

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5361916号
(P5361916)

(45) 発行日 平成25年12月4日(2013.12.4)

(24) 登録日 平成25年9月13日(2013.9.13)

(51) Int.Cl.	F I		
H O 1 L 21/301 (2006.01)	H O 1 L 21/78		L
B 2 3 K 26/38 (2006.01)	B 2 3 K 26/38	3 2 0	
B 2 3 K 26/40 (2006.01)	B 2 3 K 26/40		
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/00		N
B 2 8 D 5/00 (2006.01)	B 2 8 D 5/00		Z
請求項の数 5 (全 14 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号	特願2011-22661 (P2011-22661)	(73) 特許権者	390000608 三星ダイヤモンド工業株式会社 大阪府摂津市香露園32番12号
(22) 出願日	平成23年2月4日(2011.2.4)	(74) 代理人	110000202 新樹グローバル・アイピー特許業務法人
(65) 公開番号	特開2012-164740 (P2012-164740A)	(72) 発明者	八幡 恵輔 大阪府吹田市南金田二丁目12番12号 三星ダイヤモンド工業株式会社内
(43) 公開日	平成24年8月30日(2012.8.30)	(72) 発明者	清水 政二 大阪府吹田市南金田二丁目12番12号 三星ダイヤモンド工業株式会社内
審査請求日	平成23年9月28日(2011.9.28)	審査官	仁木 学
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 レーザスクライプ方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルスレーザー光を脆性材料基板に照射して分断予定ラインに沿ってスクライプするレーザースクライプ方法であって、

パルスレーザー光を脆性材料基板に照射するとともに、前記分断予定ラインに沿って走査し、前記脆性材料基板の表面及び裏面から離れた内部に、前記分断予定ラインに沿った改質層を形成する第1工程と、

ビーム強度の調整されたパルスレーザー光を前記脆性材料基板の表面側から照射するとともに、前記パルスレーザー光の照射条件を同じ条件に維持したまま焦点位置の高さを固定して分断予定ラインに沿って走査して、先に照射されたパルスレーザー光によって形成された加工痕に重なる位置に次のパルスレーザー光を繰り返し照射することにより、前記改質層を起点として前記脆性材料基板の表面に向かって斜めに、前記脆性材料基板の表面に到達しない深さまで進行する複数の線状加工痕を分断予定ラインに沿って周期的に形成する第2工程と、

を備えたレーザースクライプ方法。

【請求項2】

前記第2工程では、パルスレーザー光のビーム強度が、前記改質層で 8.8×10^{12} W/m²を越え、表面までの基板内部において 8.8×10^{12} W/m²を下回るように調節される、請求項1に記載のレーザースクライプ方法。

【請求項3】

前記第2工程では、脆性材料基板において、単位体積当たり吸収されるエネルギーが 2.0×10^{10} J/m³以下になるようにレーザー照射及び走査条件が調節される、請求項2に記載のレーザスクライプ方法。

【請求項4】

前記脆性材料はサファイアである、請求項1から3のいずれかに記載のレーザスクライプ方法。

【請求項5】

前記第2工程では、繰り返し照射されるパルスレーザー光がオーバーラップするようにレーザー照射及び走査条件が調節される、請求項1に記載のレーザスクライプ方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザスクライプ方法、特に、パルスレーザー光を脆性材料基板に照射してスクライプするレーザスクライプ方法に関する。

【背景技術】

【0002】

発光ダイオード等の発光素子は、サファイア基板の上に窒化物半導体を積層することによって形成されている。このようなサファイア基板等から構成される半導体ウェハには、複数の発光ダイオード等の素子が、分断予定ラインにより区画されて形成されている。そして、半導体ウェハを分断予定ラインに沿って分断するために、レーザスクライプ方法が用いられている。

20

【0003】

レーザスクライプ方法は、半導体等の基板にレーザー光を照射してスクライプする方法であり、例えば特許文献1に示されている。この特許文献1に示された方法では、レーザー光の集光点の位置が基板裏面に調整され、レーザー光が分断予定ラインに沿って走査される。その後、レーザー光の集光点を基板の厚み方向に移動させ、同様に分断予定ラインに沿ってレーザー光が走査される。

【0004】

また、特許文献2には、シリコン基板やガラス基板等にパルスレーザー光を照射して、基板内部に改質領域を形成し、スクライプする方法が示されている。この特許文献2に示された方法では、パルスレーザー光の集光点が基板内部に位置するように調整される。そして、パルスレーザー光が基板に照射された後、集光点の位置を変えずに横方向に走査され、次のパルスレーザー光が照射される。このようなレーザー照射を繰り返すことにより、基板の裏面側から表面側に向かって斜めに伸びる複数の改質領域が、分断予定ラインに沿って周期的に形成される。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2007-21557号公報

