

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5221007号
(P5221007)

(45) 発行日 平成25年6月26日(2013.6.26)

(24) 登録日 平成25年3月15日(2013.3.15)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 33/22	(2010.01)	H01L 33/00	172
H01S 3/00	(2006.01)	H01S 3/00	B
H01L 21/301	(2006.01)	H01L 21/78	B
B23K 26/00	(2006.01)	B23K 26/00	D
B23K 26/04	(2006.01)	B23K 26/04	C

請求項の数 4 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2006-152023 (P2006-152023)

(22) 出願日

平成18年5月31日 (2006.5.31)

(65) 公開番号

特開2007-324326 (P2007-324326A)

(43) 公開日

平成19年12月13日 (2007.12.13)

審査請求日

平成20年9月29日 (2008.9.29)

前置審査

(73) 特許権者 000000011

アイシン精機株式会社

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地

(73) 特許権者 000241463

豊田合成株式会社

愛知県清須市春日長畠1番地

(74) 代理人 100094112

弁理士 岡部 譲

(74) 代理人 100106183

弁理士 吉澤 弘司

(74) 代理人 100128657

弁理士 三山 勝巳

(74) 代理人 100160967

弁理士 ▲濱▼口 岳久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】発光ダイオードチップ及びウェハ分割加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

二つの背向する面を持つ透明基板の一方の面に発光層を含む半導体膜が積層されたウェハを分割して発光ダイオードチップを作製するウェハ分割加工方法であって、

希土類ドープモードロックファイバーレーザベースのフェムト秒レーザ装置によって、前記ウェハに対し光学的に透明な波長を有する、パルス幅がフェムト秒オーダの繰り返し短光パルスレーザビームを集光レンズを介して該ウェハの他方の面を入射面として入射させ、前記レーザビームのウエストが前記ウェハの内部に存在するように前記集光レンズの焦点位置を調整し、該レーザビームの光軸を該ウェハに対して想定された分割ラインに沿って該ウエストのスポットが空間的に分離するように該ウェハに対して相対的に移動させながら、該ウェハの該入射面に該レーザビームを入射する毎に、該ウエストの領域に多光子吸収による光誘起破壊を起こさせる第1の内部加工工程と、

前記レーザビームのウエストが前記ウェハの前記入射面の表層部に存在するように前記集光レンズの焦点位置を調整し、該レーザビームの光軸を前記分割ラインに沿って該ウエストのスポットが空間的に繋がるか或いは重なるように該ウェハに対して相対的に移動させながら、該ウェハの該入射面に該レーザビームを入射する毎に、該ウエストの領域に多光子吸収による光誘起破壊を起こさせて溝を形成する溝加工工程と、

前記溝に沿って前記ウェハを分割する分割加工工程とを含み、

前記発光ダイオードチップのチップ分割面に凹凸が形成されることを特徴とするウェハ

10

20

分割加工方法。

【請求項 2】

前記レーザビームのウエストが前記ウェハの前記第1の内部加工工程での光誘起破壊域と前記入射面との間に存在するように前記集光レンズの焦点位置を調整し、該レーザビームの光軸を該ウェハに対して前記分割ラインに沿って該ウエストのスポットが空間的に分離するように相対的に移動させながら、該ウェハの該入射面に該レーザビームを入射する毎に、該ウエストの領域に多光子吸収による光誘起破壊を起こさせる第2の内部加工工程をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載のウェハ分割加工方法。

【請求項 3】

前記集光レンズの開口数が0.3以上であることを特徴とする請求項1又は2に記載のウェハ分割加工方法。 10

【請求項 4】

前記第2の内部加工工程の光誘起破壊域の上部と前記溝加工工程の溝底部とがつながるように該第2の内部加工工程及び該溝加工工程で集光レンズの焦点位置調整を行うことを特徴とする請求項2又は3に記載のウェハ分割加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、透明基板に発光層を含む半導体膜が積層されたウェハから分割された発光ダイオードチップと、そのウェハ分割方法に関する。なお、本明細書では、透明基板に所謂ウェハプロセス（洗浄、拡散イオン注入、薄膜成長、エピタキシャル成長、フォトリソグラフィ、電極形成、など）を施した段階の基板をウェハということにする。 20

【背景技術】

【0002】

発光ダイオード、特にIII族窒化物を発光層に用いる青色LEDは、総発光量を大きくするために、光の取り出し効率（外部量子効率）を高める工夫が必要である。透明基板の界面では臨界角以内の入射角の光しか外に出ないので、外部量子効率を高めるために、たとえば、半導体膜が積層された面と反対側の面を粗面にすることが行われている（たとえば、特許文献1参照。）。

【特許文献1】特開2001-217467号公報

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上記従来の発光ダイオードは、半導体膜が積層された面と反対側の面を粗面にして、外部量子効率を高めているが、半導体膜積層側を実装架台に固定するいわゆるフリップチップボンディングタイプにしか適用できない。半導体膜が積層された面と反対側を放物面鏡を持つ実装架台に固定するタイプに適用しても、外部量子効率が高くならない。すなわち、従来の発光ダイオードは、実装方向に影響される問題を有している。

【0004】

また、透明基板の半導体膜が積層された面と反対側の面を粗面にするためには、フォトリソやウェットエッティングといった新たな工程が必要となり、環境負荷が増え、スループットが低下する。その結果、ダイオード作製コストが上昇する。 40

