(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2016 201 780 A1** 2016.08.11

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 201 780.2**
(22) Anmeldetag: **05.02.2016**
(43) Offenlegungstag: **11.08.2016**

(51) Int Cl.: ***H01L 21/301*** (2006.01)
B23K 26/53 (2014.01)

(30) Unionspriorität:
2015-023577 **09.02.2015** **JP**

(71) Anmelder:
DISCO CORPORATION, Tokyo, JP

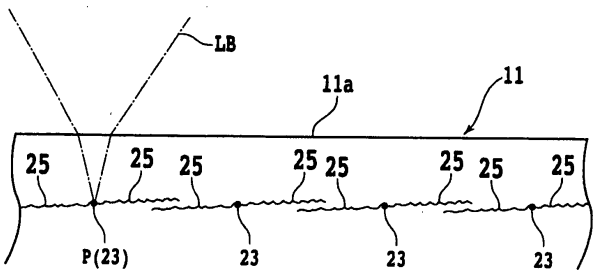
(74) Vertreter:
HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte PartmbB, 81925 München, DE

(72) Erfinder:
Hirata, Kazuya, Tokyo, JP; Nishino, Yoko, Tokyo, JP; Takahashi, Kunimitsu, Tokyo, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Wafer-Herstellungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Wafer-Herstellungsverfahren zum Herstellen eines hexagonalen Einkristall-Wafers aus einem hexagonalen Einkristall-Ingot offenbart. Das Wafer-Herstellungsverfahren umfasst einen Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Einstellen des Brennpunkts eines Laserstrahls, der eine Transmissionswellenlänge für den Ingot aufweist, auf eine von der oberen Fläche des Ingots aus vorbestimmte Tiefe im Inneren des Ingots. Der Trennstartpunktausbildungsschritt schließt einen ersten Schritt mit einem Ausbilden des Trennstartpunkts mit einer ersten Leistung und einen zweiten Schritt mit einem Einstellen des Brennpunkts auf die modifizierte Schicht, die zuvor in dem ersten Schritt ausgebildet wird, und dann einem Aufbringen des Laserstrahls auf den Ingot mit einer zweiten Leistung, die höher ist als die erste Leistung, bei einer erhöhten Wiederholfrequenz in dem Zustand ein, in dem die Energie pro Puls des Laserstrahls die gleiche ist wie die in dem ersten Schritt, wodurch die Risse von der modifizierten Schicht getrennt werden.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Wafer-Herstellungsverfahren zum Schneiden eines hexagonalen Einkristall-Ingots, um einen Wafer herzustellen.

Beschreibung des in Beziehung stehenden Stands der Technik

[0002] Verschiedene Bauelemente, wie zum Beispiel ICs und LSIs werden durch Ausbilden einer Funktionsschicht an der Vorderseite eines Wafers ausgebildet, der aus Silizium oder Ähnlichem ausgebildet ist, und aufteilen dieser Funktionsschicht in eine Vielzahl von Bereichen entlang einer Vielzahl von sich überkreuzenden Trennlinien. Die Trennlinien des Wafers werden durch eine Bearbeitungsvorrichtung bearbeitet, wie zum Beispiel eine Schneidevorrichtung und eine Laserbearbeitungsvorrichtung, um dadurch den Wafer in eine Vielzahl einzelner Bauelementchips aufzuteilen, die respektive den Bauelementen entsprechen. Die so erhaltenen Bauelementchips werden weit verbreitet in vielfältiger Ausrüstung verwendet, wie zum Beispiel Mobiltelefone und Personal Computer. Ferner werden Leistungsbauelemente oder optische Bauelemente, wie zum Beispiel LEDs und LDs durch Ausbilden einer Funktionsschicht an der Vorderseite eines Wafers ausgebildet, der aus einem hexagonalen Einkristall ausgebildet ist, wie zum Beispiel aus SiC und GaN, und aufteilen dieser Funktionsschicht in eine Vielzahl von Bereichen entlang einer Vielzahl von sich überschneidenden Trennlinien.