【特許文献2】特開2007-167875号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ここで、特にサファイア基板の上に半導体を積層して発光ダイオードを形成する場合、最終製品としての発光ダイオードの品質を劣化させないためには、レーザー照射による改質領域(加工痕)は極力少ない方が好ましい。また、端面強度等の強度を損なわないためにも、改質領域は少ない方が好ましい。一方で、改質領域が少ない場合には、スクライプ後の分断工程において、より大きな分断力が必要となり、場合によっては分断できない場合が生じる。

【0007】

50

そこで、レーザスクライブにおいては、後工程で分断が容易で、かつ少ない(狭い)改質領域を形成する必要がある。このような目的を達成するために、基板の厚み方向に延びる線状の複数の改質領域(以下、線状加工痕と記す)を、分断予定ラインに沿って周期的に形成することが考えられる。このような線状加工痕は、特許文献1及び2に示された方法で形成することができる。

【0008】

しかし、特許文献1に示されたレーザスクライブ方法で線状加工痕を形成する場合、レーザ光の集光点を、ある位置にセットして走査した後、その位置を変えて走査する、という処理を繰り返し行う必要がある。集光点の位置を複数の位置に変更するためには、処理が煩雑になるとともに、装置構成が複雑でかつ高価になる。

10

【0009】

また、特許文献2に示された方法では、集光点の位置を変更する必要はないが、ビーム強度のしきい値等のレーザ照射条件が全く示されておらず、線状加工痕を安定して形成することができない。このため、基板の表面や裏面に、線状ではなく広い面積の面状の改質領域が形成されたり、また、逆に線状加工痕が少なくなって、分断工程で大きな分断力が必要になったりする場合がある。さらに、この特許文献2では、1パルスで300 μ mの加工痕が形成されるので、厚さが100 μ m程度の基板には線状加工痕を形成することができない。

【0010】

本発明の課題は、サファイア基板等の脆性材料基板をレーザ光によってスクライブする際に、簡単な装置構成で、適切な広さの改質領域を形成できるようにすることにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

第1発明に係るレーザスクライブ方法は、パルスレーザ光を脆性材料基板に照射して分断予定ラインに沿ってスクライブする方法であって、第1工程と第2工程とを備えている。第1工程は、パルスレーザ光を脆性材料基板に照射するとともに、分断予定ラインに沿って走査し、脆性材料基板の表面及び裏面から離れた内部に、分断予定ラインに沿った改質層を形成する工程である。第2工程は、ビーム強度の調整されたパルスレーザ光を脆性材料基板の表面側から照射するとともに、パルスレーザ光の照射条件を同じ条件に維持したまま焦点位置の高さを固定して分断予定ラインに沿って走査して、先に照射されたパルスレーザ光によって形成された加工痕に重なる位置に次のパルスレーザ光を繰り返し照射することにより、改質層を起点として脆性材料基板の表面に向かって斜めに、脆性材料基板の表面に到達しない深さまで進行する複数の線状加工痕を分断予定ラインに沿って周期的に形成する工程である。

30

【0012】

ここで、本願発明者は、簡単な装置構成で、適切な広さの改質領域を形成できるレーザスクライブ方法を開発し、既に出願している(特願2010-193220)。このレーザスクライブ方法では、脆性材料基板の裏面から表面に向かって所定長さの線状加工痕が形成され、さらに、この線状加工痕が分断予定ラインに沿って周期的に形成される。

【0013】

40

ところで、例えば発光ダイオードにおいては、サファイア基板上に半導体が積層されて素子が形成されている。そして、このような発光ダイオードに対して先願のレーザスクライブ方法を適用する場合は、素子にダメージを与えないために、素子が形成されていない面(表面)からレーザ光が照射されることになる。すると、先願の方法では、素子が形成された面(裏面)に、線状加工痕の起点となる改質領域が形成されることになる。この場合、基板の一面(裏面)に形成された素子が、ダメージを受ける可能性がある。

【0014】

そこで、本発明では、脆性材料基板の表面及び裏面から離れた内部に改質層を形成し、この基板内部の改質層を起点として線状加工痕を形成するようにしている。

【0015】

50

ここでは、少ない改質領域でスクライプラインを形成できるので、最終的な製品の品質及び強度劣化を抑えることができる。また、後工程での分断において比較的容易に分断することができる。また、改質層は基板内部に形成され、線状加工痕はこの改質層を基点として進展するので、基板の一面に素子が形成されている場合でも、素子に与えるダメージを抑えることができる。

【0016】

第2発明に係るレーザスクライプ方法は、第1発明のレーザスクライプ方法において、第2工程では、パルスレーザ光のビーム強度が、改質層で 8.8×10^{12} W/m²を越え、表面までの基板内部において 8.8×10^{12} W/m²を下回るように調節される。

