施形態のレーザ加工方法によってレーザ加工を行った加工対象物の断面図である。

【図１７】本実施形態のレーザ加工方法によってレーザ加工を行った加工対象物の断面図である。

【図１８】本実施形態のレーザ加工方法によってレーザ加工を行った加工対象物の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１０】

本発明の知見は、例示のみのために示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解することができる。引き続いて、添付図面を参照しながら本発明を実施するための形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付して、重複する説明を省略する。

【００１１】

本実施形態のレーザ加工方法について説明する。本実施形態のレーザ加工方法は、多光子吸収により被処理部（溶融処理領域）を形成すると共に、その被処理部に対応する所定の位置にその周囲が実質的に結晶構造が変化していない微小空洞を形成している。多光子吸収はレーザ光の強度を非常に大きくした場合に発生する現象である。まず、多光子吸収について簡単に説明する。

【００１２】

材料の吸収のバンドギャップ E よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E$ の条件（ $n = 2, 3, 4, \dots$ である）で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度（ W/cm^2 ）で決まり、例えばピークパワー密度が 1×10^4 （ W/cm^2 ）以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、（集光点におけるレーザ光の１パルス当たりのエネルギー）÷（レーザ光のビームスポット断面積×パルス幅）により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度（ W/cm^2 ）で決まる。

【００１３】

このような多光子吸収を利用する本実施形態のレーザ加工方法について図１～図６を用いて説明する。図１はレーザ加工中の加工対象物１（半導体基板）の平面図であり、図２は図１に示す加工対象物１のⅠⅠ－ⅠⅠ線に沿った断面図であり、図３はレーザ加工後の加工対象物１の平面図であり、図４は図３に示す加工対象物１のⅠⅤ－ⅠⅤ線に沿った断面図であり、図５は図３に示す加工対象物１のⅤ－Ⅴ線に沿った断面図であり、図６は切

断された加工対象物 1 の平面図である。

【0014】

図 1 及び図 2 に示すように、加工対象物 1 の表面 3 には切断予定ライン 5 がある。切断予定ライン 5 は直線状に延びた仮想線である。本実施形態に係るレーザ加工方法は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物 1 の内部に集光点 F を合わせてレーザ光 L を加工対象物 1 に照射して被処理部 7 を形成する。なお、集光点とはレーザ光 L が集光した箇所のことである。

【0015】

レーザ光 L を切断予定ライン 5 に沿って（すなわち矢印 A 方向に沿って）相対的に所定のピッチ P で移動させることにより、集光点 F を切断予定ライン 5 に沿って移動させる。これにより、図 3～図 5 に示すように被処理部 7 及び微小空洞 8 からなる改質領域が切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の内部にのみ形成される。また、被処理部 7 及び微小空洞 8 は、図 5 に示すようにレーザ光 L を移動させた所定のピッチ P で形成される。このピッチ P はレーザ光 L のパルスピッチに相当する。加工対象物 1 の厚み B に対して、微小空洞 8 は加工深さ C の位置に形成される。図 5 に示すように、微小空洞 8 はレーザ光 L の照射方向からみて被処理部 7 とは反対側に形成される。図 5 においては、被処理部 7 と微小空洞 8 とは所定の間隔が空いているけれども、被処理部 7 と微小空洞 8 とが連続して形成される場合もある。本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物 1 がレーザ光 L を吸収することにより加工対象物 1 を発熱させて被処理部 7 を形成するのではない。加工対象物 1 にレーザ光 L を透過させ加工対象物 1 の内部に多光子吸収を発生させて被処理部 7 を形成している。よって、加工対象物 1 の表面 3 ではレーザ光 L がほとんど吸収されない。10
20
30
40

【0016】

加工対象物 1 の切断においては上述のように加工対象物 1 に被処理部 7 及び微小空洞 8 を形成して加工処理物とし、例えば加工対象物 1 の裏面にテープを貼り付けて、そのテープを加工対象物 1 の切断予定ライン 5 に垂直な方向に引き離して切断することができる（図 6 参照）。また、切断する箇所に起点があると加工対象物 1 はその起点から割れるので、図 6 に示すように比較的小さな力で加工対象物 1 を切断することができる。よって、加工対象物 1 の表面 3 に不必要な割れ、すなわち切断予定ラインを大きく外れる割れ、を発生させることなく加工対象物 1 の切断が可能となる。

【0017】

本実施形態において多光子吸収により形成される被処理部の一つの例として、溶融処理領域がある。この場合には、レーザ光を加工対象物（例えばシリコンウェハのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^7 (W/cm²) 以上でかつパルス幅が 1 μs 以下の条件で照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に溶融処理領域が形成される。

【0018】

溶融処理領域とは一旦溶融後再固化した領域、溶融状態中の領域及び溶融から再固化する状態中の領域のうち少なくともいずれか一つを意味する。また、溶融処理領域は相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、溶融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。

【0019】

つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、溶融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。なお、電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{11} (W/cm²) である。パルス幅は例えば 1 ns ～ 200 ns が好ましい。

【0020】

一方、本実施形態において形成される微小空洞は、その周囲が実質的に結晶構造が変化していないものである。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合には、微小空洞の周囲はシリコン単結晶構造のままの部分が多い。

