

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5322418号
(P5322418)

(45) 発行日 平成25年10月23日 (2013. 10. 23)

(24) 登録日 平成25年7月26日 (2013. 7. 26)

(51) Int. Cl.	F I	
B 2 3 K 26/38 (2006. 01)	B 2 3 K 26/38	3 2 O
B 2 3 K 26/40 (2006. 01)	B 2 3 K 26/40	
B 2 3 K 26/06 (2006. 01)	B 2 3 K 26/06	A
B 2 3 K 26/00 (2006. 01)	B 2 3 K 26/00	H
H O 1 L 21/301 (2006. 01)	H O 1 L 21/78	B
請求項の数 9 (全 21 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2007-242846 (P2007-242846)	(73) 特許権者	000236436
(22) 出願日	平成19年9月19日 (2007. 9. 19)		浜松ホトニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2008-100284 (P2008-100284A)		静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1
(43) 公開日	平成20年5月1日 (2008. 5. 1)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成22年9月2日 (2010. 9. 2)		弁理士 長谷川 芳樹
(31) 優先権主張番号	特願2006-253259 (P2006-253259)	(74) 代理人	100092657
(32) 優先日	平成18年9月19日 (2006. 9. 19)		弁理士 寺崎 史朗
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(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	坂本 剛志
			静岡県浜松市東区市野町 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】

板状の加工対象物にレーザ光を照射することにより、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って、前記加工対象物の厚さ方向に並ぶように、切断の起点となる複数列の改質領域を前記加工対象物の内部に形成するレーザ加工方法であって、

前記加工対象物においてレーザ光が入射するレーザ光入射面に対向し且つ前記加工対象物が備える金属膜における前記レーザ光入射面側の面である所定の面で反射されたレーザ光の反射光を前記加工対象物に照射することにより、複数列の前記改質領域のうち、前記所定の面に最も近い改質領域及び前記レーザ光入射面に最も近い改質領域の少なくとも 1 列を含む 1 列又は複数列の改質領域を形成し、

前記所定の面に最も近い前記改質領域を形成する場合には、当該改質領域を形成すると同時に、前記切断予定ラインに沿って弱化領域を前記金属膜に形成することを特徴とするレーザ加工方法。

【請求項 2】

複数列の前記改質領域を切断の起点として、前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物を切断することを特徴とする請求項 1 記載のレーザ加工方法。

【請求項 3】

前記加工対象物は半導体基板を備え、前記改質領域は溶融処理領域を含むことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のレーザ加工方法。

【請求項 4】

板状の加工対象物にレーザ光を照射することにより、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って、前記加工対象物の厚さ方向に並ぶように、切断の起点となる複数列の改質領域を前記加工対象物の内部に形成するレーザ加工方法であって、

前記加工対象物のレーザ光入射面に対向し且つ前記加工対象物が備える金属膜における前記レーザ光入射面側の面であるレーザ光反射面をレーザ光が透過すると仮定した場合に、レーザ光の進行方向において前記レーザ光反射面の下流側の位置が、レーザ光を前記加工対象物に集光するための集光用レンズによって集光されるレーザ光の集光点となるように、前記集光用レンズを配置し、前記加工対象物にレーザ光を照射することにより、複数列の前記改質領域のうち、前記レーザ光反射面に最も近い改質領域及び前記レーザ光入射面に最も近い改質領域の少なくとも1列を含む1列又は複数列の改質領域を形成し、

10

前記レーザ光反射面に最も近い前記改質領域を形成する場合には、当該改質領域を形成すると同時に、前記切断予定ラインに沿って弱化領域を前記金属膜に形成することを特徴とするレーザ加工方法。

【請求項5】

板状の加工対象物にレーザ光を照射することにより、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って、前記加工対象物の厚さ方向に並ぶように、切断の起点となる複数列の改質領域を前記加工対象物の内部に形成するレーザ加工装置であって、

前記加工対象物のレーザ光入射面に対向し且つ前記加工対象物が備える金属膜における前記レーザ光入射面側の面であるレーザ光反射面をレーザ光が透過すると仮定した場合に、レーザ光の進行方向において前記レーザ光反射面の下流側の位置が、レーザ光を前記加工対象物に集光するための集光用レンズによって集光されるレーザ光の集光点となるように、前記集光用レンズを配置し、前記加工対象物にレーザ光を照射することにより、複数列の前記改質領域のうち、前記レーザ光反射面に最も近い改質領域及び前記レーザ光入射面に最も近い改質領域の少なくとも1列を含む1列又は複数列の改質領域を形成し、

20

前記レーザ光反射面に最も近い前記改質領域を形成する場合には、当該改質領域を形成すると同時に、前記切断予定ラインに沿って弱化領域を前記金属膜に形成することを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項6】

前記所定の面で反射されたレーザ光の反射光を前記加工対象物に照射することにより、前記改質領域として、熔融処理領域及び微小空洞が対になって形成され、前記微小空洞が前記熔融処理領域に対して前記レーザ光入射面側に形成されることを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。

30

【請求項7】

前記所定の面で反射されたレーザ光の反射光を前記加工対象物に照射する際に、球面収差を考えなければ理論的には、前記レーザ光の集光点が前記加工対象物に合わせられることを特徴とする請求項6記載のレーザ加工方法。

【請求項8】

前記レーザ光反射面で反射されたレーザ光の反射光を前記加工対象物に照射することにより、前記改質領域として、熔融処理領域及び微小空洞が対になって形成され、前記微小空洞が前記熔融処理領域に対して前記レーザ光入射面側に形成されることを特徴とする請求項4記載のレーザ加工方法。

40

【請求項9】

前記レーザ光反射面で反射されたレーザ光の反射光を前記加工対象物に照射する際に、球面収差を考えなければ理論的には、前記レーザ光の集光点が前記加工対象物に合わせられることを特徴とする請求項8記載のレーザ加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、板状の加工対象物を切断予定ラインに沿って切断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。

50

【背景技術】

【0002】

従来のレーザ加工方法として、板状の加工対象物にレーザ光を照射することにより、加工対象物の切断予定ラインに沿って、加工対象物の厚さ方向に並ぶように、切断の起点となる複数列の改質領域を加工対象物の内部に形成する方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2004-343008号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、上述したようなレーザ加工方法では、加工対象物においてレーザ光が入射するレーザ光入射面（例えば、加工対象物の表面）に対向する所定の面（例えば、加工対象物の裏面）に最も近い改質領域は、所定の面の極近傍に形成されることが好ましい。また、レーザ光入射面に最も近い改質領域は、レーザ光入射面の極近傍に形成されることが好ましい。なぜなら、これらの改質領域が所定の面やレーザ光入射面から離れた位置に形成されると、加工対象物を切断した際に、加工対象物の厚さ方向における切断面の各端部が切断予定ラインから大きく外れるおそれがあるからである。