【0017】

ここでは、基板内部の改質層においてパルスレーザ光のビーム強度がしきい値(8.8×10^{12} W/m²)を越えるので、パルスレーザ光を走査すると、レーザ加工痕は改質層を起点として表面に向かって斜め上方に進行する。そして、表面までの基板内部において、ビーム強度はしきい値(8.8×10^{12} W/m²)を下回るので、しきい値を下回った時点で線状加工痕の上方への進行は止まり、再び改質層にレーザ加工痕が形成される。以上の繰り返しによって、改質層から表面に到達しない深さまで延びる線状加工痕が分断予定ラインに沿って周期的に形成される。

【0018】

第3発明に係るレーザスクライプ方法は、第2発明のレーザスクライプ方法において、第2工程では、脆性材料基板において、単位体積当たりに吸収されるエネルギーが 1.5×10^{10} J/m³以下になるようにレーザ照射及び走査条件が調節される。

【0019】

レーザ照射及び走査において、第2発明の条件でかつ単位体積当たりに吸収されるエネルギーが 2.0×10^{10} J/m³を越えると、隣接する線状加工痕がつながったような面状の加工痕が形成され、改質領域を小さくすることができない。そこで、ここでは、レーザ照射及び走査条件が、単位体積当たりに吸収されるエネルギーが 2.0×10^{10} J/m³以下になるように調節される。

【0020】

第4発明に係るレーザスクライプ方法は、第1から第3発明のレーザスクライプ方法において、脆性材料はサファイアである。

【0021】

第5発明に係るレーザスクライプ方法は、第1発明のレーザスクライプ方法において、第2工程では、繰り返し照射されるパルスレーザ光がオーバーラップするようにレーザ照射及び走査条件が調節される。

【発明の効果】

【0022】

以上のような本発明では、サファイア基板等の脆性材料基板をスクライプする際に、簡単な装置構成で、適切な広さの改質領域を形成することができる。また、基板に素子が形成されている場合に、素子へのダメージを抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の一実施形態による加工方法によって分断される半導体ウェハの外観斜視図。

【図2】本発明の一実施形態による加工方法を実施するためのレーザ加工装置の概略構成図。

【図3】基板内部に形成された改質層の顕微鏡写真を示す図。

【図4】基板内部に形成された線状加工痕の顕微鏡写真を示す図。

【図5】線状加工痕の形成メカニズムを説明するための図。

【図6】線状加工痕が形成されるしきい値を検討するための装置構成図。

【図7】厚みが150 μmのサファイア基板におけるビーム半径と焦点位置との関係を示す図

10

20

30

40

50

。

【図 8】表面のみに加工痕が形成された基板内部の顕微鏡写真を示す図。

【図 9】図 7 のシミュレーション結果から予測される結果と実験結果との比較を示す図。

【図 10】厚みが200 μm のサファイア基板におけるビーム半径と焦点位置との関係を示す図。

【図 11】裏面に加工痕が形成された基板内部の顕微鏡写真を示す図。

【図 12】図 10 のシミュレーション結果から予測される結果と実験結果との比較を示す図。

【図 13】裏面加工と線状加工との境界を説明するための基板内部の顕微鏡写真を示す図

。

【図 14】単位体積当たりに吸収されるエネルギーと加工状態との関係を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

[加工対象]

図 1 は、本発明の一実施形態によるレーザスクライプ方法が適用される半導体ウェハの一例である。この図 1 に示す半導体ウェハ 1 は、サファイア基板 2 上に窒化物半導体が積層されて形成されたものであり、複数の発光ダイオード等の発光素子 3 が分割予定ライン 4 によって区画されて形成されている。

【0025】

[レーザ加工装置]

図 2 は、本発明の一実施形態による加工方法を実施するためのレーザ加工装置 5 の概略構成を示したものである。レーザ加工装置 5 は、レーザ光線発振器や制御部を含むレーザ光線発振ユニット 6 と、レーザ光を所定の方向に導くための複数のミラーを含む伝送光学系 7 と、伝送光学系 7 からのレーザ光を集光させるための集光レンズ 8 と、を有している。なお、ウェハ 1 はテーブル 9 に載置されており、レーザ光とウェハ 1 が載置されるテーブル 9 とは、相対的に上下方向に移動が可能であるとともに、水平面内で相対移動が可能となっている。

【0026】

[レーザスクライプ方法]

以上のようなレーザ加工装置 5 を用いたレーザスクライプ方法は以下の通りである。

【0027】

<第 1 工程>

まず、レーザ光線発振ユニット 6 において、パルスレーザ光の出力パワー等の加工条件を制御する。そして、このパルスレーザ光をサファイア基板 2 に照射して、サファイア基板 2 の表面及び裏面から離れた内部に、改質領域を形成する。なお、パルスレーザ光は基板を透過する透過型のレーザである。さらに、このパルスレーザ光を分断予定ラインに沿って走査する。これにより、基板内部に、分断予定ラインに沿った改質層が形成される。