【0021】

引き続いて、本実施形態のレーザ加工方法の具体例について説明する。図7に本発明の実施形態であるレーザ加工方法に用いるレーザ加工装置100を示す。図7に示すレーザ加工装置100は、レーザ光Lを発生するレーザ光源101と、レーザ光Lの出力やパルス幅等を調節するためにレーザ光源101を制御するレーザ光源制御部102と、レーザ光Lの反射機能を有しかつレーザ光Lの光軸の向きを90度変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、ダイクロイックミラー103で反射されたレーザ光Lを集光する集光用レンズ105と、集光用レンズ105で集光されたレーザ光Lが照射される加工対象物1が載置される載置台107と、載置台107をX軸方向に移動させるためのX軸ステージ109（制御手段）と、載置台107をX軸方向に直交するY軸方向に移動させるためのY軸ステージ111（制御手段）と、載置台107をX軸及びY軸方向に直交するZ軸方向に移動させるためのZ軸ステージ113（制御手段）と、これら三つのステージ109、111、113の移動を制御するステージ制御部115（制御手段）と、を備える。また、図示はしていないが、レーザ光源101と集光用レンズ105との間には、レーザ光のガウシアン分布を広げるための光学系が配置されている。本実施形態の場合は加工対象物1はシリコンウェハであるから、加工対象物1の裏面にはエキスパンドテープ106が貼り付けられている。

【0022】

Z軸方向は加工対象物1の表面3と直交する方向なので、加工対象物1に入射するレーザ光Lの焦点深度の方向となる。よって、Z軸ステージ113をZ軸方向に移動させることにより、加工対象物1の内部にレーザ光Lの集光点Fを合わせることができる。また、この集光点FのX（Y）軸方向の移動は、加工対象物1をX（Y）軸ステージ109（111）によりX（Y）軸方向に移動させることにより行う。X（Y）軸ステージ109（111）が移動手段の一例となる。

【0023】

レーザ光源101はパルスレーザ光を発生するNd：YAGレーザである。レーザ光源101に用いることができるレーザとして、その他、Nd：YVO₄レーザ、Nd：YLFレーザやチタンサファイアレーザがある。被処理部が溶融処理領域であるものを形成する場合、Nd：YAGレーザ、Nd：YVO₄レーザ、Nd：YLFレーザを用いるのが好適である。改質領域が屈折率変化領域であるものを形成する場合、チタンサファイアレーザを用いるのが好適である。

【0024】

加工対象物1の加工にパルスレーザ光を用いているが、多光子吸収を起こさせることができるなら連続波レーザ光でもよい。なお、本発明においてレーザ光はレーザビームを含む意味である。集光用レンズ105は集光手段の一例である。Z軸ステージ113はレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせる手段の一例である。集光用レンズ105をZ軸方向に移動させることによっても、レーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせることができる。

【0025】

レーザ加工装置100はさらに、載置台107に載置された加工対象物1を可視光線により照明するために可視光線を発生する観察用光源117と、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された可視光用のビームスプリッタ119と、を備える。ビームスプリッタ119と集光用レンズ105との間にダイクロイックミラー103が配置されている。ビームスプリッタ119は、可視光線の約半分を反射し残りの半分を透過する機能を有しかつ可視光線の光軸の向きを90度変えるように配置されている。観察用光源117から発生した可視光線はビームスプリッタ119で約半分が反射され、この反射された可視光線がダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105

を透過し、加工対象物1の切断予定ライン5等を含む表面3を照明する。

【0026】

レーザ加工装置100はさらに、ビームスプリッタ119、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された撮像素子121及び結像レンズ123を備える。撮像素子121としては例えばCCD(charge-coupled device)カメラがある。切断予定ライン5等を含む表面3を照明した可視光線の反射光は、集光用レンズ105、ダイクロイックミラー103、ビームスプリッタ119を透過し、結像レンズ123で結像されて撮像素子121で撮像され、撮像データとなる。

【0027】

レーザ加工装置100はさらに、撮像素子121から出力された撮像データが入力される撮像データ処理部125と、レーザ加工装置100全体を制御する全体制御部127と、モニタ129と、を備える。撮像データ処理部125は、撮像データを基にして観察用光源117で発生した可視光の焦点が表面3上に合わせるための焦点データを演算する。この焦点データを基にしてステージ制御部115がZ軸ステージ113を移動制御することにより、可視光の焦点が表面3に合うようにする。よって、撮像データ処理部125はオートフォーカスユニットとして機能する。また、撮像データ処理部125は、撮像データを基にして表面3の拡大画像等の画像データを演算する。この画像データは全体制御部127に送られ、全体制御部で各種処理がなされ、モニタ129に送られる。これにより、モニタ129に拡大画像等が表示される。

【0028】

全体制御部127には、ステージ制御部115からのデータ、撮像データ処理部125からの画像データ等が入力し、これらのデータも基にしてレーザ光源制御部102、観察用光源117及びステージ制御部115を制御することにより、レーザ加工装置100全体を制御する。よって、全体制御部127はコンピュータユニットとして機能する。

【0029】

引き続いて、図7及び図8を用いて、本実施形態に係るレーザ加工方法を具体的に説明する。図8は、このレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。加工対象物1はシリコンウェハである。

【0030】

まず、加工対象物1の光吸収特性を図示しない分光光度計等により測定する。この測定結果に基づいて、加工対象物1に対して透明な波長又は吸収の少ない波長のレーザ光Lを発生するレーザ光源101を選定する(S101)。次に、加工対象物1の厚さを測定する。厚さの測定結果及び加工対象物1の屈折率を基にして、加工対象物1のZ軸方向の移動量を決定する(S103)。これは、レーザ光Lの集光点Fが加工対象物1の内部に位置させるために、加工対象物1の表面3に位置するレーザ光Lの集光点を基準とした加工対象物1のZ軸方向の移動量である。この移動量が全体制御部127に入力される。