[0003] Im Allgemeinen wird der Wafer, auf dem die Bauelemente auszubilden sind, durch Schneiden eines Ingots mit einer Drahtsäge hergestellt. Beide Seiten des obig erhaltenen Wafers werden auf Spiegelglanz bzw. auf Hochglanz poliert, siehe zum Beispiel das offengelegte japanische Patentnummer 2000-94 221. Diese Drahtsäge ist auf so eine Weise eingerichtet, dass ein einzelner Draht, der wie ein Pianodraht einen Durchmesser von in etwa 100 bis 300 μm aufweist, um viele Nuten gewickelt ist, die üblicherweise an zwei bis vier Führungswalzen ausgebildet sind, um eine Vielzahl von Schneideabschnitten auszubilden, die mit einer vorgegebenen Teilung parallel zueinander beabstandet sind. Der Draht wird betätigt, sodass er in einer Richtung oder entgegengesetzten Richtungen läuft und dadurch den Ingot in eine Vielzahl von Wafern schneidet.

[0004] Wenn der Ingot durch die Drahtsäge geschnitten wird und beide Seiten von jedem Wafer poliert werden, um das Produkt zu erhalten, wird jedoch 70 bis 80% des Ingots zu Ausschuss, was das Problem schlechten Wirtschaftens aufwirft. Insbesondere weist beispielsweise ein hexagonaler Einkristall-Ingot aus SiC oder GaN einer hohe Mohs-Härte auf, sodass es schwierig ist, diesen Ingot mit der Drahtsäge zu schneiden. Dementsprechend wird eine erhebliche Zeit zum Schneiden des Ingots benötigt, was eine Verminderung der Produktivität verursacht. Das heißt es gibt ein Problem, einen Wafer mit dem Stand der Technik effizient herzustellen.

[0005] Eine Technik zum Lösen dieses Problems wird in dem japanischen offengelegten Patent Nr. 2013-49461 beschrieben. Diese Technik schließt die Schritte des Einstellens des Brennpunkts eines Laserstrahls, der eine Transmissionswellenlänge für SiC aufweist, auf das Innere eines hexagonalen Einkristall-Ingots, als Nächstes eines Aufbringens des Laserstrahls auf den Ingot bei einem Scannen des Laserstrahls auf dem Ingot, um dadurch eine modifizierte Schicht und Risse in einer Trennebene innerhalb des Ingots auszubilden, und als Nächstes eines Anwendens einer äußeren Kraft auf den Ingot ein, um dadurch den Ingot entlang der Trennebene zu brechen, wo die modifizierte Schicht und die Risse ausgebildet sind, und somit einen Wafer von dem Ingot zu trennen. Bei dieser Technik wird der Laserstrahl spiralförmig oder linear entlang der Trennebene gescannt, sodass ein erster Aufbringpunkt des Laserstrahls und ein zweiter Aufbringpunkt des Laserstrahls, der am dem ersten Anwendungspunkt am nächsten ist, eine vorbestimmte Positionsbeziehung zueinander aufweisen. Als Ergebnis werden die modifizierte Schicht und die Risse mit einer sehr hohen Dichte in der Trennebene des Ingots ausgebildet.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Jedoch wird bei dem Ingot-Schneideverfahren, das in dem oben erwähnten japanischen offengelegten Patent Nr. 2013-49461 beschrieben wird, der Laserstrahl spiralförmig oder linear über den Ingot gescannt, bzw. streicht über diesen hinweg. In dem Fall eines linearen Scannens des Laserstrahls ist die Scanrichtung des Laserstrahls nicht bestimmt. Bei dem in dem japanischen offengelegten Patent Nr. 2013-49461 beschriebenem Ingot-Schneideverfahren ist die Teilung, d. h. der Abstand, zwischen dem ersten Anwendungspunkt und dem zweiten Anwendungspunkt des Laserstrahls, wie oben erwähnt, auf ein bis 10 μm eingestellt. Diese Teilung entspricht der Teilung der Risse, die sich von der modifizierten Schicht entlang einer in dem Ingot definierten c-Ebene erstrecken.

[0007] Auf diese Weise ist die Teilung der Anwendungspunkte des auf den Ingot anzuwendenden Laserstrahls sehr gering. Unabhängig davon, ob der Laserstrahl spiralförmig oder linear gescannt wird, muss der Laserstrahl dementsprechend mit einer sehr klei-

nen Teilung angewandt werden und die Verbesserung bei der Produktivität ist noch nicht ausreichend.