【0028】

図 3 (a) (b) に、基板内部に形成された改質層の具体例を示している。いずれの例も、試料として、厚みが330 μm のサファイア基板を用いている。

【0029】

- 例 1 -

図 3 (a) のレーザ照射条件は、以下の通りである。

波長：1064 nm

パルス幅：20 ps

パルスエネルギー：1.4 μJ

走査速度：500 mm/s

レーザ照射方向：表面から

焦点位置： $z = -100 \mu\text{m}$

この例 1 では、基板の厚み方向のほぼ中間部に改質層 M 1 が形成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 0 】

- 例 2 -

図 3 (b) のレーザー照射条件は、以下の通りである。

波長：1064 nm

パルス幅：20 ps

パルスエネルギー：1.0 μ J

走査速度：50 mm/s

レーザー照射方向：表面から

焦点位置：z = - 140 μ m

この例 2 では、基板内部で裏面に近い領域に改質層 M 2 が形成されている。

10

【 0 0 3 1 】

なお、例 1 及び 2 では、焦点位置以外に、繰り返し周波数、出力、及び走査速度を変更しているが、焦点位置のみを変更することによって改質層が形成される位置（深さ）を変更することが可能である。

【 0 0 3 2 】

< 第 2 工程 >

次に、パルスレーザー光の出力パワー等の加工条件を制御し（詳細は後述）、このパルスレーザー光をサファイア基板 2 に照射する。その後、レーザー光の焦点（ここでは「集光点」と同様）の位置を固定したまま、レーザー光を分断予定ラインに沿って相対的に移動させて走査する。これにより、基板内部の顕微鏡写真である図 4 に示すように、改質領域としての複数の線状のレーザー加工痕 1 0 が分断予定ラインに沿って周期的に形成される。このようにして、ウェハ 1 は分断予定ラインに沿ってスクライプされる。なお、図 4 では基板裏面を起点として線状加工痕が形成された例を示しているが、本発明では、基板裏面ではなく、第 1 工程で形成された改質層を起点として線状加工痕が形成される。

20

【 0 0 3 3 】

以上のようにして、基板内部に周期的な線状加工痕 1 0 が形成された後は、この線状加工痕 1 0 が形成された部分に曲げ応力を加えることによって、スクライプラインに沿って容易にウェハ 1 を分断することができる。

【 0 0 3 4 】

[線状加工痕の形成メカニズム]

第 2 工程における線状加工痕の形成メカニズムを、図 5 を用いて説明する。図 5 (a) で示すように、焦点位置が基板内部の改質層 M 付近になるようにレーザー照射条件を設定し、レーザー光を照射する。なお、レーザー光の条件については、後述する。レーザー光が照射されると、同図 (b) で示すように、あるレーザーパルス（以下、単に「パルス」と記載することもある）によって改質層 M に加工痕 1 0 a が形成される。

30

【 0 0 3 5 】

焦点位置も含めてレーザー照射条件を同じ条件に維持したまま、レーザー光を走査する（同図 (c) ）。すると、レーザーパルスがオーバーラップし、先の加工痕 1 0 a 上に次のパルスが照射され、これにより、同図 (d) で示すように、先の加工痕 1 0 a に接して新しい加工痕 1 0 b が形成される。以上の加工が繰り返されることによって、同図 (e) ~ (g) で示すように、線状の加工痕 1 0 が形成される。

40

【 0 0 3 6 】

レーザー光は、常に焦点位置が基板内部の改質層 M 付近に設定されているので、基板内部において、レーザービームの径は上方に行くにしたがって広くなり、このため単位面積当たりのビーム強度は弱くなる。そして、次々と形成される加工痕 1 0 が基板表面に到達する前に、所定の深さ位置でビーム強度がある値を下回ると、それ以上加工痕 1 0 は上昇しなくなり、再び改質層 M に加工痕 1 0 c が形成される。この様子を、図 5 (h) (i) に示している。

【 0 0 3 7 】

以上のような加工の繰り返しによって、図 5 (j) に示すように、複数の線状加工痕 1

50

0 が分断予定ラインに沿って周期的に形成される。

【 0 0 3 8 】

[線状加工痕が形成されるしきい値]

次に、前述のような線状加工痕が形成されるビーム強度のしきい値について説明する。ここで、以下のような計算条件で、サファイア基板の内部におけるビーム径を計算した結果を、図7以降に示している。なお、基板内部におけるビーム径は、図6に示すdである。また、図7以降では、説明の便宜上、線状加工痕の起点を基板裏面としているが、本発明では、線状加工痕の起点は、基板裏面ではなく、第1工程で基板内部に形成された改質層Mである。このため、以下の説明における「基板裏面」は、本件発明の「基板内部の改質層」に対応するものである。