【0031】

加工対象物1をレーザ加工装置100の載置台107に載置する。そして、観察用光源117から可視光を発生させて加工対象物1を照明する(S105)。照明された切断予定ライン5を含む加工対象物1の表面3を撮像素子121により撮像する。この撮像データは撮像データ処理部125に送られる。この撮像データに基づいて撮像データ処理部125は観察用光源117の可視光の焦点が表面3に位置するような焦点データを演算する(S107)。

【0032】

この焦点データはステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115は、この焦点データを基にしてZ軸ステージ113をZ軸方向の移動させる(S109)。これにより、観察用光源117の可視光の焦点が表面3に位置する。なお、撮像データ処理部125は撮像データに基づいて、切断予定ライン5を含む加工対象物1の表面3の拡大画像データを演算する。この拡大画像データは全体制御部127を介してモニタ129に送られ、これによりモニタ129に切断予定ライン5付近の拡大画像が表示される。

【0033】

全体制御部127には予めステップS103で決定された移動量データが入力されており、この移動量データがステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115はこの移動量データに基づいて、レーザ光Lの集光点Fが加工対象物1の内部となる位置に、Z軸ステージ113により加工対象物1をZ軸方向に移動させる(S111)。

【0034】

続いて、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5を設定する。切断予定ライン5の設定は、加工対象物1を所望の位置で切断するためのレーザスキャン位置を設定するものである。切断予定ライン5の設定は、設計データ等で予め判っているダイシングストリート(切断予定ライン)の位置情報を利用しても良いし、表面を観察したり表面情報を計測したり等して設定しても良い。つまり、切断予定ラインの設定とは、加工対象物の所望の位置にレーザ光を照射するようにレーザ加工装置が制御されるようにすることである。次に、レーザ光源101からレーザ光Lを発生させて、レーザ光Lを加工対象物1の表面3の切断予定ライン5に照射する。レーザ光Lの集光点Fは加工対象物1の内部に位置しているので、改質領域としての溶融処理領域は加工対象物1の内部にのみ形成される。そして、切断予定ライン5に沿うようにX軸ステージ109やY軸ステージ111を所定のピッチPで移動させて、溶融処理領域を所定のピッチPで切断予定ライン5に沿うように加工対象物1の内部に形成する。このように溶融処理領域を形成すると、それぞれに対応するように微小空洞が形成される(S113)。そして、加工対象物1の裏面に貼られているエキスパンドテープ106をウェハの周縁方向に拡張して、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って分離して切断する(S115)。これにより、加工対象物1をシリコンチップ(加工生産物)に分割する。

【0035】

なお、半導体基板であるシリコンウェハは、切断予定ラインに沿って形成される溶融処理領域と微小空洞からなる改質領域でもって形成される切断予定部を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。なお、切断予定部からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合には、切断予定部を形成する改質領域の溶融処理領域が溶融している状態から割れが成長する場合や、切断予定部を形成する溶融処理領域が溶融している状態から再固化する際に割れが成長する場合や、溶融処理領域と微小空洞により切断面に生じる応力分布による歪により割れが成長する場合のいずれもある。ただし、どの場合も溶融処理領域や微小空洞はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、内部にのみ溶融処理領域が形成されている。半導体基板の内部に溶融処理領域と微小空洞でもって切断予定部を形成すると、切断時、切断予定部ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、切断制御が容易となる。また、微小空洞を形成することにより、溶融処理領域や溶融処理領域と微小空洞との間に応力分布を生じることにより、より容易に切断することができる。

【0036】

このレーザ加工方法によって切断したシリコンウェハの切断面写真を図9及び図10に示す。図9及び図10に示す切断面写真は同一の切断面の写真を異なる縮尺で示したものである。図9及び図10に示す切断面を形成した際の詳細条件は以下の通りである。

【0037】

(A) 加工対象物：シリコンウェハ(厚さ100 μm)

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起Nd:YAGレーザ

波長：1064 nm

ビーム径：3.99 mm

広がり角2.34 mrad

繰り返し周波数：40 kHz

パルス幅：200 nsec
 パルスピッチ：7 μ m
 加工深さ：13 μ m
 パルスエネルギー：20 μ J / パルス

(C) 集光用レンズ

NA：0.8

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：280 mm/sec

【0038】

図9及び図10に示す切断面の溶融処理領域（被処理部）13は、シリコンウェハの厚み方向（図中の上下方向）の幅が13 μ m程度で、レーザを移動する方向（図中の左右方向）の幅が3 μ m程度である。また、微小空洞8は、シリコンウェハの厚み方向（図中の上下方向）の幅が7 μ m程度で、レーザを移動する方向（図中の左右方向）の幅が1.3 μ m程度である。溶融処理領域13と微小空洞8との間は1.2 μ m程度である。図9及び図10に示す切断面の全体を現す写真を図11に示す。

【0039】

引き続いて、図9及び図10に示す切断面をラマン分析した結果を説明する。測定装置と測定方法は以下の通りである。

【0040】

(1) 装置：Ramanor U-1000 (Jobin Yvon) (II)

(2) 測定モード：マイクロプローブ 顕微鏡 (Olympus BH-2型)