[0008] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Wafer-Herstellungsverfahren bereitzustellen, das einen Wafer auf effiziente Weise aus einem Ingot herstellen kann.

[0009] In Übereinstimmung mit einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Wafer-Herstellungsverfahren zum Herstellen eines hexagonalen Einkristall-Wafers aus einem hexagonalen Einkristall-Ingot bereitgestellt, der eine erste Fläche, eine der ersten Fläche gegenüberliegende zweite Fläche, eine sich von der ersten Fläche zu der zweiten Fläche erstreckende c-Achse und eine zu der c-Achse senkrechte c-Ebene aufweist, wobei das Wafer-Herstellungsverfahren einschließt: einen Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Einstellen eines Brennpunkts eines Laserstrahls, der eine Transmissionswellenlänge für den Ingot aufweist, auf eine von der ersten Fläche vorbestimmte Tiefe im Inneren des Ingots, wobei die Tiefe einer Dicke des herzustellenden Wafers entspricht, und als Nächstes einem Aufbringen des Laserstrahls auf die erste Fläche bei einem relativen Bewegen des Brennpunkts und des Ingots, um dadurch eine modifizierte Schicht parallel zu der ersten Fläche und Risse auszubilden, die sich von der modifizierten Schicht entlang der c-Ebene erstrecken, um so einen Trennstartpunkt auszubilden; und einen Wafer-Trennschritt mit einem Trennen eines plattenförmigen Elements mit einer Dicke, die der Dicke des Wafers entspricht, von dem Ingot bei dem Trennstartpunkt nach dem Ausführen des Trennstartpunktausbildungsschritts, umso den Wafer aus dem Ingot herzustellen. Der Trennstartpunktausbildungsschritt schließt ein: einen Ausbildungsschritt für eine modifizierte Schicht mit einem relativen Bewegen des Brennpunkts des Laserstrahls in einer ersten Richtung, die senkrecht zu einer zweiten Richtung ist, wo die c-Achse in Bezug auf eine senkrechte zu der ersten Fläche um einen Abweichungswinkel geneigt ist und der Abweichungswinkel zwischen der ersten Fläche und der c-Ebene ausgebildet ist, um dadurch die sich in der ersten Richtung erstreckende modifizierte Schicht linear auszubilden; und einen Einteilungsschritt mit einem relativen Bewegen des Brennpunkts in der zweiten Richtung, um dadurch den Brennpunkt um einen vorbestimmten Betrag weiter zu bewegen. Der Trennstartpunktausbildungsschritt schließt einen ersten Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Ausbilden des Trennstartpunkts mit einer ersten Leistung und einen zweiten Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Einstellen des Brennpunkts bei der modifizierten Schicht, die zuvor bei dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt ausgebildet wird, und dann einem Aufbringen des Laserstrahls auf den Ingot mit einer zweiten Leistung, die höher ist als die erste Leistung, bei einer erhöhten Wiederholfrequenz in dem Zustand ein, in dem die Energie pro Puls des Laserstrahls die gleiche ist wie die bei dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt, wodurch die Risse von der modifizierten Schicht getrennt werden.

[0010] In Übereinstimmung mit dem Wafer-Herstellungsverfahren der vorliegenden Erfindung umfasst der Trennstartpunktausbildungsschritt den ersten Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Ausbilden des Trennstartpunkts mit einer ersten Leistung und den zweiten Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Einstellen des Brennpunkts auf die modifizierte Schicht, die zuvor bei dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt ausgebildet wird, und dann einem Aufbringen des Laserstrahls auf den Ingot mit einer zweiten Leistung, die höher ist als die erste Leistung, bei einer erhöhten Wiederholfrequenz in dem Zustand, in dem die Energie pro Puls des Laserstrahls die gleiche ist wie die bei dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt, wodurch die Risse von der modifizierten Schicht getrennt werden.