10

【 0 0 3 9 】

< 計算条件 >

レーザー波長 : 355nm

入射ビーム径 (図6のDo) : 5mm

エムスクエア : 1.2

集光レンズ8の焦点 : 20mm

サファイア屈折率 : 1.76

< 計算結果1 : 基板厚み150 μ m >

図7に、厚みが150 μ mの試料(サファイア基板)において、焦点位置を、基板表面位置を「0」として+50 μ mから-250 μ mまで7段階で変化させた場合のビーム半径と高さ(基板表面を「0」とした)との計算結果を示している。なお、図7はビームの片側のみを示しており、実際のレーザー光のビーム形状は、ビーム半径「0」を挟んで対称となる。また、例えば焦点位置「-50 μ m」では、-100 μ mの位置でビームが集光しているが、これは、レーザー光がサファイア基板内部では屈折するからであり、各焦点位置はレーザー光が空气中を進行した場合の値を示すものである。

20

【 0 0 4 0 】

この図7の条件において、以下のことを仮定する。

【 0 0 4 1 】

仮定1 : ビーム半径8 μ m以下でのビーム強度で加工痕の形成が可能である。

【 0 0 4 2 】

仮定2 : 基板内部や表面の加工痕未形成領域では、しきい値以上の強度でも加工痕は形成されない。ビーム半径8 μ m以下でのビーム強度であっても基板内部からは線状加工痕が形成されないが、基板の裏面(「基板内部の改質層」に相当)からは線状加工痕が形成される。

30

【 0 0 4 3 】

以上のような仮定の下では、図7の基板内部のビーム半径から、焦点位置と加工痕の関係は以下になると推測される(計算結果から予測される状態)。

【 0 0 4 4 】

+ 50 μ m	:	×	(加工不可)
0	:	×	(加工不可)
- 50 μ m	:		(表面加工)
- 100 μ m	:		(線状加工)
- 150 μ m	:	×	(加工不可)
- 200 μ m	:	×	(加工不可)
- 250 μ m	:	-	

40

ここで、「表面加工」とは、図5に示した加工痕の形成メカニズムにおいて、レーザーのビーム強度が基板内部の全域(全厚み)において強く、加工痕が基板表面にまで到達する加工である。具体的には、図7の焦点位置「-50 μ m」のビーム形状を見ると、試料(基板)内部の全厚みにおいてビーム半径8 μ m以下である。このため、基板内部の全域においてビーム強度は高く、加工痕は表面まで到達する。

50

【 0 0 4 5 】

このように、加工痕が基板表面まで達する表面加工では、基板表面の浅い範囲ですべてのエネルギーが吸収される。そして、単位体積当たりに吸収されるエネルギーが、あるしきい値を超えると、図 8 に示されるように、基板表面において均一な深さの改質領域の層 1 2 が形成される。このような表面加工では、目的とする線状加工痕は形成されない。

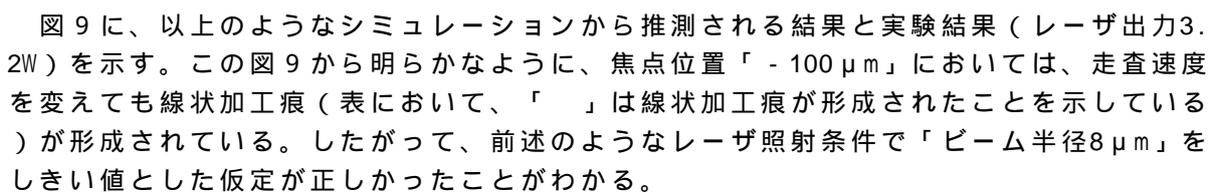
【 0 0 4 6 】

また、「加工不可」とは、基板内部の全域（全厚み）においてレーザーのビーム強度が低く、線状加工痕は形成されず、表面や裏面等に不均一に加工痕が形成されるような加工である。

【 0 0 4 7 】

そして、図 7 の焦点位置「 - 100 μm 」では、基板裏面からほぼ基板厚みの中間位置（約 - 75 μm ）までビーム半径が 8 μm 以下である。したがって、基板裏面からほぼ半分の深さまで線状加工痕が形成されると推測される。

【 0 0 4 8 】

図 9 に、以上のようなシミュレーションから推測される結果と実験結果（レーザー出力 3.2W）を示す。この図 9 から明らかなように、焦点位置「 - 100 μm 」においては、走査速度を変えても線状加工痕（表において、「」は線状加工痕が形成されたことを示している）が形成されている。したがって、前述のようなレーザー照射条件で「ビーム半径 8 μm 」をしきい値とした仮定が正しかったことがわかる。