Beam Splitter：照射系、R=25%

集光系、R=100%

対物レンズ：×90（長焦点）

(3) 光源：Arレーザ 457.9 nm

(4) 偏光：入射光 P、散乱光 S+P

(5) 分光器：U-1000（回折格子 Plane Holographic 1800 gr/mm）

(6) 検出器：CCD Jobin Yvon

【0041】

このラマン分析を、溶融処理領域13の近傍の測定位置1、微小空洞8の近傍の測定位置2、溶融処理領域13及び微小空洞8の間の測定位置3、溶融処理領域13の上方の測定位置4について行った。（アモルファスSiの評価）

【0042】

いずれの位置からもアモルファスSi由来のラマン線は明確に観測されなかった。アモルファスSiが存在しないか、または存在量が検出限界以下である可能性が考えられる。（結晶性の評価）

【0043】

測定位置2、3、4のスペクトルの半値幅は、同程度である。また、リファレンスSi（110）と比較しても同程度であることから、測定位置2、3、4は、いずれも結晶性の高い単結晶Siであると考えられる。一方、測定位置1では、ブロードなラマン線が観測された。測定位置1に関しては、多結晶Siである可能性が考えられる。（応力の評価）

【0044】

測定位置1は、かなり大きな圧縮応力が生じている可能性が考えられる。また、測定位置3では、圧縮応力が生じている可能性が考えられる。測定位置2及び4では、検出限界程度のわずかな応力が生じているものと考えられる。

【0045】

ここで、6インチの大きさと厚みが100 μ mのシリコンウェハを用いて、オリエンテーションフラットに対して並行及び垂直方向に5 mmピッチで改質領域を形成し、複数の5 mm×5 mmのチップに分割されるようにパルスピッチと加工深さとを変化させて、エ

キスパンダ分離した場合の切断性について評価した結果を図12を用いて説明する。

【0046】

この評価は、パルスピッチを固定して加工深さ（微小空洞のできる位置の深さ）を、厚さ100 μ mウェハにおいて、45 μ m～90 μ mまで変化させたときの表面状態と切断性とを評価したものである。図12中で、「HC、山」とあるのは「ハーフカット、山うっすら」という意味であり、シリコンウェハのレーザ入射側の表面に亀裂等が見えるものを示している。「ST、谷」とあるのは「ステルス、谷うっすら」という意味であり、レーザ入射側とは反対側の表面に亀裂等が見えるものを示している。「ST」とあるのは、「ステルス」の意味であり、いずれの表面にも亀裂等が確認できないものを示す。また、丸印はシリコンウェハの裏面に張ってあるテープを引っ張ってエキスパンダ分離した場合に全数切断できたものを示し、三角印は全数切断できなかったものを示す。

【0047】

図12によれば、パルスピッチは4.00 μ m近傍が好適であることがわかる。また、加工深さ（微小空洞のできる位置の深さ）は深い方が好ましい。パルスピッチはあまり広げない方が好ましい。これらを総合的に評価すると、パルスピッチは1.00 μ m～7.00 μ mであることが好ましく、3.00 μ m～5.00 μ mであることが好ましい。また、加工深さ（微小空洞のできる位置の深さ）は、厚さ100 μ mウェハにおいて、45 μ m～90 μ mであることが好ましく、65 μ m～85 μ mであることが好ましい。

【0048】

例えば、シリコンウェハが300 μ mといった厚いものである場合には、上述のレーザ加工工程を、加工深さを変えて数回繰り返して行うことが好ましく、少なくとも一段が溶融処理領域と微小空洞との組合せとなることが好ましい。

【0049】

厚いシリコンウェハに対してレーザ加工を複数回行ったものの断面写真の例を、図13及び図14に示す。図13に示す断面写真の場合は、シリコンウェハ2の裏面21から表面20に向かって複数回のレーザ加工を行っている。その結果、改質領域201～206が形成されている。改質領域203に対応する部分は、近接した部分で複数回のレーザ加工が行われているために微小空洞が視認できない状態となっている。その他の改質領域201、202、204、205、206においては微小空洞が形成されている。微小空洞を形成することにより、溶融処理領域や溶融処理領域と微小空洞との間に応力分布が生じ、より容易に切断することができる。また、外部から力を印加した場合に微小空洞も切断の起点となり易い。そして、内部に改質領域を形成した半導体基板を固定したテープを拡張することで半導体基板の切断・分離を行うには、容易に切断できる条件が必要であり、微小空洞の形成によりその条件が実現できる。以上のように溶融処理領域と共に微小空洞を形成することは、テープの拡張により内部に改質領域を形成した半導体基板を切断・分離する場合に特に有効である。

【0050】

図14に示す断面写真は、図13と同様のレーザ加工を行ったシリコンウェハ2aを示している。図14に示すシリコンウェハ2aの模式図を図15に示す。シリコンウェハ2aには改質領域211及び212が形成されている。改質領域211は、溶融処理領域211a及び微小空洞211bを有している。改質領域212は、溶融処理領域212a及び微小空洞212bを有している。微小空洞212bは、一様に空洞が形成されている。一方、微小空洞211bには、空洞が形成されていない領域211cがある。微小空洞はレーザ入射面の表面状態（凹凸やレーザ光の透過率の差異）により、形成され難い部分が生じる。このような場合、図14のように溶融処理領域211aは切断予定ラインに沿って連続的に形成されているが、微小空洞212bはところどころに形成されている。このような場合でも、微小空洞があることにより切断し易くなっている。これは溶融処理領域211aがほぼ連続的に形成されていることにより、切断の起点となる領域は切断予定ラインほぼ全てに形成されている。そして、切断予定ライン全てに微小空洞212bが形成されていなくても、より切断し易くするための微小空洞212bがあることにより、切断