[0011] Bei dem zweiten Trennstartpunktausbildungsschritt wird die Wiederholfrequenz des Laserstrahls höher eingestellt als die bei dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt. Wenn der zweite Trennstartpunktausbildungsschritt einmal ausgeführt wird, wird der Laserstrahl dementsprechend mehrere Male auf die modifizierte Schicht fokussiert, die zuvor bei dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt ausgebildet wird. Das heißt, dass durch einmaliges Ausführen des zweiten Trennstartpunktausbildungsschritts bei der erhöhten Wiederholfrequenz des Laserstrahls die Risse von der modifizierten Schicht getrennt werden können.

[0012] Als Ergebnis kann das plattenförmige Element mit der Dicke, die der Dicke des Wafers entspricht, auf einfache Weise von dem Ingot bei dem Trennstartpunkt getrennt werden, wodurch der hexagonale Einkristall-Wafer aus dem Ingot hergestellt wird. Dementsprechend kann die Produktivität ausreichend verbessert werden und die Menge an Ausschuss von dem Ingot kann ausreichend auf in etwa 30% reduziert werden.

[0013] Die obigen und andere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung und die Art und Weise ihrer Realisierung wird deutlicher und die Erfindung selbst wird am besten durch ein Studium der folgenden Beschreibung und angehängten Ansprüche unter Bezugnahme auf die angehängten Zeichnungen, die eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zeigen, verstanden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0014] Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht einer Laserbearbeitungsvorrichtung, die für eine Verwendung beim Ausführen eines Wafer-Herstellungsverfahrens der vorliegenden Erfindung geeignet ist;

[0015] Fig. 2 ist ein Blockdiagramm einer Laserstrahlerzeugungseinheit;

[0016] Fig. 3A ist eine perspektivische Ansicht eines hexagonalen Einkristall-Ingots;

[0017] Fig. 3B ist eine Ansicht des in **Fig.** 3A gezeigten Ingots;

[0018] Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht zum Veranschaulichen eines Trennstartpunktausbildungsschritts;

[0019] Fig. 5 ist eine Draufsicht des in **Fig.** 3A gezeigten Ingots;

[0020] Fig. 6 ist eine schematische Schnittansicht zum Veranschaulichen eines Ausbildungsschritts einer modifizierten Schicht;

[0021] Fig. 7 ist eine schematische Draufsicht zum Veranschaulichen des Ausbildungsschritts einer modifizierten Schicht;

[0022] Fig. 8A ist eine schematische Draufsicht zum Veranschaulichen eines Einteilungsschritts;

[0023] Fig. 8B ist eine schematische Draufsicht zum Veranschaulichen eines Einteilungsbetrags;

[0024] Fig. 9 ist eine perspektivische Ansicht zum Veranschaulichen eines Wafer-Trennschritts;

[0025] Fig. 10 ist eine perspektivische Ansicht eines hexagonalen Einkristall-Wafers, der aus dem Ingot hergestellt wird; und

[0026] die **Fig.** 11A bis **Fig.** 11C sind schematische Schnittansichten zum Veranschaulichen des Trennstartpunktausbildungsschritts in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0027] Es wird nun eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Detail unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Bezugnehmend auf **Fig.** 1 wird eine perspektivische Ansicht einer Laserbearbeitungsvorrichtung **2** gezeigt, die für eine Verwendung bei einem Ausführen eines Wafer-Herstellungsverfahrens der vorliegenden Erfindung geeignet ist. Die Laserbearbeitungsvorrichtung **2** schließt eine stationäre Basis **4** und einen ersten Schiebe- bzw. Kulissenblock **6** ein, der so an der stationären Basis **4** montiert ist, dass er in der X-Richtung bewegbar ist. Der erste Kulissenblock **6** wird durch einen Zuführmechanismus **12**, der aus einer Kugelgewindespindel **8** und einem Schrittmotor **10** aufgebaut ist, in einer Zuführrichtung oder in der X-Richtung entlang eines Paars Führungsschienen **14** bewegt.