【0004】

しかしながら、上述したようなレーザ加工方法にあっては、所定の面に最も近い改質領域を所定の面の極近傍に形成しようとしても、例えば、加工対象物の厚さが切断予定ラインに沿って変化していると、所定の面に最も近い改質領域が部分的に所定の面から離れた位置に形成されるおそれがある。また、レーザ光入射面に最も近い改質領域をレーザ光入射面の極近傍に形成しようとしても、例えば、吸収係数の温度依存性（詳細は後述する）により、レーザ光入射面が溶融等の損傷を受けるおそれがある。このように、所定の面に最も近い改質領域を所定の面の極近傍に形成しようとしても困難なことが多かった。

【0005】

そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、所定の面に最も近い改質領域を所定の面の極近傍に形成したり、レーザ光入射面に最も近い改質領域をレーザ光入射面の極近傍に形成したりする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】

【0006】

上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工方法は、板状の加工対象物にレーザ光を照射することにより、加工対象物の切断予定ラインに沿って、加工対象物の厚さ方向に並ぶように、切断の起点となる複数列の改質領域を加工対象物の内部に形成するレーザ加工方法であって、加工対象物においてレーザ光が入射するレーザ光入射面に対向し且つ加工対象物が備える金属膜におけるレーザ光入射面側の面である所定の面で反射されたレーザ光の反射光を加工対象物に照射することにより、複数列の改質領域のうち、所定の面に最も近い改質領域及びレーザ光入射面に最も近い改質領域の少なくとも1列を含む1列又は複数列の改質領域を形成し、所定の面に最も近い改質領域を形成する場合には、当該改質領域を形成すると同時に、切断予定ラインに沿って弱化領域を金属膜に形成することを特徴とする。

【0007】

このレーザ加工方法では、加工対象物においてレーザ光が入射するレーザ光入射面に対向する所定の面で反射されたレーザ光の反射光を加工対象物に照射することで、複数列の改質領域のうち、所定の面に最も近い改質領域及びレーザ光入射面に最も近い改質領域の少なくとも1列を含む1列又は複数列の改質領域を形成する。これにより、所定の面に最も近い改質領域を所定の面の極近傍に形成したり、レーザ光入射面に最も近い改質領域をレーザ光入射面の極近傍に形成したりすることが可能となる。

【0008】

なお、各改質領域は、加工対象物にレーザ光を照射することにより、加工対象物の内部において多光子吸収その他の光吸収を生じさせることで形成される。

【0010】

本発明に係るレーザ加工方法においては、複数列の改質領域を切断の起点として、切断予定ラインに沿って加工対象物を切断することが好ましい。これにより、加工対象物を切断予定ラインに沿って精度良く切断することができる。

【0011】

本発明に係るレーザ加工方法においては、加工対象物は半導体基板を備え、改質領域は熔融処理領域を含む場合がある。

【発明の効果】

10

【0012】

本発明によれば、制御性良く、所定の面に最も近い改質領域を所定の面の極近傍に形成したり、レーザ光入射面に最も近い改質領域をレーザ光入射面の極近傍に形成したりすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。本実施形態のレーザ加工方法では、加工対象物の内部に改質領域を形成するために多光子吸収という現象を利用する。そこで、最初に、多光子吸収により改質領域を形成するためのレーザ加工方法について説明する。

20

【0014】

材料の吸収のバンドギャップ E_G よりも光子のエネルギー h 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 $h > E_G$ 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 $n h > E_G$ の条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$) 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 1×10^8 (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) \div (レーザ光のビームスポット断面積 \times 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。

30

【0015】

このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工方法の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1に示すように、ウェハ状(板状)の加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断するための切断予定ライン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では、図2に示すように、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Pを合わせてレーザ光Lを照射して改質領域7を形成する。なお、集光点Pとは、レーザ光Lが集光する箇所のことである。また、切断予定ライン5は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、仮想線に限らず加工対象物1に実際に引かれた線であってもよい。

【0016】

40

そして、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って(すなわち、図1の矢印A方向に)相対的に移動させることにより、集光点P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、改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に形成され、この改質領域7が切断起点領域8となる。ここで、切断起点領域8とは、加工対象物1が切断される際に切断(割れ)の起点となる領域を意味する。この切断起点領域8は、改質領域7が連続的に形成されることで形成される場合もあるし、改質領域7が断続的に形成されることで形成される場合もある。

【0017】

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を発熱させて改質領域7を形成するものではない。加工対象物1にレーザ光

50

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改質領域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ので、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

【0018】

加工対象物1の内部に切断起点領域8を形成すると、この切断起点領域8を起点として割れが発生し易くなるため、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に不必要な割れを発生させることなく、加工対象物1を高精度に切断することが可能になる。

【0019】

この切断起点領域8を起点とした加工対象物1の切断には、次の2通りが考えられる。10
1つは、切断起点領域8形成後、加工対象物1に人為的な力が印加されることにより、切断起点領域8を起点として加工対象物1が割れ、加工対象物1が切断される場合である。これは、例えば加工対象物1の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物1の切断起点領域8に沿って加工対象物1に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物1に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の1つは、切断起点領域8を形成することにより、切断起点領域8を起点として加工対象物1の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物1が切断される場合である。これは、例えば加工対象物1の厚さが小さい場合には、1列の改質領域7により切断起点領域8が形成されることで可能となり、加工対象物1の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域7により切断起点領域8が形成されることで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断起点領域8が形成されていない部位に対応する部分の表面3上にまで割れが先走ることがなく、切断起点領域8を形成した部位に対応する部分のみを割断することができるので、割断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物1の厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい割断方法は大変有効である。 20

【0020】

さて、本実施形態に係るレーザ加工方法において、多光子吸収により形成される改質領域としては、次の(1)～(3)の場合がある。

【0021】

(1) 改質領域が1つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合 30

加工対象物（例えばガラスや LiTaO_3 からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$ 以上で且つパルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下の条件でレーザ光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば $1 \times 10^{12} \text{ (W/cm}^2\text{)}$ である。パルス幅は例えば $1 \text{ ns} \sim 200 \text{ ns}$ が好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザ熱加工研究会論文集（1998年、12月）の第23頁～第28頁の「固体レーザ高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。 40

【0022】

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は下記の通りである。

【0023】

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ $700 \mu\text{m}$ ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起Nd:YAGレーザ