時には溶融処理領域と微小空洞がある領域の亀裂の進展が溶融処理領域のみの領域に対しても切断し易く作用しているものと考えられる。要は、加工対象物（半導体基板）の内部に被処理部（溶融処理領域）が切断予定ラインに沿って形成される被処理領域（第1のゾーン）と、微小空洞が切断予定ラインに沿って形成される微小空洞領域（第2のゾーン）が形成されることにより、これらを切断の起点として加工対象物（半導体基板）を容易に切断することが可能となる。そして、これらの領域は切断予定ライン全てに形成されなくても（切断予定ラインのところどころに存在するような場合でも）、微小空洞があることにより切断し易くなっている。尚、GaAsなどのように劈開性の良好な半導体基板の場合、切断予定ライン全てに改質領域を形成する必要は無く、切断予定ラインの一部分に改質領域を形成しても良い。また、切断精度を上げたい部分のみに改質領域を形成しても良い。 10

【0051】

本実施形態においては、シリコンウェハの表面にパターンが形成されている場合には、パターンが形成されている面の反対側の面からレーザ光を入射させることが好ましい。微小空洞側の切断面は溶融処理領域側の切断面に比べて切断面がきれいになる傾向になるので、パターン形成面側に微小空洞を形成すると良品率がより向上する。より具体的には、図16に示すように、表面に電子回路や半導体発光部等の光デバイスやMEMSのような微小電気機械システム等の機能素子（機能デバイス）181を形成したシリコンウェハ180において、機能素子181が形成されている側に微小空洞182を形成することにより、機能素子181側の割段精度をより向上させることができる。従って、良品率を向上させることが可能となり、生産効率を向上させることができる。また、内部に改質領域を形成した半導体基板を固定したテープを拡張することで半導体基板の切断・分離を行うには、容易に切断できる条件が必要であるが、微小空洞によりその条件が実現できる。溶融処理領域と共に微小空洞を形成することは、テープの拡張により内部に改質層を形成した半導体基板を切断・分離する場合に有効である。図16に示すシリコンウェハ180を切断・分離する場合には、図17に示すようにシリコンウェハ180をテープ183に固定する。その後、図18に示すようにテープ183を拡張してシリコンウェハ180を切断・分離する。尚、切断・分離工程として、半導体基板の内部に改質領域を形成した後にテープ（エキスパンドテープ、ダイシングフィルム）を貼り付けて拡張する場合も、半導体基板にテープを貼り付けてから半導体基板の内部に改質領域を形成してからテープを拡張する場合のどちらでも可能である。 20 30

【0052】

レンズ口径に対してガウシアン分布を広げてレンズ入射ビームをトップハットのように使うことが好ましい（NAの大きな光線のエネルギーを高くすることが好ましい。）。NAは0.5～1.0であることが好ましい。

【0053】

パルス幅は500nsec以下であることが好ましい。より好ましくは10nsec～500nsecである。より好ましくは10nsec～300nsecである。また、より好ましくは100nsec～200nsecである。

【0054】

溶融処理領域と微小空洞がペアで、それぞれの深さが厚みに対して所定の関係にあると考えられる。特に、NAに応じて溶融処理領域と微小空洞とが所定の関係にあるとよい。

【0055】

切断方向は、オリエンテーションフラット（オリフラ）に対して並行、垂直だと好ましい。結晶方向に沿って溶融処理領域を形成していくことが好ましい。

【0056】

本実施形態においては、加工対象物としてシリコン製の半導体ウェハを用いているが、半導体ウェハの材料はこれに限られるものではない。例えば、シリコン以外のIV族元素半導体、SiCのようなIV族元素を含む化合物半導体、III-V族元素を含む化合物半導体、II-VI族元素を含む化合物半導体、更に種々のドーパント（不純物）をドー 50

ブした半導体を含む。

【0057】

本実施形態の効果を説明する。これによれば、多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物1の内部に集光点Fを合わせて、パルスレーザ光Lを切断予定ライン5に照射している。そして、X軸ステージ109やY軸ステージ111を移動させることにより、集光点Fを切断予定ライン5に沿って所定のピッチPで移動させている。これにより、被処理部を切断予定ライン5に沿うように加工対象物1の内部に形成すると共に、微小空洞を形成している。これにより、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5から外れた不必要な割れを発生させることなく加工対象物1を切断することができる。

【0058】

また、加工対象物1に多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物1の内部に集光点Fを合わせて、パルスレーザ光Lを切断予定ライン5に照射している。よって、パルスレーザ光Lは加工対象物1を透過し、加工対象物1の表面3ではパルスレーザ光Lがほとんど吸収されないので、改質領域形成が原因で表面3が溶融等のダメージを受けることはない。

【0059】

以上説明したように、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5から外れた不必要な割れや溶融が生じることなく、加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1が例えば半導体ウェハの場合、半導体チップに切断予定ラインから外れた不必要な割れや溶融が生じることなく、半導体チップを半導体ウェハから切り出すことができる。表面に電極パターンが形成されている加工対象物や、圧電素子ウェハや液晶等の表示装置が形成されたガラス基板のように表面に電子デバイスが形成されている加工対象物についても同様である。よって、加工対象物を切断することにより作製される製品（例えば半導体チップ、圧電デバイスチップ、液晶等の表示装置）の歩留まりを向上させることができる。