【 0 0 4 9 】

< 計算結果 2 : 基板厚み 200 μm >

図 1 0 に、厚みが 200 μm のサファイア基板において、焦点位置を、基板表面位置を「 0」として + 50 μm から - 250 μm まで 7 段階で変化させた場合のビーム半径と高さ（基板表面を「 0」とした）との計算結果を示している。なお、この図 1 0 の条件においても、前述と同様に、仮定 1 及び 2 を仮定する。

【 0 0 5 0 】

この場合は、図 1 0 の基板内部のビーム半径から、焦点位置と加工痕の関係は以下のようになると推測される（計算結果から予測される状態）。

【 0 0 5 1 】

+ 50 μm	:	×	(加工不可)
0	:	×	(加工不可)
- 50 μm	:		(表面加工)
- 100 μm	:		(線状加工)
- 150 μm	:		(裏面加工)
- 200 μm	:	×	(加工不可)
- 250 μm	:	-	

ここで、「裏面加工」とは、図 5 に示した加工痕の形成メカニズムにおいて、加工痕の上昇する高さが低く、裏面の狭い範囲ですべてのエネルギーが吸収されて、基板裏面（「基板内部の改質層」に相当）近傍に均一な深さの改質領域の層が形成される加工である。なお、前述のように、本発明では、線状加工痕の起点を、基板裏面ではなく、基板内部に形成された改質層 M としている。このため、「裏面加工」とは、正確には、第 1 工程で形成された改質層の近傍に面状に加工痕が形成される加工である。

【 0 0 5 2 】

具体的には、図 1 0 の焦点位置「 - 150 μm 」のビーム形状を見ると、試料（基板）内部の裏面近傍のみがビーム半径 8 μm 以下である。このため、加工痕は線状加工のように上昇せず、図 1 1 に示すように、基板裏面において均一な深さ（厚み）の改質領域の層（面状の加工痕） 1 3 が形成される。この場合も、目的とする線状加工痕は形成されない。

【 0 0 5 3 】

そして、図 1 0 の焦点位置「 - 100 μm 」では、基板裏面から約 - 75 μm の高さまでビーム半径が 8 μm 以下であり、この範囲にわたって線状加工痕が形成されると推測される。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 4 】

図 1 2 に、以上のようなシミュレーションから推測される結果と実験結果（レーザ出力 3.2W）を示す。この図 1 2 から明らかなように、焦点位置「-100 μm」においては、走査速度を変えても線状加工痕が形成されている。したがって、前述のようなレーザビーム条件で「ビーム半径 8 μm」をしきい値とした仮定が正しかったことがわかる。

【 0 0 5 5 】

<まとめ>

以上から、加工痕にレーザパルスがオーバーラップして照射されたとき、先の加工痕に接して新しい加工痕が形成されるレーザ光のビーム強度は、出力 3.2W、周波数 120MHz、パルス幅 15ps、ビーム半径 8 μm であることから、 8.8×10^{12} W/m² であることがわかる。

10

【 0 0 5 6 】

すなわち、ビーム強度が、線状加工痕の起点となる改質層 M の部分でしきい値を超えると、加工痕が上昇する。そして、線状加工痕が基板表面に到達するまでにビーム強度がしきい値を下回ると、その位置で加工痕の上昇が止まり、再び改質層 M から加工痕が形成され、結果的に、周期的な線状加工痕が、改質層 M を起点として形成されることになる。

【 0 0 5 7 】

[線状加工痕と面状加工痕との間のしきい値]

ここで、前述のように、「裏面加工」では、線状加工痕が周期的に形成されるのではなく、基板内部の改質層の近傍において、走査方向に隣接する線状加工痕がつながったような面状の加工痕が形成される。このような面状の加工痕が形成される「面状加工」と、線状加工痕が形成される「線状加工」と、の境界について以下に検討する。

20

【 0 0 5 8 】

図 1 3 は、厚み 200 μm のサファイア基板に対して、集光点の位置を -150 μm に設定し、走査速度を 200mm/s でレーザを照射し、走査した場合の基板内部の顕微鏡写真である。なお、他のレーザ照射条件は前述の条件と同様である。

【 0 0 5 9 】

この図 1 3 では、裏面加工（面状加工）痕の中に、部分的に線状加工痕が形成されているのが観察される。すなわち、この図 1 3 に示された加工における条件が、面状加工と線状加工の境界の条件であると推測される。図 1 3 における加工の、単位体積あたりに吸収されるエネルギーは、以下の式で求めることができる。

30

【 0 0 6 0 】

出力(J/s) ÷ (走査速度(m/s) × 改質層サイズ(m) × ビーム直径(m))

具体的には、図 1 2 の例では、単位体積あたりに吸収されるエネルギーは、
 $3.2(\text{J/s}) / (200(\text{mm/s}) \times 72(\mu\text{m}) \times 14.6(\mu\text{m})) = 1.5 \times 10^{10} (\text{J/m}^3)$