波長： 1064 nm

レーザ光スポット断面積： $3.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$

発振形態：Qスイッチパルス
 繰り返し周波数：100kHz
 パルス幅：30ns
 出力：出力<1mJ/パルス
 レーザ光品質：TEM₀₀
 偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

レーザ光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm/秒

【0024】

なお、レーザ光品質がTEM₀₀とは、集光性が高くレーザ光の波長程度まで集光可能を意味する。

【0025】

図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザ光がパルスレーザ光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザ光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が100倍、開口数(NA)が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が50倍、開口数(NA)が0.55の場合である。ピークパワー密度が 10^{11} (W/cm²)程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

【0026】

次に、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて、図8～図11を参照して説明する。図8に示すように、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Pを合わせてレーザ光Lを照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は1つ又は複数のクラックを含む領域である。このように形成されたクラック領域9が切断起点領域となる。図9に示すように、クラック領域9を起点として（すなわち、切断起点領域を起点として）クラックがさらに成長し、図10に示すように、クラックが加工対象物1の表面3と裏面21とに到達し、図11に示すように、加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物1の表面3と裏面21とに到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物1に力が印加されることにより成長する場合もある。

【0027】

(2) 改質領域が熔融処理領域の場合

加工対象物（例えばシリコン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 1×10^8 (W/cm²)以上で且つパルス幅が1μs以下の条件でレーザ光を照射する。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熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域や、まさに熔融状態の領域や、熔融状態から再固化する状態の領域であり、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、熔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。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、熔融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²)である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。

【0028】

本発明者は、シリコンウェハの内部で熔融処理領域が形成されることを実験により確認

した。実験条件は次の通りである。

【 0 0 2 9 】

(A) 加工対象物：シリコンウェハ（厚さ 3 5 0 μm 、外径 4 インチ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起 Nd : YAG レーザ

波長：1 0 6 4 nm

レーザ光スポット断面積：3 . 1 4 $\times 10^{-8} \text{ cm}^2$

発振形態：Q スイッチパルス

繰り返し周波数：1 0 0 kHz

パルス幅：3 0 ns

出力：2 0 μJ / パルス

レーザ光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率：5 0 倍

N . A . : 0 . 5 5

レーザ光波長に対する透過率：6 0 パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：1 0 0 mm / 秒

【 0 0 3 0 】

図 1 2 は、上記条件でのレーザ加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ 1 1 の内部に熔融処理領域 1 3 が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域 1 3 の厚さ方向の大きさは 1 0 0 μm 程度である。

【 0 0 3 1 】

熔融処理領域 1 3 が多光子吸収により形成されたことを説明する。図 1 3 は、レーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さ t が 5 0 μm 、1 0 0 μm 、2 0 0 μm 、5 0 0 μm 、1 0 0 0 μm の各々について上記関係を示した。

【 0 0 3 2 】

例えば、Nd : YAG レーザの波長である 1 0 6 4 nm において、シリコン基板の厚さが 5 0 0 μm 以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザ光が 8 0 % 以上透過することが分かる。図 1 2 に示すシリコンウェハ 1 1 の厚さは 3 5 0 μm であるので、多光子吸収による熔融処理領域 1 3 はシリコンウェハ 1 1 の中心付近、つまり表面から 1 7 5 μm の部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ 2 0 0 μm のシリコンウェハを参考にとると、9 0 % 以上なので、レーザ光がシリコンウェハ 1 1 の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ 1 1 の内部でレーザ光が吸収されて、熔融処理領域 1 3 がシリコンウェハ 1 1 の内部に形成（つまりレーザ光による通常の加熱で熔融処理領域が形成）されたものではなく、熔融処理領域 1 3 が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全

【 0 0 3 3 】

なお、シリコンウェハは、熔融処理領域によって形成される切断起点領域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。そして、切断起点領域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、切断起点領域を形成する熔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と、切断起点領域を形成する熔融処理領域が溶融している状態から再固化する際に

10

20

30

40

50

割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も熔融処理領域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、図12のように内部にのみ熔融処理領域が形成されている。このように、加工対象物の内部に熔融処理領域によって切断起点領域を形成すると、割断時、切断起点領域ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、割断制御が容易となる。ちなみに、熔融処理領域の形成は、多光子吸収が原因の場合のみでなく、他の吸収作用が原因の場合もある。

【0034】

(3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²) 以上で且つパルス幅が1ns以下の条件でレーザー光を照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えば1ns以下が好ましく、1ps以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

【0035】

以上、多光子吸収により形成される改質領域として(1)～(3)の場合を説明したが、ウェハ状の加工対象物の結晶構造やその劈開性などを考慮して切断起点領域を次のように形成すれば、その切断起点領域を起点として、より一層小さな力で、しかも精度良く加工対象物を切断することが可能になる。

【0036】

すなわち、シリコンなどのダイヤモンド構造の単結晶半導体からなる基板の場合は、(111)面（第1劈開面）や(110)面（第2劈開面）に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。また、GaAsなどの閃亜鉛鉱型構造のIII-V族化合物半導体からなる基板の場合は、(110)面に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。さらに、サファイア(Al₂O₃)などの六方晶系の結晶構造を有する基板の場合は、(0001)面（C面）を主面として(1120)面（A面）或いは(1100)面（M面）に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。

【0037】

なお、上述した切断起点領域を形成すべき方向（例えば、単結晶シリコン基板における(111)面に沿った方向）、或いは切断起点領域を形成すべき方向に直交する方向に沿って基板にオリエンテーションフラットを形成すれば、そのオリエンテーションフラットを基準とすることで、切断起点領域を形成すべき方向に沿った切断起点領域を容易且つ正確に基板に形成することが可能になる。

【0038】

次に、本発明の好適な実施形態について説明する。

【0039】

図14及び図15に示すように、加工対象物1は、いわゆるMEMSウェハであり、厚さ300μmのシリコンウェハ（半導体基板）11と、複数の機能素子15を含んでシリコンウェハ11の表面に形成された機能素子層16と、シリコンウェハ11の裏面に形成された金属膜17と、を備えている。機能素子15は、例えば、機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路等であり、シリコンウェハ11のオリエンテーションフラット6に平行な方向及び垂直な方向にマトリックス状に多数形成されている。金属膜17は金からなり、その厚さは3μmである。