【0005】

本発明は、上記従来の発光ダイオードの問題に鑑みてなされたもので、実装方向に影響されない、作製コストが安価な発光ダイオードチップ及びウェハからチップへの分割加工方法を提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

課題を解決するためになされた請求項1に係る発明は、発光ダイオードチップであって、二つの背向する面を持つ透明基板の一方の面に発光層を含む半導体膜が積層され、該二 50

つの背向する面に直交するチップ分割面に凹凸が形成されていることを特徴としている。

【0007】

分割面に凹凸が形成されているので、分割面からの光取り出し効率が高くなる。また、分割面から取り出すので、実装方向に影響されない。

【0008】

課題を解決するためになされた請求項2に係る発明は、二つの背向する面を持つ透明基板の一方の面に発光層を含む半導体膜が積層されたウェハから分割して発光ダイオードチップにするウェハ分割加工方法であって、前記ウェハに対し光学的に透明な波長を有する繰り返し短光パルスレーザビームを集光レンズを介して該ウェハの他方の面又は一方の面に入射したとき、前記レーザビームのウエストが前記ウェハの内部に存在するように前記集光レンズの焦点位置を調整し、該レーザビームの光軸を該ウェハに対して想定された分割ラインに沿って該ウエストのスポットが空間的に分離するように相対的に移動させながら、該ウェハの該レーザビームが入射する入射面に該レーザビームを入射する毎に、該ウエストの領域に多光子吸収による光誘起破壊を起こさせる内部加工工程1と、前記レーザビームのウエストが前記ウェハの前記入射面の表層部に存在するように前記集光レンズの焦点位置を調整し、該レーザビームの光軸を前記分割ラインに沿って該ウエストのスポットが空間的に繋がるか或いは重なるように相対的に移動させながら、該ウェハの該入射面に該レーザビームを入射する毎に、該ウエスト領域に多光子吸収による光誘起破壊を起こさせる溝加工工程と、を含み、前記発光ダイオードチップのチップ分割面に凹凸が形成されていることを特徴としている。

10

【0009】

内部加工工程でウェハの内部の分割ラインに沿ってウエスト領域が空間的に分離して連なり、そのウエスト領域が光誘起破壊域となる。したがって、光誘起破壊域が分割面に分割ラインに沿って空間的に分離して連なり、光誘起破壊域が凹、光誘起破壊域と隣の光誘起破壊域との間が凸となる。分割面すなわち二つの背向する面を持つ透明基板の一方の面に発光層を含む半導体膜が積層されたウェハの該二つの背向する面に直交する面に凹凸が形成されているので、その直交する面(分割面)からの光取り出し効率が高くなる。また、ウェハの分割加工時に分割面に凹凸が形成されるので、光取り出し効率を高くするための新たな工程を必要とせず、発光ダイオードチップを安価に作製することができる。

20

【0010】

なお、本明細書における光誘起破壊は、ピコ秒～フェムト秒オーダの短光パルスレーザビームを被加工材料に集光することで、その集光領域(ウエスト領域)が断熱加工されることである。

30

【0011】

請求項3に係る発明は、請求項2に記載のウェハ分割加工方法であって、前記レーザビームのウエストが前記ウェハの前記内部加工工程1での光誘起破壊域と前記入射面との間に存在するように前記集光レンズの焦点位置を調整し、該レーザビームの光軸を該ウェハに対して前記分割ラインに沿って該ウエストのスポットが空間的に分離するように相対的に移動させながら、該ウェハの該入射面に該レーザビームを入射する毎に、該ウエストの領域に多光子吸収による光誘起破壊を起こせる内部加工工程2が設けられていることを特徴としている。

40

【0012】

分割面の凹凸領域が厚さ方向に2段形成されるので、請求項2の分割加工方法で分割されたチップより、分割面からの光取り出し効率が高い。

【0013】

また、請求項4に係る発明は、請求項2或いは3に記載のウェハ分割加工方法であって、前記集光レンズの開口数が0.3以上であることを特徴としている。

【0014】

開口数が0.3以上であるとウエストが急激に細くなるので、ウエスト領域のみが光誘起破壊域となり、凹部の大きさ(幅)が小さくなる。その結果、取り出し効率が向上する

50

。また、開口数が0.3以上であると、先に溝加工工程を実施し、その後内部加工工程を実施することもできる。

【0015】

また、請求項5に係る発明は、請求項3に記載のウェハ分割加工方法であって、前記内部加工工程2の光誘起破壊域の上部と前記溝加工工程の溝底部とがつながるように該内部加工工程2及び該溝加工工程で集光レンズの焦点位置調整を行うことを特徴としている。

【0016】

力を加えてウェハを想定された分割ラインに沿って分割する際、内部加工工程による光誘起破壊域が溝加工工程による溝底部とつながっているので、分割ラインに沿って確実に分割することができる。

10

【発明の効果】

【0017】

内部加工工程でウェハの内部の分割ラインに沿ってウェスト領域が空間的に分離して連なり、そのウェスト領域が光誘起破壊域となる。したがって、光誘起破壊域が分割面に分割ラインに沿って空間的に分離して連なり、光誘起破壊域が凹、光誘起破壊域と隣の光誘起破壊域との間が凸となる。分割面すなわち二つの背向する面を持つ透明基板の一方の面に発光層を含む半導体膜が積層されたウェハの該二つの背向する面に直交する面に凹凸が形成されているので、その直交する面(分割面)からの光取り出し効率が高くなる。また、ウェハの分割加工時に分割面に凹凸が形成されるので、光取り出し効率を高くするための新たな工程を必要とせず、発光ダイオードチップを安価に作製することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