【0060】

また、加工対象物1の表面3の切断予定ライン5は溶融しないので、切断予定ライン5の幅（この幅は、例えば半導体ウェハの場合、半導体チップとなる領域同士の間隔である。）を小さくできる。これにより、一枚の加工対象物1から作製される製品の数が増え、製品の生産性を向上させることができる。

【0061】

また、加工対象物1の切断加工にレーザ光を用いるので、ダイヤモンドカッタを用いたダイシングよりも複雑な加工が可能となる。

【0062】

ところで、上記レーザ加工方法（切断方法）が実施されるレーザ加工装置は、レーザ光源と、加工対象物を戴置する戴置台と、レーザ光源と戴置台との相対的な位置関係を制御する制御手段と、を備え、制御手段は、加工対象物の内部に集光点が合うようにレーザ光源と戴置台との間隔を制御すると共に、レーザ光源からレーザ光が出射されると、レーザ光源及び戴置台を加工対象物の切断予定ラインに沿って相対的に移動させて、切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に多光子吸収による被処理部を形成すると共に、加工対象物の内部であって被処理部に対応する所定の位置に微小空洞を形成する。

【0063】

このレーザ加工装置によれば、被処理部に対応させて微小空洞を形成するので、一对の被処理部と微小空洞とを加工対象物内部に形成できる。

【0064】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）が実施されるレーザ加工装置は、レーザ光源と、半導体基板を戴置する戴置台と、レーザ光源と戴置台との相対的な位置関係を制御する制御手段と、を備え、制御手段は、半導体基板の内部に集光点が合うようにレーザ光源と戴置台との間隔を制御すると共に、レーザ光源からレーザ光が出射されると、レーザ光源及び戴置台を半導体基板の切断予定ラインに沿って相対的に移動させて、切断予定ラインに沿って半導体基板の内部に溶融処理領域を形成すると共に、半導体基板の内部であって

熔融処理領域に対応する所定の位置に微小空洞を形成する。

【0065】

このレーザ加工装置によれば、熔融処理領域に対応させて微小空洞を形成するので、一対の熔融処理領域と微小空洞とを加工対象物内部に形成できる。

【0066】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）が実施されるレーザ加工装置は、レーザ光源と、半導体基板を載置する載置台と、レーザ光源と載置台との相対的な位置関係を制御する制御手段と、を備え、制御手段は、半導体基板の内部に集光点が合うようにレーザ光源と載置台との間隔を制御すると共に、レーザ光源からパルスレーザ光が出射されると、レーザ光源及び載置台を半導体基板の切断予定ラインに沿って相対的に移動させて、切断予定ラインに沿って半導体基板の内部に熔融処理領域を形成すると共に、半導体基板の内部であって熔融処理領域に対応する所定の位置に微小空洞を形成する際に、パルスレーザのパルス幅が500nsec以下である。

【0067】

このレーザ加工装置によれば、パルス幅が500nsec以下のパルスレーザ光を半導体基板に照射するので、よりの確に微小空洞を形成できる。

【0068】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）が実施されるレーザ加工装置は、レーザ光源と、半導体基板を載置する載置台と、レーザ光源と載置台との相対的な位置関係を制御する制御手段と、を備え、制御手段は、半導体基板の内部に集光点が合うようにレーザ光源と載置台との間隔を制御すると共に、レーザ光源からパルスレーザ光が出射されると、レーザ光源及び載置台を半導体基板の切断予定ラインに沿って相対的に移動させて、切断予定ラインに沿って半導体基板の内部に熔融処理領域を形成すると共に、半導体基板の内部であって熔融処理領域に対応する所定の位置に微小空洞を形成する際に、パルスレーザのパルスピッチが1.00～7.00μmである。

【0069】

このレーザ加工装置によれば、パルスピッチが1.00～7.00μmのパルスレーザ光を半導体基板に照射するので、よりの確に微小空洞を形成できる。

【0070】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）が実施されるレーザ加工装置では、微小空洞を切断予定ラインに沿って複数形成し、それぞれの微小空洞が相互に離隔するように形成することも好ましい。微小空洞が相互に離隔して形成されるので、より効率的に微小空洞を形成できる。

【0071】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）による加工生産物は、加工対象物をレーザ加工によって切断して生産される加工生産物であって、切断によって形成された主面に沿った部分に多光子吸収によって改質されている被処理部と、切断によって形成された主面であって被処理部に対応する所定の位置に開口部を有する微小空洞と、が形成されている。

【0072】

この加工生産物は、加工対象物に被処理部と微小空洞とを対応させて形成して加工処理物とし、その加工処理物を被処理部及び微小空洞が形成されている部分で切断して生産される。

【0073】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）による加工生産物では、加工対象物が半導体基板であって、被処理部は熔融処理領域であることも好ましい。加工対象物としての半導体基板にレーザ光を照射するので、熔融処理領域と微小空洞とを形成できる。

【0074】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）による加工生産物では、微小空洞は切断予定ラインに沿って複数形成され、それぞれの微小空洞は相互に離隔していることも好ましい。微小空洞が相互に離隔して形成されるので、より効率的に微小空洞を形成できる。