【0040】

以上のように構成された加工対象物1を以下のようにして機能素子15毎に切断する。まず、図16に示すように、加工対象物1の裏面21、すなわち金属膜17の裏面にエキ

スパンドテープ 2 3 を貼り付ける。そして、機能素子層 1 6 を上側にして加工対象物 1 をレーザ加工装置の載置台（図示せず）上に固定する。

【 0 0 4 1 】

続いて、図 1 7 に示すように、加工対象物 1 の表面 3、すなわち機能素子層 1 6 の表面をレーザ光入射面として、シリコンウェハ 1 1 の表面から $320\text{ }\mu\text{m}$ の位置（シリコンウェハ 1 1 の外部）が集光点となる集光用レンズの位置（加工対象物のレーザ光入射面（ここでは、表面 3）に対向するレーザ光反射面（ここでは、金属膜 1 7 の表面 1 7 a）をレーザ光が透過すると仮定した場合。以下、同様。）でレーザ光 L を照射し、載置台の移動によって、隣り合う機能素子 1 5、1 5 間を通るように格子状に設定された切断予定ライン 5（図 1 4 の破線参照）に沿ってレーザ光 L をスキャンする。

10

【 0 0 4 2 】

このとき、加工対象物 1 の表面 3 に対向する金属膜 1 7 の表面（所定の面）1 7 a、すなわち金属膜 1 7 におけるレーザ光入射面側の面でレーザ光 L が反射され、その反射光 R L がシリコンウェハ 1 1 に照射されて、シリコンウェハ 1 1 の内部における裏面 2 1 の極近傍に集光する。これにより、シリコンウェハ 1 1 の内部における裏面 2 1 の極近傍に、熔融処理領域 1 3₁ 及び微小空洞 1 4 が切断予定ライン 5 に沿って形成される。なお、この場合のレーザ光の照射条件は、パルス幅 150 ns 、エネルギー $15\text{ }\mu\text{J}$ である。また、上述した「シリコンウェハ 1 1 の表面から $320\text{ }\mu\text{m}$ の位置」は、球面収差等を考慮しない理論上の「集光点 P を合わせる位置」を意味している。

【 0 0 4 3 】

20

ここで、微小空洞 1 4 について説明する。一般的に、シリコンウェハ 1 1 の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が $1 \times 10^8\text{ (W/cm}^2\text{)}$ 以上で且つパルス幅が $1\text{ }\mu\text{s}$ 以下の条件でレーザ光を照射すると、シリコンウェハ 1 1 の内部に、熔融処理領域 1 3 及び微小空洞 1 4 が対になって形成される場合がある。微小空洞 1 4 は、熔融処理領域 1 3 と離れて形成される場合もあるし、熔融処理領域 1 3 と連続して形成される場合もあるが、レーザ光の進行方向において熔融処理領域 1 3 の下流側に形成される。上述した場合では、微小空洞 1 4 が熔融処理領域 1 3₁ に対して加工対象物 1 の表面 3 側に形成されているため、熔融処理領域 1 3₁ 及び微小空洞 1 4 の形成に反射光 R L が寄与しているといえる。なお、熔融処理領域 1 3 及び微小空洞 1 4 が対になって形成される原理については、特開 2 0 0 5 - 5 7 2 5 7 号公報に詳細に記載されている。

30

【 0 0 4 4 】

更に、図 1 8 に示すように、加工対象物 1 の表面 3 をレーザ光入射面としてシリコンウェハ 1 1 の内部に集光点 P を合わせてレーザ光 L を照射し、載置台の移動によって、隣り合う機能素子 1 5、1 5 間を通るように格子状に設定された切断予定ライン 5 に沿ってレーザ光 L をスキャンする。

【 0 0 4 5 】

この切断予定ライン 5 に沿ったレーザ光 L のスキャンを 1 本の切断予定ライン 5 に対して 5 回行うが、シリコンウェハ 1 1 の表面と集光点 P を合わせる位置との距離を各回毎に変えることで、熔融処理領域 1 3₁ とシリコンウェハ 1 1 の表面との間に、5 列の熔融処理領域 1 3₂ を切断予定ライン 5 に沿って形成する。なお、1 本の切断予定ライン 5 に対してシリコンウェハ 1 1 の内部に形成される熔融処理領域 1 3₂ の列数は、シリコンウェハ 1 1 の厚さ等に応じて変化するものであり、5 列に限定されない。また、各熔融処理領域 1 3₂ に対して加工対象物 1 の裏面 2 1 側に、熔融処理領域 1 3₂ と対になる微小空洞 1 4 が形成される場合がある。また、熔融処理領域 1 3₁、1 3₂ には、クラックが混在する場合もある。

40

【 0 0 4 6 】

続いて、図 1 9 に示すように、エキスパンドテープ 2 3 を拡張させ、熔融処理領域 1 3₁、1 3₂ を切断の起点として、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 を切断する。このとき、エキスパンドテープ 2 3 が拡張させられているため、切断されることで得られた複数の半導体チップ 2 5 が互いに離間することになる。

50

【0047】

なお、上述したレーザ加工方法は、図26に示すレーザ加工装置によって実施される。図26に示すように、レーザ加工装置100は、レーザ光Lを出射するレーザ光源101と、レーザ光Lの光軸の向きを90°変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、レーザ光Lを集光するための集光用レンズ105と、を備えている。また、レーザ加工装置100は、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を支持するための載置台107と、載置台107をX、Y、Z軸方向に移動させるためのステージ111と、レーザ光Lの出力やパルス幅等の調節やステージ111の移動等、レーザ加工装置100の全体を制御する制御部115と、を備えている。

【0048】

このレーザ加工装置100においては、レーザ光源101から出射されたレーザ光Lは、ダイクロイックミラー103によってその光軸の向きを90°変えられ、載置台107上に載置された加工対象物1に向かって集光用レンズ105によって集光される。これと共に、ステージ111が移動させられ、加工対象物1がレーザ光Lに対して切断予定ライン5に沿って相対移動させられる。これにより、切断予定ライン5に沿って、切断の起点となる改質領域が加工対象物1に形成されることとなる。

【0049】

以上説明したように、上述したレーザ加工方法では、加工対象物1のレーザ光入射面である表面3に対向する金属膜17の表面17aで反射されたレーザ光Lの反射光RLをシリコンウェハ11に照射することで、6列の溶融処理領域13₁、13₂のうち、金属膜17の表面17aに最も近い溶融処理領域13₁を形成している。これにより、図20に示すように、溶融処理領域13₁を金属膜17の表面17aの極近傍に形成することができる。シリコンウェハ11の厚さが切断予定ライン5に沿って変化している場合や、シリコンウェハ11が高濃度ドーパントウェハ等で、レーザ光Lの透過率が低い場合等で表面17aの近傍で且つ同じ高さ位置を保って溶融処理領域13₁を切断予定ライン5に沿って形成することが困難であっても、このように、金属膜17の表面17aに最も近い溶融処理領域13₁の形成に反射光RLを利用することで、切断予定ライン5に沿って溶融処理領域13₁を金属膜17の表面17aの極近傍に高い密度で安定して形成することができる。そのため、加工対象物1を切断した際に切断面の裏面21側の端部が切断予定ライン5から外れるのを防止して、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って精度良く切断することが可能となる。