先ず、本発明の発光ダイオードチップの実施形態を説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る発光ダイオードチップを支持体に実装したLEDの構造を模式的に示す。なお、倍率は不正確で、実際は、透明基板1の厚さが~100μmのオーダであるのに対して、発光層を含む半導体膜が積層された半導体層2の厚さは、~1μmのオーダである。発光ダイオードチップ3は、透明基板1であるサファイア基板の1面11'に、発光層を有する窒化物半導体膜が積層されて半導体層2となり、基板1の2面11'は、支持体6(この場合はリードフレームを示している)のカップの底部に接着剤5で接着されている。そして、基板1の1面11'と2面11'に直交するウェハからの分割面12、12' (図示しない紙面に平行な分割面13、13')には、凹凸が形成されている。なお、4は、窒化物半導体層の正極、及び負極に形成されたオーミック電極であり、このオーミック電極4からワイヤーボンドされて電極がリードフレームと接続されている。

30

【0019】

透明基板1は、半導体層2の半導体結晶が成長できる基板であればどのような基板でもよく、例えば、サファイア、スピネルのような酸化物系の透明な絶縁体基板の他、酸化亜鉛、窒化ガリウムのような透明な半導体基板も使用可能である。これらの基板は、1面11'側に形成された窒化物半導体の発光を透過する。なお、ここでいう透明とは、発光ダイオードの光の大部分(発光光量の80%以上、望ましくは90%以上)を透過可能であることをいう。

40

【0020】

透明基板1の1面11'に形成される窒化物半導体層2は、例えば、n型GaNコンタクト層+n型AlGaNクラッド層+InGaN活性層+p型AlGaNクラッド層+p型GaN層等を積層したダブルヘテロ構造で形成される。また、この他、p-n接合を有するシングルヘテロ構造、ホモ構造、i層を発光層とするMIS構造等に窒化物半導体が積層されて発光層が形成される。

【0021】

透明基板1の分割面12、12' (分割面12、12' と交差する二つの分割面)への凹凸の形成は、ウェットエッティングやフォトリソグラフィ等で行われてもよいが、後述する本発明のウェハ分割加工方法で分割と同時に行われることが望ましい。別途凹凸形成工

50

程を必要とせず、チップ製造コストを下げることができる。

【0022】

透明基板1の2面11と支持体5とを接続する接着剤5は、高分子材料でもよいが、金属を含む導電性材料が望ましい。チップ3の熱を支持体6に効率よく逃がすことができるからである。導電性材料からなる接着剤として、例えば、銀ペーストやInペースト等を用いることができる。

【0023】

支持体6には、多くの種類があり、例えば、リードフレーム、ステム等の金属支持体、アルミナ基板等のセラミック製支持体等を挙げることができる。発光ダイオードチップ3は、これらの支持体上に2面11側が接着剤5を介して載置される。つまりフェースアップと呼ばれる形式で載置される。

【0024】

図1に矢印で示すように、本発明のLEDにおいて、透明な窒化物半導体層2からの発光は、同じく透明なサファイア基板1の中を透過して分割面12、12'（分割面12、12'を交差する二つの分割面）に到達する。分割面が鏡面であると、臨界角より大きな入射角の光は、外に出射できないが、凹凸が形成されているため、臨界角より大きな入射角の光も凹凸の切片では臨界角条件をはずれ、外に出射することができる。したがって、光の取り出し効率（外部量子効率）が高くなる。

【0025】

本発明の発光ダイオードチップは、分割面からの光の取り出し効率が高いので、図1のような所謂フェースアップ形式に限定されることはない。電極4が下向きに支持される所20謂フリップチップボンディング形式でも有効に光を取り出すことができる。

【0026】

次に本発明のウェハ分割加工方法を、例えばサファイア基板に発光層を含む半導体膜が積層され個々の発光素子として機能するようにパターンニングされたウェハからチップに分割する場合について説明する。

【0027】

<内部加工工程> 先ず、内部加工工程を図2～図5と共に説明する。図2で、10がサファイア基板、20がパターンングされた半導体層、半導体層20が積層されていない面11に点線で示す15が分割ラインである。分割ライン15は、半導体層20が積層されている面11'側では、半導体層20の間をとおるように設定されている。図2に示すように、ウェハ100のサファイア基板10によって線形吸収を起こさないような波長を有する、例えば、希土類ドープモードロックファイバレーザベースのフェムト秒レーザ装置から、発生された、例えば、400 fsのパルス幅を有する短光パルスレーザビーム5が使用される。この短光パルスレーザビーム5は、ウェハ100のサファイア基板10の半導体層20が積層されていない面11に対して、垂直に且つビーム30のウエスト31が基板1の内部に位置するように集光レンズ200で絞り込まれて入射される。この場合、当該内部加工工程を実施する前に、後述する加工装置（図12）の駆動部で光学ベンチをZ軸方向に微動させ、サファイア基板の面11と集光レンズ200との間隔距離を調整することにより、レーザビーム30のビームウエスト31が基板10の面11から深さ方向に所定の距離入った位置に存在するように設定される。