【0075】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）による加工生産物では、微小空洞相互の間隔が $1.00 \sim 7.00 \mu\text{m}$ となるように形成されていることも好ましい。微小空洞の間隔が $1.00 \sim 7.00 \mu\text{m}$ なので、よりの確に微小空洞を形成できる。

【0076】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）による加工生産物では、被処理部は切断予定ラインに沿った第1のゾーンに形成され、複数の微小空洞は第1のゾーンと所定の間隔を空けた第2のゾーンに形成されていることも好ましい。被処理部及び微小空洞がそれぞれのゾーンごとに形成されているので、一群のものとして形成できる。

【0077】

また、上記レーザ加工方法（切断方法）による加工生産物は、加工対象物をレーザ加工によって切断して生産される加工生産物であって、切断によって形成された主面には被処理部が形成された被処理領域と、切断によって形成された主面に開口部を有する微小空洞が形成された微小空洞領域と、が形成されている。

【0078】

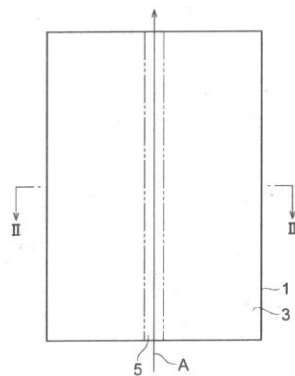
また、上記レーザ加工方法（切断方法）による加工生産物では、加工対象物は半導体基板であって、被処理部は溶融処理領域であることも好ましい。