【0050】

ここで、金属膜17の表面17aで反射されたレーザ光Lの反射光RLを利用した場合に、溶融処理領域13₁が金属膜17の表面17aの極近傍に形成される原理について説明する。

【0051】

本発明者が推測する第1の原理は、次の通りである。図21に示すように、シリコンウェハ11の裏面、すなわち金属膜17の表面17a近傍に集光点を合わせてレーザ光Lを照射すると、球面収差の影響で、中心光線と周囲光線との集光度が劣化し、各光線が一点に集光せず、各光線、特に周囲光線の集光箇所がレーザ光Lの光軸方向にずれる。これにより、金属膜17の表面17a下で集光するように進行する光線の集光箇所が、金属膜17の表面17aでの反射によって、金属膜17の表面17a上で集光する光線の集光箇所に補完される。従って、切断予定ライン5に沿って溶融処理領域13₁が金属膜17の表面17aの極近傍に高い密度で形成されることになる。球面収差を考えなければ理論的には、溶融処理領域13₁は集光点の位置であるシリコンウェハ11の裏面上に形成されるはずであるが、反射による影響で溶融処理領域13₁の形成位置が上側にずれるともいえる。

【0052】

本発明者が推測する第2の原理は、次の通りである。図22(a)に示すように、シリコンウェハ11の外部が集光点となる集光用レンズの位置、すなわち金属膜17の表面1

10

20

30

40

50

7 a 下に集光点を合わせてレーザ光 L を照射すると、金属膜 17 の表面 17 a でレーザ光 L が反射されて、その反射光 R L がシリコンウェハ 11 の内部に集光する。金属膜 17 の表面 17 a で反射される前には集光度が低いためレーザ光 L がシリコンウェハ 11 に殆ど吸収されず、反射光 R L の集光点 P の位置で局所的に高温となる。そのため、吸収係数の温度依存性により集光点 P の位置で吸収係数が高まり反射光 R L の集光点 P の位置から、反射光 R L の進行方向において集光点 P の上流側（反射表面 17 a 側）で反射光 R L が吸収され易くなる。その結果、切断予定ライン 5 に沿って溶融処理領域 13₁ が金属膜 17 の表面 17 a の極近傍に高い密度で（すなわち、分割性の高い改質領域として）形成されることになる。

【0053】

10

なお、図 22 (b) に示すように、シリコンウェハ 11 の内部、すなわち金属膜 17 の表面 17 a 上に集光点 P を合わせてレーザ光 L を照射すると、集光点 P の上側の位置でも温度が高くなる。そのため、吸収係数の温度依存性により集光点 P の上側の位置で吸収係数が高まり、レーザ光 L の吸収が始まる。これにより、レーザ光 L の進行方向において集光点 P の近傍に進行するレーザ光 L が減少し、集光点 P の上側の部分がレーザ光 L の光軸に沿って局所的に高温となる。そのため、吸収係数の温度依存性により集光点 P の上側の部分で吸収係数が高まり、レーザ光 L が吸収される。その結果、溶融処理領域 13 の形成に利用し得るレーザ光 L のエネルギーが減少するため、切断予定ライン 5 に沿って溶融処理領域 13 が金属膜 17 の表面 17 a（の近傍）から若干離れた上側の位置に低い密度で形成されることになる。これは、厚いウェハにおいてはレーザ光入射面から深い位置になるほど吸収の影響が大きくなってレーザ光のエネルギーが減少し、加工閾値を超えるためには吸収による温度依存の影響が無視できないからであると推測される。

20

【0054】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。

【0055】

例えば、上記実施形態では、金属膜 17 の表面 17 a で反射されたレーザ光 L の反射光 R L をシリコンウェハ 11 に照射することで、金属膜 17 の表面 17 a の極近傍に溶融処理領域 13₁ を形成したが、図 23 及び図 24 に示すように、加工対象物 1 の表面 3 の極近傍に溶融処理領域 13₁ を形成してもよい。この場合には、加工対象物 1 の表面 3 をレーザ光入射面として、シリコンウェハ 11 の表面から 600 μm の位置（シリコンウェハ 11 の外部）に集光点を合わせて、パルス幅 150 ns、エネルギー 15 μJ の条件でレーザ光 L を照射する。これにより、上述した吸収係数の温度依存性に起因して加工対象物 1 の表面 3 が溶融等の損傷を受けるのを防止して、加工対象物 1 の表面 3 の極近傍に溶融処理領域 13₁ を形成することができる。しかも、加工対象物 1 を切断した際に切断面の表面 3 側の端部が切断予定ライン 5 から外れるのを防止して、加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って精度良く切断することが可能となる。

30

【0056】

なお、金属膜 17 の表面 17 a に最も近い溶融処理領域 13 や、加工対象物 1 の表面 3 に最も近い溶融処理領域 13 だけでなく、複数列の溶融処理領域 13 のうち、金属膜 17 の表面 17 a に最も近い溶融処理領域 13、及び加工対象物 1 の表面 3 に最も近い溶融処理領域 13 の少なくとも 1 列を含む複数列の溶融処理領域 13 を、金属膜 17 の表面 17 a で反射されたレーザ光 L の反射光 R L を利用して形成してもよい。

40

【0057】

また、図 25 に示すように、金属膜 17 の表面 17 a に最も近い溶融処理領域 13₁ を形成すると同時に、加工対象物 1 の裏面 21 に、所定の深さを有する弱化領域 18 を切断予定ライン 5 に沿って形成してもよい。この場合には、加工対象物 1 の表面 3 をレーザ光入射面として、シリコンウェハ 11 の表面から 305 μm の位置（シリコンウェハ 11 の外部）に集光点を合わせて、パルス幅 150 ns、エネルギー 15 μJ の条件でレーザ光 L を照射する。このとき、加工対象物 1 の裏面 21 は金属膜 17 の裏面であるが、この場合であっても、所定の深さを有する弱化領域 18 が切断予定ライン 5 に沿って金属膜 17