【0028】

上記集光レンズ200により集光された短光パルスレーザビーム30のウエスト31の面11に垂直な方向（深さ方向）所定位置d0への設定は、先ず、照明光源を用いて上記集光レンズ200の焦点を基板10の面11に設定し、次いで、集光レンズ200を基板10の面11側に所定の距離d移動させることにより行われる。前記所定距離dとd0の関係は、レーザビーム30の波長λと基板10の屈折率n(λ)に依存し、

$$d_0 = n(\lambda) d \quad (1)$$

と表される。例えば、基板10の厚さが200 μmで、面11から深さ方向に80 μmの位置にウエスト31を設定する場合、d0=80 μm、n(λ)=1.75から、d=4

10

20

30

40

50

5.7 μmと求まり、集光レンズ200を面11側に44.4 μm移動させればよい。

【0029】

短光パルスレーザビーム30の光軸OLが、サファイア基板10の面11に想定された分割ライン15（図2中に点線で示す）に沿って、所定の内部加工速度V_{in}をもって矢印D方向（図2のA-A線から見た一部切欠け断面図である図3においては、紙面に平行方向）に、基板10の面11に対して、相対的に移動させられる。このとき、パルスレーザビーム30の各パルスは、基板10の面11に図2中×印を付して示すように、レーザビーム30のパルス繰り返し周期Rと内部加工移動速度V_{in}で一義的に定まる間隔Lをもってレーザビーム照射領域であるウエスト領域S、S（図4参照）に入射する。ここで、間隔Lは

$$L = V_{in} / R \quad (2)$$

と表される。

【0030】

図4は、図3のビームウエスト付近を拡大して模式的に示した図で、実線がある時刻でのパルスによるビームウエスト形状を、点線が次のパルスでのビームウエスト形状を示している。今、図4に示すように、図示しない集光レンズを介して絞り込まれた短光パルスレーザビーム30の一つのパルスがサファイア基板10の内部d0の深さの位置にウエスト領域Sを形成するとする。このウエスト領域Sは、例えば、5 TW/cm²（パルス幅400 fsとすると、フルーエンス2 J/cm²に相当）の高パワー密度の光が照射されると、多光子吸収が惹起され、光誘起破壊域となる。

【0031】

ビームウエストのスポット径を2W₀とすると、レーザビームがシングルモードの場合、

$$2W_0 = (4 /) (f / 2a) \quad (3)$$

と表される。ここで、fは集光レンズ200の焦点距離、2aは集光レンズに入射するレーザビーム30のビーム径である。

【0032】

上記所定の内部加工移動速度V_{in}は、隣り合うウエストのスポット或いはウエスト領域S、Sが空間的に分離するように定められる。そのためには、L > 2W₀を満たす必要があり、(2)式から、V_{in} > 2W₀Rにすればよいことがわかる。

【0033】

今、V_{in} > 2W₀Rとすることで、図4Aに示すようにウエスト領域S、Sが分離したとすると、後述するように分割ライン15にくさびを押し当てて分割すると、図4Aに示す断面が現れる。図4AのC-C断面では、図4Bに示すように光誘起破壊域S、Sが凹になり、SとSの間が凸になる。図4は、二つのパルスでの光誘起破壊域S、Sしか示していないが、短光パルスレーザビーム30の光軸OLが、分割ライン15に沿って、内部加工速度V_{in}をもって矢印D方向に、相対的に移動させられるので、順次光誘起破壊域が形成される。すなわち、光誘起破壊域(S、S)が横方向に繰り返される。

【0034】

ビームウエスト31を面11から内部深さ方向d0の位置に設定して内部加工を行う上記内部加工工程1の後、ビームウエスト31をd1(<d0)の位置に設定して、内部加工工程2を行うことが好ましい。ウエスト領域Sが分割面12に2段に形成される（図5A参照。）。したがって、分割面の凹凸領域が増えるので、それだけ分割面からの光取り出し効率を高めることができる。なお、後述の実施例では、順次ビームウエスト位置を上（面11側）に上げて内部加工工程19まで行っている。図5bは、図5AのE-E断面図であるが、ウエスト領域を2段形成すると、厚み方向にも凹凸ができる。凹の幅は、ほぼウエスト領域Sの厚み方向の幅2Zrに等しい。ここでZrは、例えば、レーリーレンジとすると、シングルモードのレーザビーム（ガウスビーム）を集光レンズで集光したときのビーム径がウエスト31でのスポット径の2倍以内である距離である。レーリーレンジZrは

10

20

30

40

50

$$Zr = (4 /) (1 / 2a)^2 (4)$$

と表される。ここで、例えば、波長 = 1.045 μm のレーザビームを集光する場合、NA = 0.65 のとき、f = 4 mm、2a = 3 mm を代入すると、Zr = 2.4 μm、となる。また、NA = 0.24 のとき、f = 20 mm、2a = 3 mm を代入すると、Zr = 59 μm となる。したがって、NA が大きいほど Zr が小さく、反対に NA が小さいほど Zr が大きくなることがわかる。発明者等の実験によれば、NA が 0.3 以上のとき分割面からの光取り出し効率の観点で好ましいことがわかった。NA が 0.4 以上がさらに望ましい。なお、後述の溝加工工程を先に行い、その後内部加工工程を行う場合は、NA = 0.5 以上が好ましい。面 11 の表層部に溝が加工されていても、その溝を挟んで内部にレーザビームを効率よく集光することができる。NA が大きいと、集光ビームの溝でのケラレが少なくなるからである。