[0028] Ein zweiter Kulissenblock **16** ist an dem ersten Kulissenblock **6** montiert, sodass er in der Y-Richtung bewegbar ist. Der zweite Kulissenblock **16** wird durch einen Einteilungsmechanismus **22**, der aus einer Kugelgewindespindel **18** und einem Schrittmotor **20** aufgebaut ist, in einer Einteilungsrichtung oder in der Y-Richtung entlang eines Paars Führungsschienen **24** bewegt. Ein Stütztisch **26** ist an dem zweiten Kulissenblock **16** montiert. Der Stütztisch **26** ist durch den Zuführmechanismus **12** und den Einteilungsmechanismus **22** in der X-Richtung und der Y-Richtung bewegbar und zudem durch einen in dem zweiten Kulissenblock **16** untergebrachten Motor drehbar.

[0029] Eine Säule **28** ist so an der stationären Basis **4** vorgesehen, dass sie von dieser nach oben hervorsteht. Ein Laserstrahlaufbringmechanismus (Laserstrahlaufbringmittel) **30** ist an der Säule **28** montiert. Der Laserstrahlaufbringmechanismus **30** ist aus einem Gehäuse **32**, einer in dem Gehäuse **32** untergebrachten Laserstrahlerzeugungseinheit **34** (siehe **Fig.** 2) und einem Fokussiermittel (Laserkopf) **36** aufgebaut, das in der Z-Richtung bewegbar an dem vorderen Ende des Gehäuses **32** montiert ist. Eine Abbildungseinheit **38**, die ein Mikroskop und eine Kamera aufweist, ist ebenfalls an dem vorderen Ende des Gehäuses **32** montiert, sodass es mit dem Fokussiermittel **36** in der X-Richtung ausgerichtet ist.

[0030] Wie in **Fig.** 2 gezeigt, schließt die Laserstrahlerzeugungseinheit **34** einen Laseroszillator **40** zum Erzeugen eines gepulsten Laserstrahls, wie zum Beispiel ein YAG-Laser und YVO4-Laser, ein Wiederholfrequenzeinstellmittel **42** zum Einstellen der Wiederholfrequenz des von dem Laseroszillator **40** zu erzeugenden gepulsten Laserstrahls, ein Pulsbreiteneinstellmittel **44** zum Einstellen der Pulsbreite des von dem Laseroszillator **40** zu erzeugenden gepulsten Laserstrahls und ein Leistungseinstellmittel **46** zum Einstellen der Leistung des von dem Laseroszillator **40** zu erzeugenden gepulsten Laserstrahls ein. Obwohl nicht besonders gezeigt, weist der Laseroszillator **40** ein Brewster-Fenster auf, sodass der von dem Laseroszillator **40** erzeugte Laserstrahl ein Laserstrahl aus linear polarisiertem Licht ist. Nachdem die Leistung des gepulsten Laserstrahls durch das Leistungseinstellmittel **46** der Laserstrahlerzeugungseinheit **34** auf eine vorbestimmte Leistung eingestellt ist, wird der gepulste Laserstrahl durch einen Spiegel **48**, der zu dem Fokussiermittel **36** gehört, reflektiert und als Nächstes durch eine in dem Fokussiermittel **36** einbezogene Fokussierlinse **50** fokussiert. Die Fokussierlinse **50** ist so positioniert, dass der gepulste Laserstrahl innerhalb eines hexagonalen Einkristall-Ingots **11** als ein an dem Stütztisch **26** fixiertes Werkstück fokussiert wird.

[0031] Bezugnehmend auf **Fig.** 3A wird eine perspektivische Ansicht des hexagonalen Einkristall-Ingots **11** als zu bearbeitendes Werkstück gezeigt. **Fig.** 3B ist eine Ansicht des in **Fig.** 3A gezeigten hexagonalen Einkristall-Ingots **11**. Der hexagonale Einkristall-Ingot **11**, auf den hiernach einfach als Ingot Bezug genommen wird, wird aus einem SiC-Einkristall-Ingot oder einem GaN-Einkristall-Ingot ausgewählt. Der Ingot **11** weist eine erste Fläche (obere Fläche) **11a** und eine der ersten Fläche **11a** gegenüberliegende zweite Fläche (untere Fläche) **11b** auf. Die erste Fläche **11a** des Ingots **11** wird zuvor auf Hochglanz poliert, da der Laserstrahl auf die erste Fläche **11A** aufgebracht wird.