50

に形成されているため、比較的小さな外力で、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 を精度良く切断することが可能となる。しかも、熔融処理領域 13₁ がシリコンウェハ 11 の内部に形成されているため、熔融処理領域 13₁ からパーティクルが発生するのを防止することができる。

【0058】

また、上記実施形態では、レーザ光 L を反射する面が金属膜 17 の表面 17a であったが、加工対象物 1 が金属膜 17 を備えず、例えば、レーザ光 L を反射する面がシリコンウェハ 11 の裏面であってもよい。この場合には、レーザ光 L がシリコンウェハ 11 の裏面で一部反射されて、その反射光 RL がシリコンウェハ 11 に照射されることになる。そして、機能素子 15 は、例えば、結晶成長により形成された半導体動作層、フォトダイオード等の受光素子、レーザダイオード等の発光素子、或いは回路として形成された回路素子等であってもよい。

【0059】

また、上記実施形態では、加工対象物 1 の表面 3 をレーザ光入射面としたが、加工対象物 1 が金属膜 17 を備えない場合には、加工対象物 1 の裏面 21 をレーザ光入射面としてもよい。加工対象物 1 の裏面 21 をレーザ光入射面とする場合には、一例として、次のように加工対象物 1 を複数の半導体チップ 25 に切断する。すなわち、機能素子層 16 の表面に保護テープを貼り付け、保護テープにより機能素子層 16 を保護した状態で、レーザ加工装置の載置台に、加工対象物 1 を保持した保護テープを固定する。そして、加工対象物 1 の裏面 21 をレーザ光入射面としてシリコンウェハ 11 にレーザ光 L を照射することにより、切断予定ライン 5 に沿って熔融処理領域 13₁、13₂ を形成する。続いて、載置台に固定された保護テープを加工対象物 1 と共に離隔させる。そして、加工対象物 1 の裏面 21 にエキスパンドテープ 23 を貼り付けて、機能素子層 16 の表面から保護テープを剥がした後、エキスパンドテープ 23 を拡張させて、熔融処理領域 13₁、13₂ を切断の起点として加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って切断すると共に、切断されることで得られた複数の半導体チップ 25 を互いに離間させる。

【0060】

また、上記実施形態では、シリコンウェハ 11 の内部に熔融処理領域 13₁、13₂ を形成したが、ガラスや圧電材料等、他の材料からなるウェハの内部に、クラック領域や屈折率変化領域等、他の改質領域を形成してもよい。

【0061】

また、次のようにして改質領域 7 を加工対象物 1 に形成してもよい。まず、図 27 (a) に示すように、加工対象物 1 のレーザ光入射面（ここでは、表面 3）に対向するレーザ光反射面（ここでは、裏面 21）の近傍の位置が集光点 P となるようにレーザ光 L を照射することで改質領域 7a を形成する。その後、図 27 (b) に示すように、レーザ光反射面をレーザ光が透過すると仮定した場合にレーザ光 L の進行方向においてレーザ光反射面の下流側（レーザ光反射面に対してレーザ光源（レーザ光出射側）と反対側）の位置が集光点 P となるようにレーザ光 L を照射することでその反射光 RL により改質領域 7b を形成する。このように、改質領域 7a と改質領域 7b とを重ねて形成することで、密度が高い（すなわち、分割性が高い）改質領域 7 を加工対象物 1 に形成することができる。

【0062】

加工対象物 1 にレーザ光 L を照射することにより、1 本の切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の厚さ方向に並ぶように複数列の改質領域 7 を加工対象物 1 の少なくとも内部に形成する場合に限定されず、1 本の切断予定ライン 5 に沿って 1 列の改質領域 7 を加工対象物 1 の少なくとも内部に形成してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図 1】本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工中の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 II - II 線に沿っての断面図である。

【図 3】本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の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 線に沿っての断面図である。

【図 5】図 3 に示す加工対象物の V - V 線に沿っての断面図である。

【図 6】本実施形態に係るレーザ加工方法により切断された加工対象物の平面図である。

【図 7】本実施形態に係るレーザ加工方法におけるピークパワー密度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。

【図 8】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 1 工程における加工対象物の断面図である。

【図 9】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 2 工程における加工対象物の断面図である 10

【図 10】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 3 工程における加工対象物の断面図である。

【図 11】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 4 工程における加工対象物の断面図である。

【図 12】本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

【図 13】本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部透過率との関係を示すグラフである。

【図 14】本実施形態のレーザ加工方法の対象となる加工対象物の平面図である。 20

【図 15】図 14 に示す XV - XV 線に沿っての部分断面図である。

【図 16】本実施形態のレーザ加工方法を説明するための加工対象物の部分断面図である。

【図 17】本実施形態のレーザ加工方法を説明するための加工対象物の部分断面図である。

【図 18】本実施形態のレーザ加工方法を説明するための加工対象物の部分断面図である。

【図 19】本実施形態のレーザ加工方法を説明するための加工対象物の部分断面図である。

【図 20】図 14 に示す XX - XX 線に沿っての部分断面図である。 30

【図 21】本実施形態のレーザ加工方法の第 1 の原理を説明するための図である。

【図 22】本実施形態のレーザ加工方法の第 2 の原理を説明するための図である。

【図 23】本実施形態の他のレーザ加工方法を説明するための加工対象物の部分断面図である。

【図 24】図 14 に示す XX - XX 線に沿っての部分断面図である。

【図 25】図 14 に示す XX - XX 線に沿っての部分断面図である。

【図 26】本実施形態のレーザ加工装置の概略構成図である。

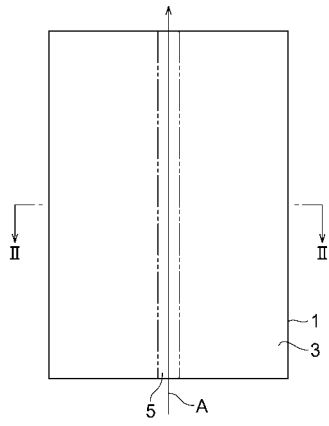
【図 27】本実施形態の他のレーザ加工方法を説明するための加工対象物の部分断面図である。

【符号の説明】 40

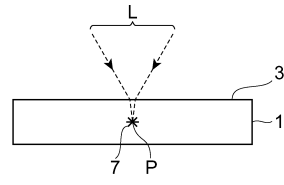
【0064】

1 ... 加工対象物、3 ... 表面（レーザ光入射面）、5 ... 切断予定ライン、11 ... シリコンウェハ（半導体基板）、13₁、13₂ ... 溶融処理領域（改質領域）、17 ... 金属膜、17a ... 表面（所定の面）、L ... レーザ光、RL ... 反射光。