10

【0035】

<溝加工工程> 次に、溝加工工程を図 6～8と共に説明する。図 6、8 で、10 がサファイア基板、20 がパターニングされた半導体層である。図 6 で半導体層 20 が積層されていない面 11 に点線で示す 15 が分割ラインである。分割ライン 20 は、半導体層 20 が積層されている面 11' 側では、半導体層 20 の間をとあるように設定されている。この場合、当該溝加工工程を実施する前に、後述する加工装置（図 12）の駆動部で光学ベンチを Z 軸方向に微動させ、サファイア基板の面 11 と集光レンズ 200 との間隔距離を調整することにより、レーザビーム 5 のビームウエスト 31 が基板 10 の面 11 或いはその近辺の表層部（図 7B に示すように、面 11 から深さ方向に所定距離 下がった位置）に存在するように設定される。

20

【0036】

上記集光レンズ 200 により集光された短光パルスレーザビーム 30 のウエスト 31 の面 11 への設定は、照明光源を用いて上記集光レンズ 200 の焦点を基板 10 の面 11 に設定することで行われる。また、上記集光レンズ 200 により集光された短光パルスレーザビーム 30 のウエスト 31 の面 11 に垂直な方向（深さ方向）下がった位置への設定は、集光レンズ 200 を基板 10 の面 11 側に所定の距離 d 移動させることにより行われる。この d は（1）式で $d_0 = \dots$ として求められる。

【0037】

短光パルスレーザビーム 30 の光軸 OL が、サファイア基板 10 の面 11 に想定された分割ライン 15（図 2 中に点線で示す）に沿って、所定の溝加工速度 Vm をもって矢印 D 方向（図 6 の B-B 線から見た一部切欠け断面図である図 7 においては、紙面に平行方向）に、基板 10 の面 11 に対して、相対的に移動させられる。このとき、パルスレーザビーム 30 の各パルスは、レーザビーム 30 の隣合うパルスのスポットが接する（基板 10 の面 11 に図 6 中 印を付して示すように、）か或いは一部重なるように溝加工移動速度 Vm を設定する。

30

【0038】

上記所定の溝加工移動速度 Vm は、隣り合うウエスト領域 S、S' が空間的に接するか或いは一部重なるように定められる。そのためには、 $Vm > 2W_0 R$ にすればよい。 $Vm = 2W_0 R$ のときが図 7 のように S と S' が接する場合、 $Vm < 2W_0 R$ のときが S と S' が重なる場合である。

40

【0039】

図 7 は、ビームウエスト付近を拡大して模式的に示した図で、実線がある時刻でのパルスによるビームウエスト形状を、点線が次のパルスでのビームウエスト形状を示している。今、図 7 に示すように、図示しない集光レンズを介して絞り込まれた短光パルスレーザビーム 30 の一つのパルスがサファイア基板 10 の面 11 或いはその近辺の表層部の深さの位置にウエスト領域 S を形成するとする。このウエスト領域 S は、例えば、 $5 \text{ TW} / \text{cm}^2$ （パルス幅 400 fs とすると、フルーエンス $2 \text{ J} / \text{cm}^2$ に相当）の高パワー密度の光が照射されると、多光子吸収が惹起され、光誘起破壊域となる。

【0040】

50

今、例えば、 $V_m = 2 W_0 R$ とすることで、図 7 に示すようにウエスト領域 S、S' が接し、図 8 に示すように加工域が連続した溝 16 が形成される。なお、この溝加工工程での光誘起破壊域からは蒸気や粒子が外部に噴出されるが、この面 11 には半導体層 20 が積層されていないので、所謂デブリが問題にならない。

【0041】

なお、後述の実施例では、図 7A に示すように、最初ビームウエストを基板 10 の面 1 に設定して溝加工を行った後、ビームウエストを面 11 から $3 \mu m$ 下がった位置に設定して、さらに溝加工を行い、溝の深さを深くしている。こうすることで、より確実に分割することができる。

【0042】

<分割加工工程> 次に、上記内部加工工程で分割ラインに沿って形成されたサファイア基板 30 の内部光誘起破壊域と、上記溝加工工程で当該分割ラインに沿って形成された基板 10 の面 11 に形成された溝とを介して分割又は割断する工程について図 9 と共に説明する。図 9 で、10 がサファイア基板、20 がパターニングされた半導体層、16 が分割ラインに沿って形成された溝である。まず、図 9 に示すように、上述した内部加工及び表面溝加工されたウエハ 100 の分割ラインに沿って形成された溝 16 の両側部（図 9 中白抜き矢印 17 で示す部分）を保持又は固定する一方、基板 10 の他面 11 における上記溝 16 に対応する部分（図 9 中、白抜き矢印 18 で示す部分）に図示しないブレーク刃等の刃先を押し当てて押圧することにより、溝 16 に歪み応力を集中作用させ、上記ウエハ 100 を分割ラインに沿って簡単且つ容易に分割又は割断することができる。

【0043】

次に本発明の分割加工方法を実施する分割加工装置を図 12 と共に説明する。分割加工装置は、レーザビーム 30 を発生するレーザ装置 50 と、レーザビーム 30 を ON - OFF 制御するシャッター 54 と、レーザビーム 30 を透過するダイクロイックミラー 55 と、ダイクロイックミラー 55 を透過したレーザビーム 30 を集光する集光レンズ 200 と、集光レンズ 200 で集光されたレーザビーム 30 が Z 軸方向から入射される加工対象物のウエハ 100 が載置される載置台 57 と、載置台 57 を X 軸方向に移動させるための X 軸ステージ 71 と、載置台 57 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 72 と、載置台 57 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 73 と、制御用パソコン 80 と、を備える。