となる。図 1 4 に、様々な加工結果について、単位体積あたりに吸収されるエネルギーを計算した結果を示す。この図 1 4 から、面状加工になる場合は、単位体積あたりに吸収されるエネルギーが $2.0 \times 10^{10} (\text{J/m}^3)$ 以上であることがわかる。以上より、単位体積あたりに吸収されるエネルギー $2.0 \times 10^{10} (\text{J/m}^3)$ をしきい値として加工状態が変化し、しきい値以下では線状加工痕が形成され、しきい値を越えると隣接する線状加工痕がつながったような面状の加工痕が形成されると考えられる。

40

【 0 0 6 1 】

[まとめ]

以上をまとめると、サファイア基板の内部に、周期的な線状加工痕を形成するためには、以下の条件で加工することが必要である。

【 0 0 6 2 】

(1) 透過性のパルスレーザを基板に照射すること。

【 0 0 6 3 】

(2) レーザパルスをオーバーラップさせること。

【 0 0 6 4 】

(3) 基板裏面で、ビーム強度が 8.8×10^{12} W/m² 以上であること。

50

【 0 0 6 5 】

(4) 基板表面までの間に、ビーム強度が 8.8×10^{12} W/m²を下回ること。

【 0 0 6 6 】

(5) 単位体積当たりに吸収されるエネルギーが、 2.0×10^{10} (J/m³) 以下であること。

【 0 0 6 7 】

以上のような条件でサファイア基板を加工することによって、分断予定ラインに沿って周期的な線状加工痕を形成することができる。そして、このような線状加工痕を形成することによって、基板の強度を著しく劣化させることなく、後工程での分断を容易に行うことができる。また、サファイア基板の品質の劣化を抑えることができ加工痕面積を小さく抑えることができ、最終製品として例えば発光ダイオードを形成した場合には、発光効率の良い素子を形成することができる。

10

【 0 0 6 8 】

特に、基板内部に改質層を形成し、この改質層を起点として線状加工痕を形成しているので、基板の表面又は裏面に形成された素子へのダメージを抑えることができる。

【 0 0 6 9 】

[他の実施形態]

本発明は以上のような実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲を逸脱することなく種々の変形又は修正が可能である。

【 0 0 7 0 】

前記の第1工程及び第2工程の具体例では、各工程でレーザー光の波長を変えているが、両工程で同じ波長にするのが好ましいことはもちろんである。

20

【 0 0 7 1 】

前記実施形態では、ウェハを構成する基板として、サファイア基板を例にとって説明したが、他の脆性材料基板においても本発明を同様に適用することができる。ただし、しきい値は基板材質によって異なる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 2 】