[0032] Der Ingot **11** weist eine erste Ausrichtungsebene **13** und eine zu der ersten Ausrichtungsebene **13** senkrechte zweite Ausrichtungsebene **15** auf. Die Länge der ersten Ausrichtungsebene **13** ist größer als die Länge der zweiten Ausrichtungsebene **15**. Der Ingot **11** weist eine c-Achse **19** auf, die in Bezug auf eine Senkrechte **17** zu der oberen Fläche **11a** um einen Abweichungswinkel α in Richtung der zweiten Ausrichtungsebene **15** geneigt ist, und weist zudem eine zu der c-Achse **19** senkrechte c-Ebene **21** auf. Die c-Ebene **21** ist in Bezug auf die obere Fläche **11a** um den Abweichungswinkel α geneigt. Im Allgemeinen ist in dem hexagonalen Einkristall-Ingot **11** die zu der Erstreckungsrichtung der kürzeren zweiten Ausrichtungsebene **15** senkrechte Richtung die Neigungsrichtung der c-Achse **19**. Die c-Ebene **21** ist unzählbar auf der Molekularebene des Ingots **11** festgelegt. Bei dieser bevorzugten Ausführungsform ist der Abweichungswinkel α auf 4° eingestellt. Jedoch ist der Abweichungswinkel α nicht auf die 4° der vorliegenden Erfindung beschränkt. Beispielsweise kann der Abweichungswinkel α beim Herstellen des Ingots **11** auf einen Bereich von 1° bis 6° frei eingestellt werden.

[0033] Wiederum bezugnehmend auf **Fig.** 1 ist eine Säule **52** an auf linken Seite der stationären Basis **4** befestigt. Die Säule **52** ist mit einer sich in vertikaler Richtung erstreckenden länglichen Öffnung **53** ausgebildet und ein Druckmechanismus **54** ist in vertikaler Richtung bewegbar an der Säule **52** montiert, sodass er von der Öffnung **53** hervorsteht.

[0034] Wie in **Fig.** 4 gezeigt, wird der Ingot **11** unter Verwendung eines Wachses oder eines Haftmittels in dem Zustand an der oberen Fläche des Stütztischs **26** befestigt, bei dem die zweite Ausrichtungsebene **15** des Ingots **11** parallel zu der X-Richtung ist. Mit anderen Worten wird die Ausbildungsrichtung des Abweichungswinkels α, wie in **Fig.** 5 gezeigt, durch einen Pfeil Y1 angedeutet. D. h., dass die Richtung des Pfeils Y1 die Richtung ist, in der die Überschneidung **19a** zwischen der c-Achse **19** und der oberen Fläche **11a** des Ingots **11** in Bezug zu der Senkrechten **17** zu der oberen Fläche **11a** vorliegt. Ferner wird die zu der Richtung des Pfeils Y1 senkrechte Richtung durch einen Pfeil A gezeigt. Dann wird der Ingot **11** an dem Stütztisch **26** in dem Zustand fixiert, in dem die Richtung des Pfeils A parallel zu der X-Richtung wird.

[0035] Dementsprechend wird der Laserstrahl in der Richtung des Pfeils A senkrecht zu der Richtung des Pfeils Y1 oder der Ausbildungsrichtung des Abweichungswinkels α gescannt. Mit anderen Worten ist die zu der Richtung des Pfeils Y1, wo der Abweichungswinkel α ausgebildet wird, senkrechte Richtung des Pfeils A als Zuführrichtung des Stütztischs **26** definiert.

[0036] Bei dem Wafer-Herstellungsverfahren der vorliegenden Erfindung ist es wichtig, dass die Scanrichtung des von dem Fokussiermittel **36** aufzubringenden Laserstrahls auf die Richtung des Pfeils A senkrecht zu der Richtung des Pfeils Y1 eingestellt wird, wo der Abweichungswinkel α des Ingots **11** ausgebildet wird. D. h., dass herausgefunden wurde, dass durch Einstellen der Scanrichtung des Laserstrahls auf die Richtung des Pfeils A, wie bei dem Wafer-Herstellungsverfahren der vorliegenden Erfindung oben erwähnt, sich Risse, die sich von einer innerhalb des Ingots **11** durch den Laserstrahl ausgebildeten modifizierten Schicht ausbreiten, sich sehr lang entlang der c-Ebene **21** erstrecken.