【0044】

分割加工装置は、さらに、載置台 57 に載置されたウエハ 100 を可視光線で照明して観察するための可視光線を発生する観察光源 63 と、観察光源 63 からの可視光線を 90° 曲げてダイクロイックミラー 55 に入射させるハーフミラー 56 と、集光レンズ 200 、ダイクロイックミラー 55 、及びハーフミラー 56 を介してウエハ 100 を撮像する CCD カメラ 62 を備える。

【0045】

分割加工装置はさらに、レーザ装置 50 、シャッター 54 、ダイクロイックミラー 55 、集光レンズ 200 、ハーフミラー 56 、観察光源 63 、及び CCD カメラ 62 を配置する光学ベンチ 64 と、光学ベンチ 64 を Z 軸方向に駆動する駆動部 61 と、を備える。

【0046】

シャッター 54 、観察光源 63 、CCD カメラ 62 、及び駆動部 61 は制御用パソコン 80 に接続されており、シャッター 54 、観察光源 63 の ON - OFF 制御、CCD カメラ 62 の撮像データ処理、駆動部 61 の駆動制御が行われる。したがって、制御用パソコン 80 からの命令でレーザビーム 30 のウエスト位置（焦点位置）31 を CCD カメラ 62 で撮像して制御用パソコン 80 のモニター上で観察することができる。

【0047】

レーザ装置 50 は、発振モジュール 51 と、発振モジュール 51 から発振されたレーザ光を伝播するファイバ 53 と、ファイバ 53 を伝播してきたレーザ光を增幅する増幅モジュール 52 と、発振モジュール 51 からのレーザ光の出力、パルス幅、繰返し周波数を制

10

20

30

40

50

御するレーザコントローラ54と、を備える。レーザコントローラ54はパソコン80に接続されており、パソコン80からの命令で動作する。発振モジュール51は、Er、Yb共ドープのモードロックファイバレーザと、ファイバレーザから発振されたパルスレーザ光を受光して伸張されたパルスレーザ光を出力するファイバー伸張器と、伸張されたパルスレーザ光を受光してパルスを間引くパルス間引き器と、伸張されて間引かれたパルスレーザ光を受光して増幅されたパルスレーザ光を出力するファイバー前置増幅器と、を備える。増幅モジュール52は、発振モジュール51からのパルスレーザ光をファイバ53を通して受光してさらに増幅するファイバ主増幅器と、増幅されたパルスレーザ光を受光して圧縮されたパルスレーザ光を出力する圧縮器と、を備える。増幅モジュール52は光学ベンチ64にレーザビーム30がZ軸方向に出射されるように固定されている。増幅モジュール52からは波長が1045nm、平均出力が250mW、パルス幅が400~600fs、繰り返し周波数が50~200kHzのレーザビームLが出射される。

【0048】

レーザ装置50は、上記の他に、波長が300~1800nm、パルス幅が10fs~10ps、繰り返し周波数が50kHz~10MHzの性能を有するものであればよい。例えば、再生増幅タイプのTi:サファイアレーザ装置等を用いてもよい。レーザ装置50は、波長が700~1600nm、パルス幅が50fs~2ps、繰り返し周波数が50~300kHzのレーザビームを出力することが望ましい。この性能のレーザビームを用いると、分割面に形成される凹凸での光吸収が少なく、分割面からの光の取り出し効率をさらに高めることができるからである。

【0049】

以下に、上記構成の分割加工装置の操作手順について説明する。まず、シャッター54を閉じ、レーザ装置50を所定の繰り返し周波数で運転する。次にシャッター54を開いて集光レンズ200を出射するレーザビーム30のパルスエネルギーが所定の値になるよう

【0050】

次に、シャッター54を閉じて、載置台57に分割ライン15の方向がX軸方向になるようにウエハ100をセットする。次に、観察光源63をONしてCCDカメラ62でウエハ100の表面11を観察しながら、焦点位置が表面11の分割ライン15に一致するようにX軸ステージ71、Y軸ステージ72を移動させると共に、駆動部61で光学ベンチ64をZ軸方向に微動させる。

【0051】

次に、ウエスト位置31が表面11から所定の深さd0に位置するように、駆動部61で光学ベンチ64を表面11に近づける（下降させる）。

【0052】

次に、シャッター54をONしてレーザビーム30をウエスト位置に集光照射しながらウエハ100をX軸ステージ71でX軸方向に所定の移動速度V_{in}で移動させ、所定の距離移動させたらシャッター54をOFFする。

【0053】

次に、ウエスト位置31が表面11から所定の深さd1(<d0)に位置するように、駆動部61で光学ベンチ64を表面11から遠ざける（上昇させる）。

【0054】

次に、シャッター54をONしてレーザビーム30をウエスト位置に集光照射しながらウエハ100をX軸ステージ71でX軸方向に所定の移動速度V_{in}で移動させ、所定の距離移動させたらシャッター54をOFFする。