【符号の説明】

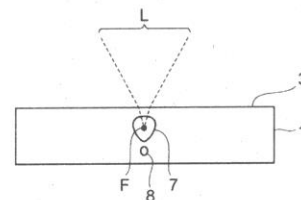
【0079】

2 a …シリコンウェハ、2 1 1 …改質領域、2 1 1 a …溶融処理領域、2 1 1 b …微小空洞。

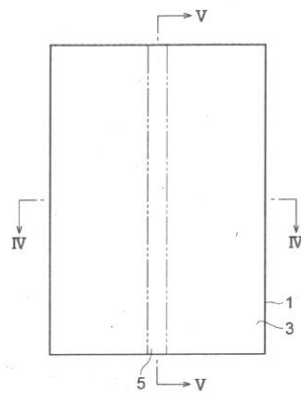
【図1】



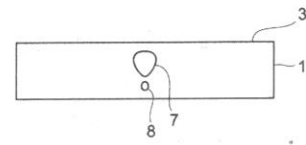
【図2】



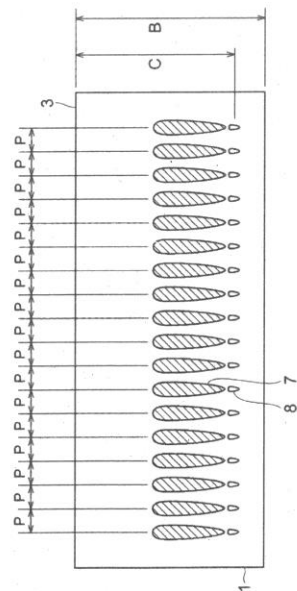
【図 3】



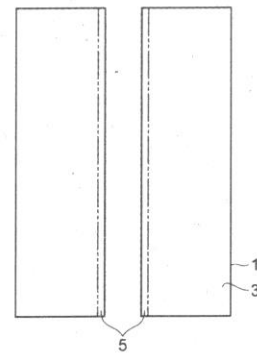
【図 4】



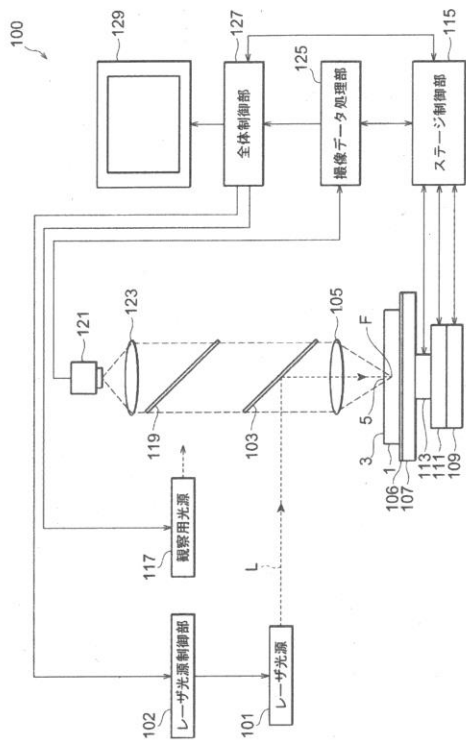
【図 5】



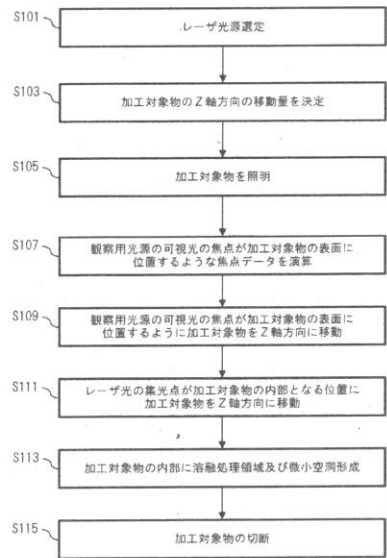
【図 6】



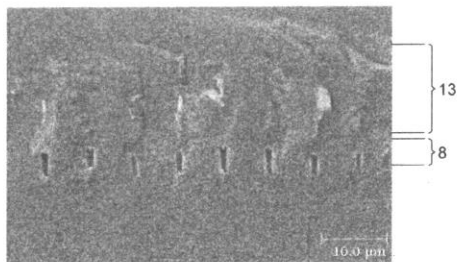
【図 7】



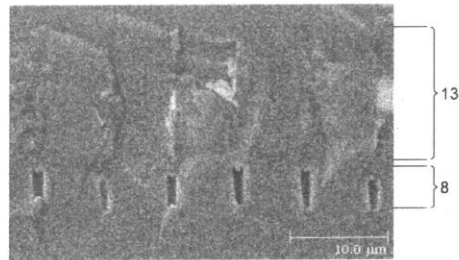
【図 8】



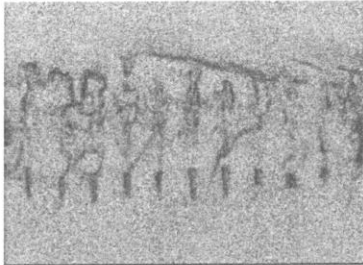
【図 9】



【図 10】



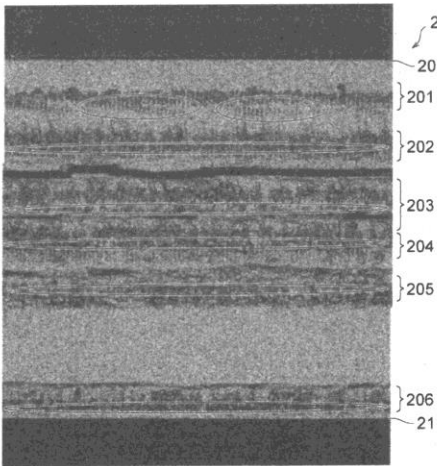
【図 1 1】



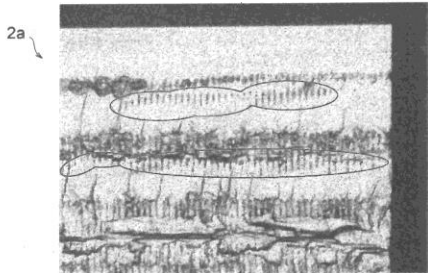
【図 1 2】

パルスピッチ (μm)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
加工速度 (mm/sec)	75	150	225	300	250	300	280
周波数 (kHz)	75	75	75	75	50	50	40
パルス幅 (nsec)	170	170	170	170	161	161	152
加工深さ (μm)	45	HC	HC	HC	HC	HC	HC
		山, Δ	山, Δ	山, Δ	山, ○	山, ○	山, ○
	50	HC	HC	HC	HC	HC	HC
		山, Δ	山, Δ	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	51	HC	HC	HC	HC	HC	HC
		山, Δ	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	56	HC	HC	HC	HC	HC	HC
		山, Δ	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	60	HC	HC	HC	HC	HC	ST
		山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	68	ST	HC	HC	HC	ST	ST
		Δ	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	69	ST	HC	ST	HC	ST	ST
		Δ	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	78	ST	ST	ST	山, ○	山, ○	山, ○
		Δ	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	81	ST	ST	ST	ST	ST	ST
		山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	82	ST	ST	ST	ST	ST	ST
		山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	88	ST	ST	ST	ST	ST	ST
		山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○
	90	ST	ST	ST	ST	ST	ST
		山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○	山, ○

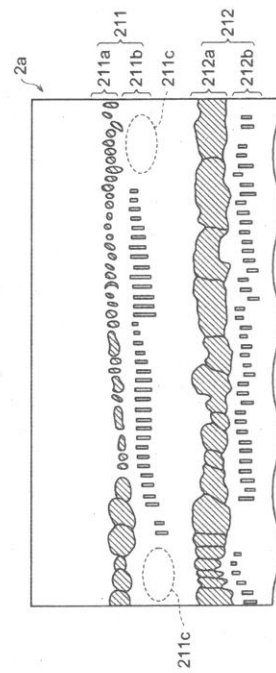
【図 1 3】



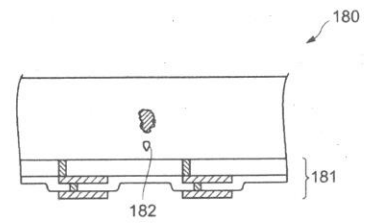
【図 1 4】



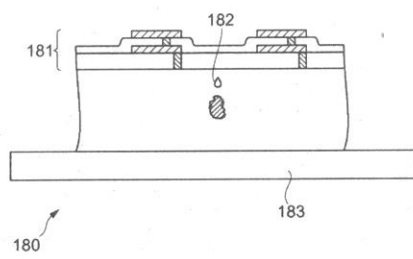
【図 15】



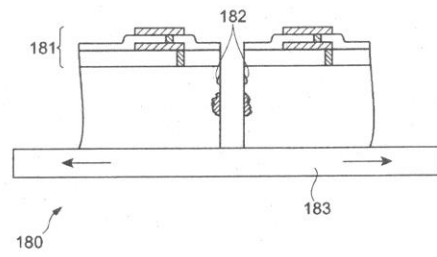
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

B 2 3 K 26/06

A

審査官 馬場 進吾

(56)参考文献 特開2002-192368 (JP, A)
特許第5015294 (JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 21/301

B 2 3 K 26/00

B 2 3 K 26/06

B 2 3 K 26/38

B 2 3 K 26/40