2 サファイア基板

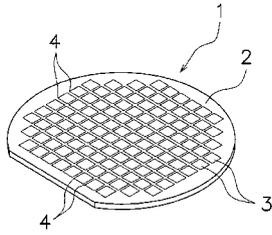
4 分断予定ライン

10 レーザ加工痕

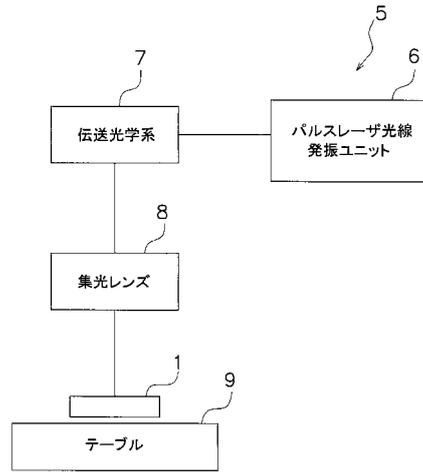
M, M1 ~ M3 改質層

30

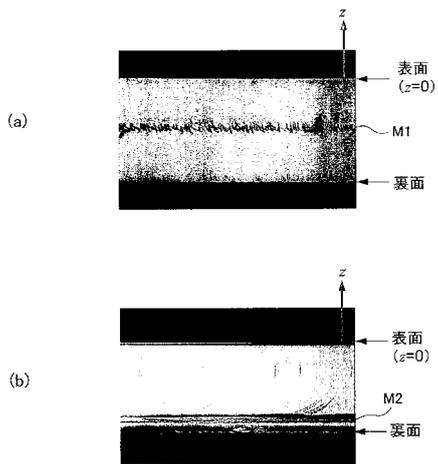
【図1】



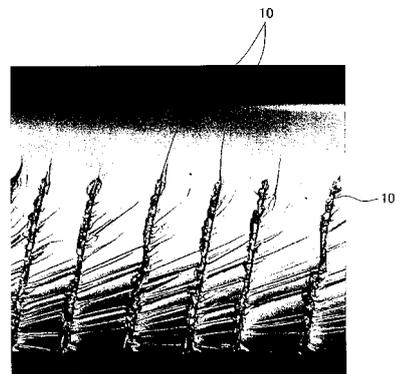
【図2】



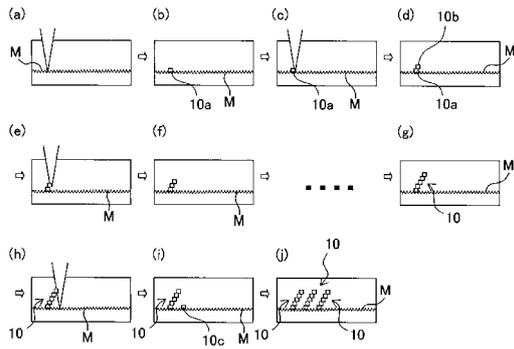
【図3】



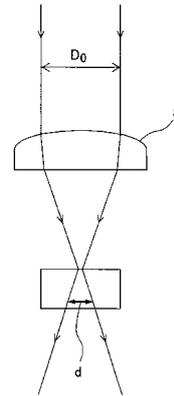
【図4】



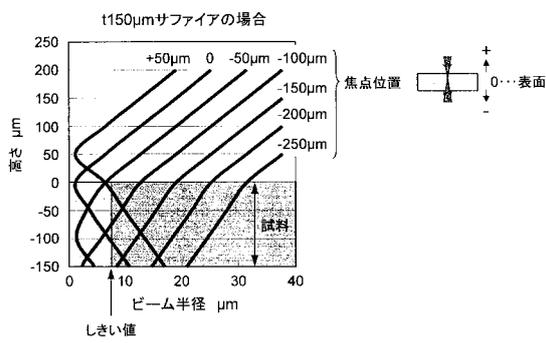
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】



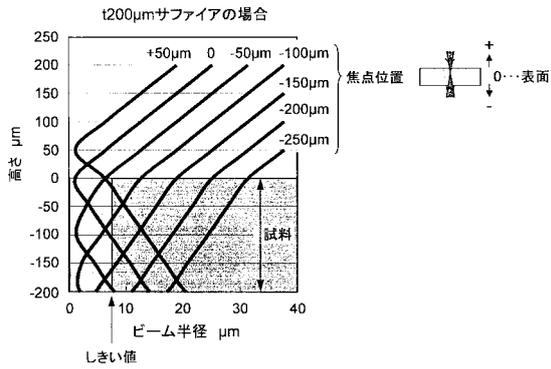
【図9】

実験結果との比較-t150μm

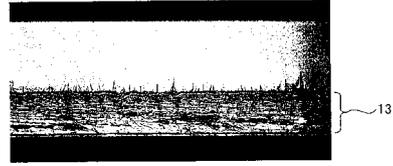
焦点位置	シミュレーションから 推測される結果	実験結果(3.2W)		
	ビーム半径8μmを しきい値とした場合	走査速度 100mm/s	走査速度 200mm/s	走査速度 400mm/s
+50μm	×	×	×	
0	×	○	○	×
-50μm	○	○	○	○
-100μm	◎		◎	◎
-150μm	×	△		×
-200μm	×	×	×	×

◎線状加工
○表面加工
△裏面加工
×加工不可

【図10】



【図11】



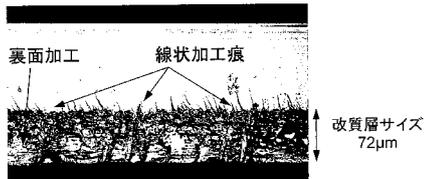
【図12】

実験結果との比較-t200μm

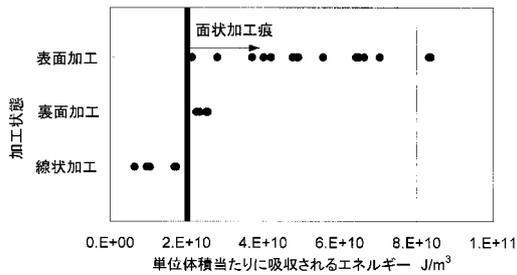
焦点位置	シミュレーションから 推測される結果	実験結果 (3.2W)		
	ビーム半径8μmを しきい値とした場合	走査速度 100mm/s	走査速度 200mm/s	走査速度 400mm/s
+50μm	x	x	x	x
0	x	x	○	x
-50μm	○	○	○	○
-100μm	◎	◎	◎	◎
-150μm	△	x	x	x
-200μm	x	△	x	x

◎線状加工
○表面加工
△裏面加工
x加工不可

【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 L 21/78

B

(56)参考文献 特開2008-068319(JP,A)

特開2012-050988(JP,A)

特開2008-006652(JP,A)

特開2004-343008(JP,A)

特開2009-166103(JP,A)

(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 26/38

B 2 3 K 26/40

B 2 8 D 5/00