【0055】

次に、ウエスト位置31が表面11に位置するように、駆動部61で光学ベンチ64を表面11から遠ざける（上昇させる）。

【0056】

次に、シャッター54をONしてレーザビーム30をウエスト位置に集光照射しながら

10

20

30

40

50

ウエハ100をX軸ステージ71でX軸方向に所定の移動速度Vmで移動させ、所定の距離移動させたらシャッター54をOFFする。

【実施例】

【0057】

図10に示すように、内部加工を1段から順に19段まで行い、その後溝加工を20段、21段行った。

【0058】

加工条件

加工対象：サファイア単結晶（厚み $t = 500 \mu\text{m}$ ）

レーザ装置：Er、Yb共ドープモードロックファイバレーザベースフェムト秒レーザ装置

10

波長：1.045 μm

パルス幅：400 fs

パルス繰り返し周波数：100 kHz

集光レンズ：開口数0.65、焦点距離4 mm

集光レンズ透過後のパルスエネルギー：1.5 μJ

ビームウエストでのフルーエンス：160 J/cm²（計算値）

ビームウエストのパワー密度：400 TW/cm²（計算値）

レーザビーム入射面：サファイア結晶のC面（図10の11）

レーザビーム入射方向：C面に垂直（図10に白抜き矢印で示す方向）

内部加工段数：19段（図10の1段～19段）

20

1段目のウエスト位置：入射面から厚み方向内部に469 μm（集光レンズの焦点位置を入射面に合わせてから集光レンズを入射面に268 μm近づけたときの計算値）入った位置

内部加工段間の間隔：24.5 μm（前段の内部加工後に集光レンズを入射面から14 μm遠ざけたときの計算値）

内部加工移動速度V_{in}：400 mm/s

溝加工段数：2段（図10の20段、21段）

20段目のウエスト位置：入射面

21断面のウエスト位置：集光レンズの焦点位置を入射面に合わせてから集光レンズを入射面に3 μm近づけた位置

30

溝加工移動速度Vm：200 mm/s

【0059】

サファイア基板の分割加工結果を図11に示す。これは、上記加工条件で内部加工と溝加工を行った後、ブレーク刃の刃先を押し当てて押圧して分割した分割面の顕微鏡写真である。厚み方向に細長い白っぽく見える部分が光誘起破壊域で、非加工領域（黒っぽく見える部分）を挟んで分離して配列している。この白っぽく見える部分が紙面方向（分割面と直交する方向）に凹んでいて、その凹みの深さは約1 μmであった。また、移動方向の凹みのピッチは4～5 μmであった。

【0060】

次に、この分割面からの光取り出し効率を測定した。11面及び11'面を除く4面のうち測定面以外の3面を鏡面研磨し、11'面に表面実装型の青色LEDを屈折率1.55のUV硬化接着剤で接着した。そして、測定面から出射される光量を測定して、光取り出し効率が6%向上することを確認した。

40

【産業上の利用可能性】

【0061】

発光ダイオード、特に高輝度発光ダイオード産業に利用される可能性が極めて高い。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】本発明の一実施形態に係る発光ダイオードチップを支持体に実装したLEDの構造を示す模式断面図である。

50

【図2】本発明の分割加工方法における内部加工を説明する模式図である。

【図3】図2のA-A線から見た一部切欠断面図である。

【図4】図3のビームウエスト付近を拡大して模式的に示した図である。

【図5】内部加工を2段行うことを説明するためのウエスト領域を示す図である。

【図6】本発明の分割加工方法における溝加工を説明する模式図である。

【図7】図6のB-B線から見た一部切欠拡大断面図である。

【図8】溝加工後のウエハの斜視図である。

【図9】本発明の方法で分割加工されたウエハを分割する原理を説明する模式図である。

【図10】本発明の分割加工方法を用いてサファイア基板を分割加工する実施例の加工条件を説明するための模式図である。 10

【図11】本発明の分割加工方法を用いてサファイア基板を分割加工した実施例の分割面の顕微鏡写真である。

【図12】本発明の分割加工方法における内部加工工程及び溝加工工程を実施できる、分割加工装置を示すブロック図である。

【符号の説明】

【0063】

1、10・・・・・・透明基板(サファイア基板)

2、20・・・・・・半導体膜(半導体層)