[0037] Beim Ausführen des Wafer-Herstellungsverfahrens in Übereinstimmung mit dieser bevorzugten Ausführungsform wird ein Trennstartpunktausbildungsschritt auf so eine Weise ausgeführt, dass der Brennpunkt des Laserstrahls, der eine Transmissionswellenlänge, wie zum Beispiel 1064 nm, für den an dem Stütztisch **26** fixierten hexagonalen Einkristall-Ingot **11** aufweist, auf eine von der ersten Fläche **11a** (obere Fläche) aus vorbestimmten Tiefe im Inneren des Ingots **11** eingestellt wird, die der Dicke eines herzustellenden Wafers entspricht, und der Laserstrahl als Nächstes bei einer Relativbewegung des Brennpunkts und des Ingots **11** auf die obere Fläche **11a** aufgebracht wird, um dadurch eine modifizierte Schicht **23** parallel zu der oberen Fläche **11a** und Risse **25** auszubilden, die sich von der modifizierten Schicht **23** entlang der c-Ebene **21** erstrecken und so einen Trennstartpunkt (Trennebene) ausbilden, wo die modifizierte Schicht **23** und die Risse **25** ausgebildet werden.

[0038] Dieser Trennstartpunktausbildungsschritt umfasst einen Ausbildungsschritt für eine modifizierte Schicht mit einem relativen Bewegen des Brennpunkts des Laserstrahls in der Richtung des Pfeils A, die senkrecht zu der Richtung des Pfeils Y1 ist, wo die c-Achse **19** in Bezug auf die Senkrechte **17** zu der oberen Fläche **11a** um den Abweichungswinkel α geneigt ist und der Abweichungswinkel α zwischen der c-Ebene **21** und der oberen Fläche **11a** ausgebildet ist, wodurch die modifizierte Schicht **23** innerhalb des Ingots **11** und die Risse **25**, die sich von der mo-

difizierten Schicht **23** entlang der c-Ebene **21** erstrecken, ausgebildet werden, und zudem einen Einteilungsschritt zum relativen Bewegen des Brennpunkts in der Ausbildungsrichtung des Abweichungswinkels α, d. h. in der Y-Richtung, einschließt, um dadurch den Brennpunkt, wie in **Fig.** 7 und den **Fig.** 8A und **Fig.** 8B gezeigt, um einen vorbestimmten Betrag weiterzubewegen.

[0039] Wie in den **Fig.** 6 und **Fig.** 7 gezeigt, wird die modifizierte Schicht **23** so linear ausgebildet, dass sie sich in der X-Richtung erstreckt, sodass die Risse **25** sich von der modifizierten Schicht **23** in entgegengesetzte Richtungen entlang der c-Ebene **21** erstrecken. Bei dem Wafer-Herstellungsverfahren in Übereinstimmung mit dieser bevorzugten Ausführungsform umfasst der Trennstartpunktausbildungsschritt ferner einen Einteilungsbetrag-Einstellungsschritt mit einem Messen der Breite der Risse **25**, die auf einer Seite der modifizierten Schicht **23** entlang der c-Ebene **21** ausgebildet werden, und dann einem Einstellen des Einteilungsbetrags des Brennpunkts entsprechend der obigen Breitenmessung. Mit W1 die Breite der Risse **25** bezeichnend, die auf einer Seite der modifizierten Schicht **23** ausgebildet werden, sodass sie sich von der modifizierten Schicht **23** entlang der c-Ebene **21** ausbreiten, wird der Einteilungsbetrag W2 des Brennpunkts genauer gesagt in dem Bereich von W1 bis 2W1 eingestellt.