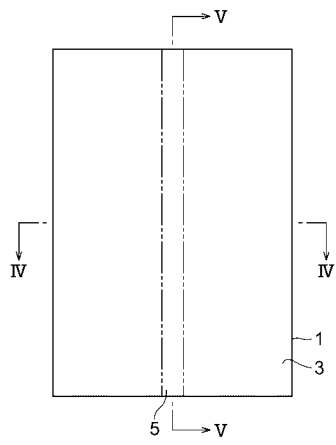
【図 1】



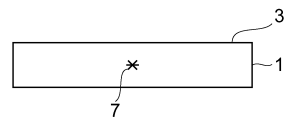
【図 2】



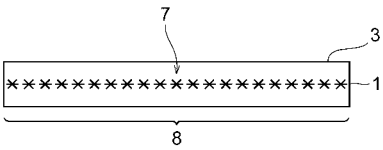
【図 3】



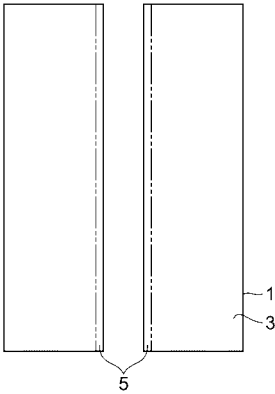
【図 4】



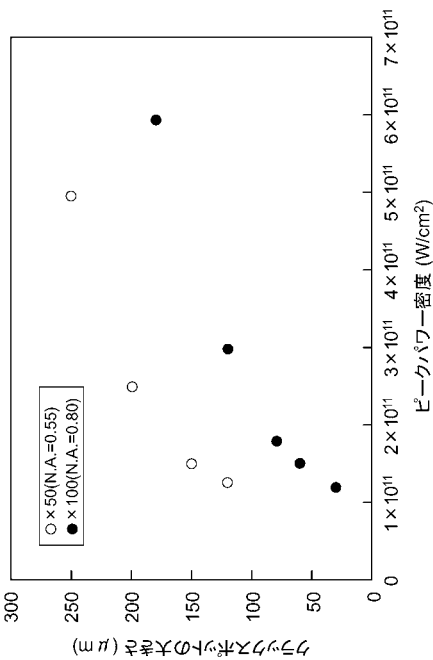
【図5】



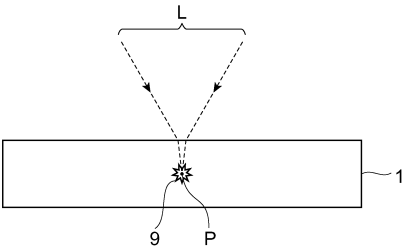
【図6】



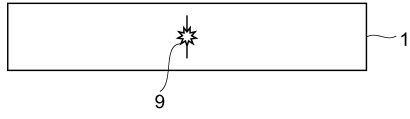
【図7】



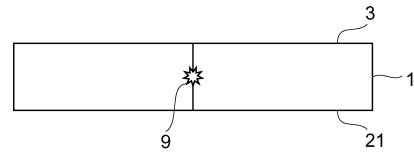
【図8】



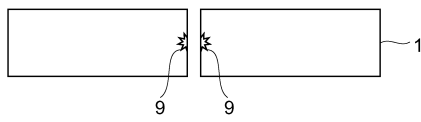
【図 9】



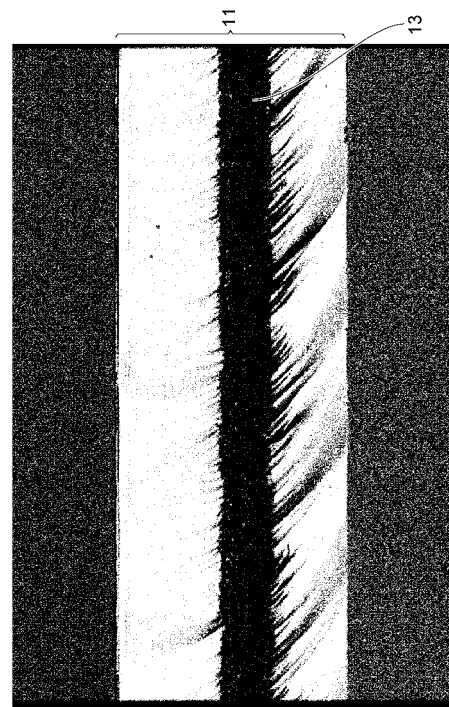
【図 10】



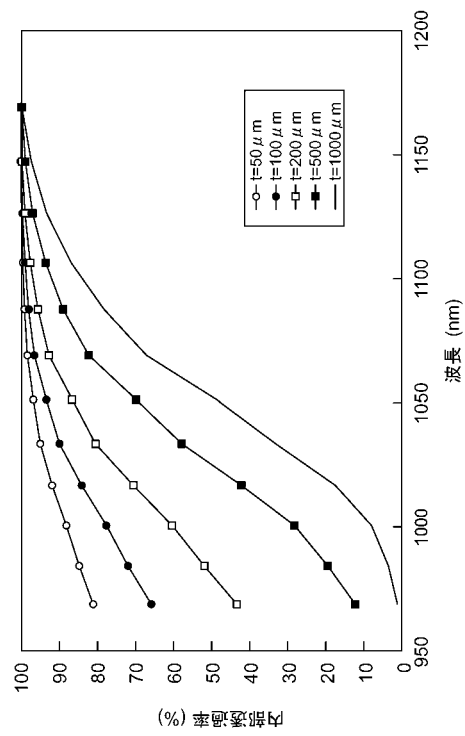
【図 11】



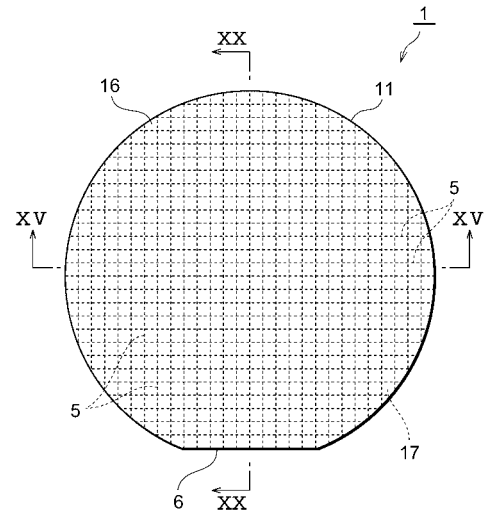
【図 12】



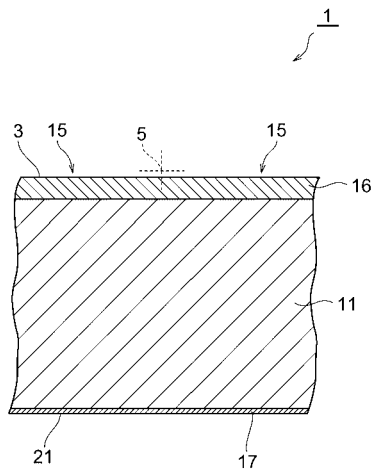
【図 13】



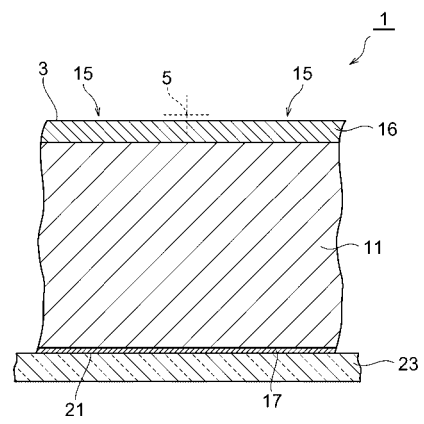