11・・・・・・入射面

12・・・・・・分割面

15・・・・・・分割ライン

30・・・・・・レーザビーム

31・・・・・・ウエスト

100・・・・・・ウエハ

200・・・・・・集光レンズ

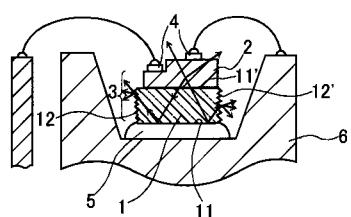
C L・・・・・・光軸

S、S・・・・・・ウエスト領域

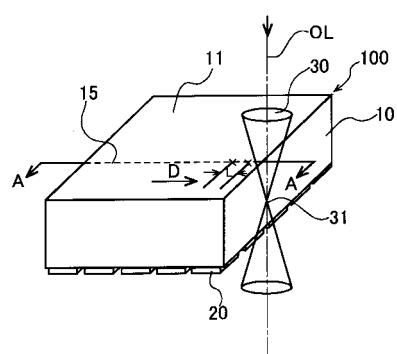
10

20

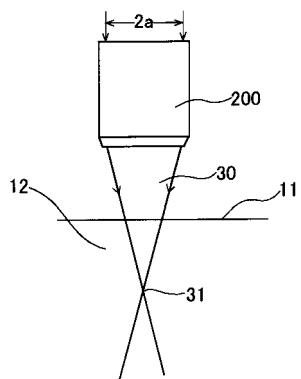
【図1】



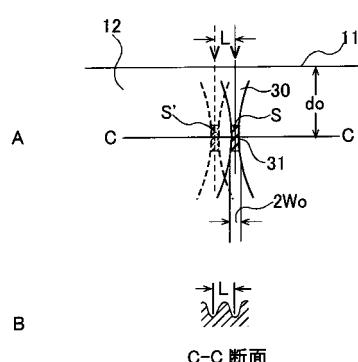
【図2】



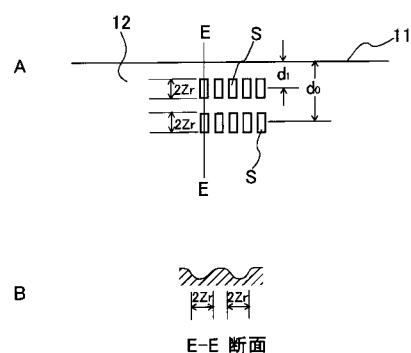
【図3】



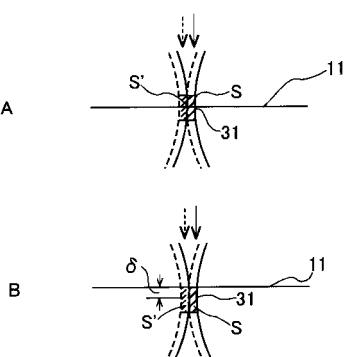
【図4】



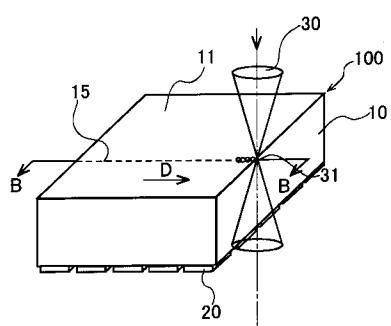
【図5】



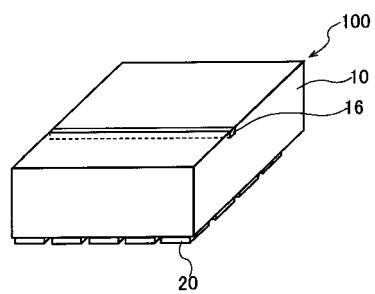
【図7】



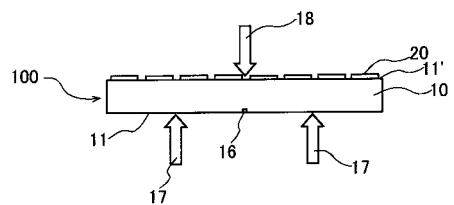
【図6】



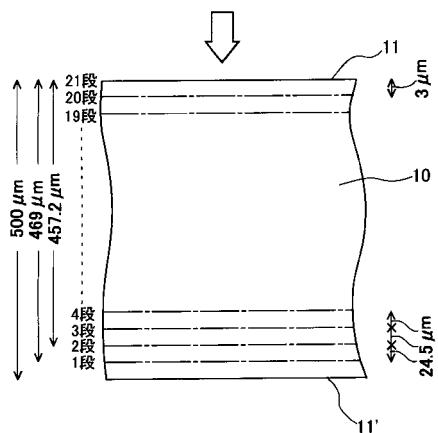
【図8】



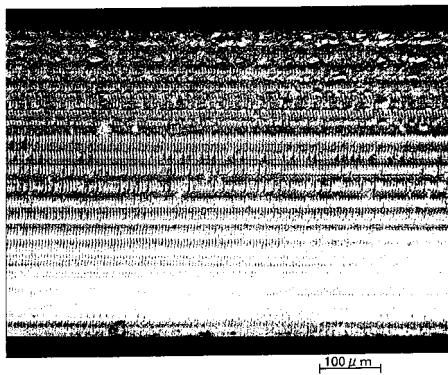
【図9】



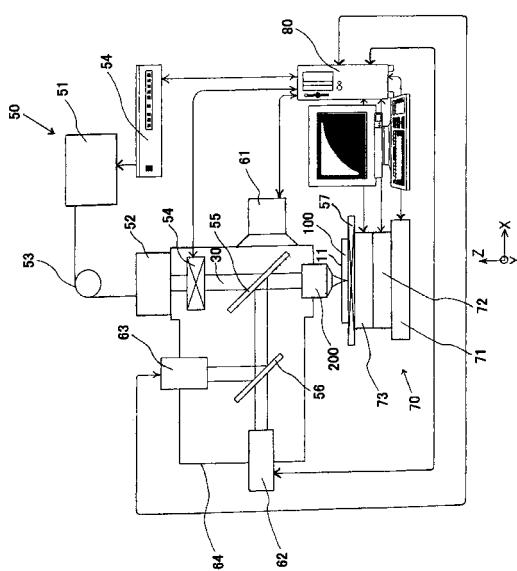
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I
B 23K 26/38 (2006.01)	B 23K 26/38 320
B 23K 26/40 (2006.01)	B 23K 26/40
B 23K 101/40 (2006.01)	B 23K 101:40

(74)代理人 100170601
弁理士 川崎 孝
(72)発明者 笹木 隆一郎
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機株式会社内
(72)発明者 前田 将
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内

審査官 百瀬 正之

(56)参考文献 特開2004-247411(JP,A)
特開2004-221112(JP,A)
特開2005-268329(JP,A)
特開平06-350135(JP,A)
特開2003-188410(JP,A)
特開平08-167738(JP,A)
特開2003-298107(JP,A)
特開2005-158971(JP,A)
特開2005-317663(JP,A)
特開2007-258672(JP,A)
特開2006-245066(JP,A)
特開2006-253298(JP,A)
特開2004-128445(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 33/00 - 33/64
H01L 21/301