【図 14】



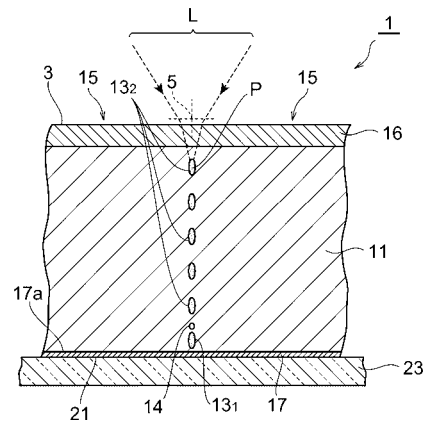
【図 15】



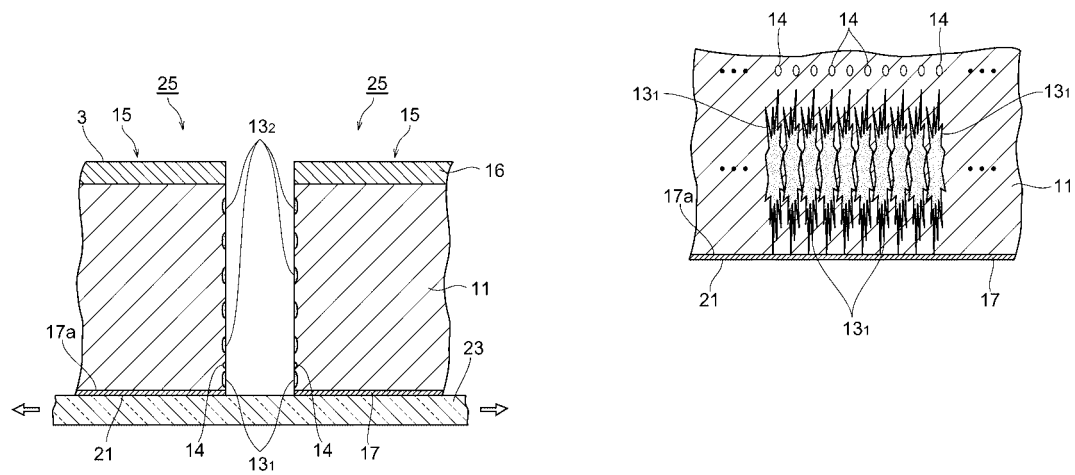
【図 16】



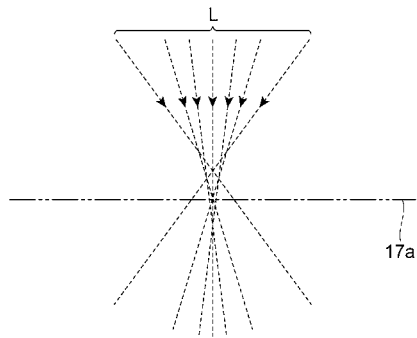
【 図 1 8 】



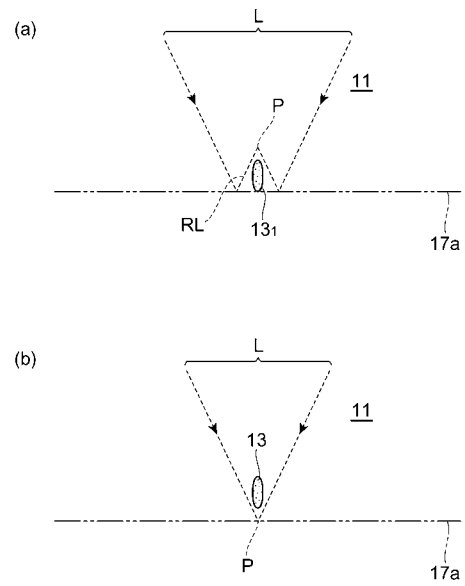
【 図 2 0 】



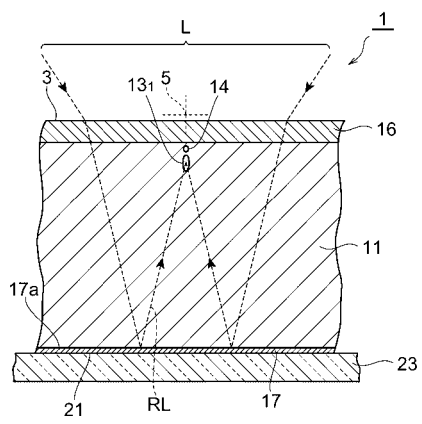
【図 2 1】



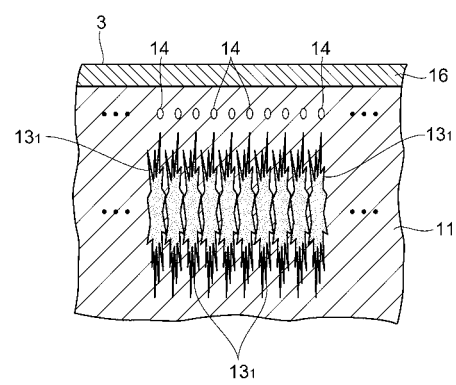
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B 2 8 D 5/00 (2006.01) B 2 8 D 5/00 Z
B 2 3 K 101/40 (2006.01) B 2 3 K 101:40

審査官 大屋 静男

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 1 4 1 9 9 5 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 2 0 5 1 8 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 4 2
B 2 8 D 5 / 0 0
H 0 1 L 2 1 / 3 0 1