[0040] Beispielsweise wird der Trennstartpunktausbildungsschritt mit den folgenden Laserbearbeitungsbedingungen durchgeführt.
Lichtquelle: gepulster Nd:YAG-Laser
Wellenlänge: 1064 nm
Wiederholfrequenz: 80 kHz
durchschnittliche Leistung: 3,2 W
Pulsbreite: 4 ns
Punktdurchmesser: 10 μm
numerische Blende (NA) der Fokussierlinse: 0,45
Einteilungsbetrag: 400 μm

[0041] Bei den oben erwähnten Laserbearbeitungsbedingungen wird die Breite W1 der Risse **25**, die sich von der modifizierten Schicht **23** entlang der c-Ebene **21** in einer in **Fig.** 6 zu sehenden Richtung ausbreiten, auf in etwa 250 μm eingestellt und der Einteilungsbetrag W2 wird auf 400 μm eingestellt. Jedoch ist die durchschnittliche Leistung des Laserstrahls nicht auf 3,2 W beschränkt. Wenn die durchschnittliche Leistung des Laserstrahls auf 2 bis 4,5 W eingestellt war, wurden bei der bevorzugten Ausführungsform gute Ergebnisse erreicht. Für den Fall, dass die durchschnittliche Leistung auf 2 W eingestellt war, war die Breite W1 der Risse **25** in etwa 100 μm. Für den Fall, dass die durchschnittliche Leistung auf 4,5 W eingestellt war, war die Breite W1 der Risse **25** in etwa 350 μm.

[0042] Für den Fall, dass die durchschnittliche Leistung weniger als 2 W oder größer 4,5 W beträgt, kann die modifizierte Schicht **23** nicht gut innerhalb des Ingots **11** ausgebildet werden. Dementsprechend wird die durchschnittliche Leistung des aufzubringenden Laserstrahls vorzugsweise auf einen Bereich von 2 bis 4,5 W eingestellt. Beispielsweise war die durchschnittliche Leistung des auf den Ingot **11** aufzubringenden Laserstrahls bei dieser bevorzugten Ausführungsform auf 3,2 W eingestellt. Wie in **Fig.** 6 gezeigt, war die Tiefe D1 des Brennpunkts zum Ausbilden der modifizierten Schicht **23** von der oberen Fläche **11a** aus auf 500 μm eingestellt.

[0043] Bezugnehmend auf **Fig.** 8A wird eine schematische Draufsicht zum Veranschaulichen der Scanrichtung des Laserstrahls gezeigt. Der Trennstartpunktausbildungsschritt wird, wie in **Fig.** 8A gezeigt, auf einem Vorwärtspfad X1 und einem Rückwärtspfad X2 ausgeführt. D. h., dass die modifizierte Schicht **23** in dem hexagonalen Einkristall-Ingot **11** auf dem Vorwärtspfad X1 ausgebildet wird. Danach wird der Brennpunkt des Laserstrahls um den vorbestimmten Betrag weiterbewegt. Danach wird wieder die modifizierte Schicht **23** auf dem Rückwärtspfad X2 in dem Ingot **11** ausgebildet.

[0044] Für den Fall, dass der Einteilungsbetrag des Brennpunkts des Laserstrahls in einem Bereich von W bis 2 W eingestellt wird, wobei W die Breite der Risse **25** ist, die auf einer Seite der modifizierten Schicht **23** entlang der c-Ebene **21** ausgebildet werden, wird der Einteilungsbetrag des Brennpunkts ferner vorzugsweise auf W oder weniger eingestellt, bis die modifizierte Schicht **23** zum ersten Mal nach dem Einstellen des Brennpunkts des Laserstrahls auf das Innere des Ingots **11** ausgebildet wird.

[0045] Für den Fall, dass der Einteilungsbetrag des Brennpunkts des Laserstrahls 400 μm ist, wird der Einteilungsbetrag beispielsweise auf 200 μm eingestellt, bis die modifizierte Schicht **23** zum ersten Mal innerhalb des Ingots **11** ausgebildet wird, und dann wird der Laserstrahl mehrere Male mit diesem Einteilungsbetrag von 200 μm gescannt, wie in **Fig.** 8B gezeigt. D. h., dass ein erster Teil der Vielzahl von Scanphasen des Laserstrahls ein Leerlauf ist und wenn bestimmt worden ist, dass die modifizierte Schicht **23** zum ersten Mal innerhalb des Ingots **11** ausgebildet worden ist, wird der Einteilungsbetrag auf 400 μm eingestellt und dann die modifizierte Schicht **23** im Inneren des Ingots **11** ausgebildet.

[0046] Auf diese Weise wird der Brennpunkt des Laserstrahls nacheinander weiterbewegt, um eine Vielzahl von modifizierten Schichten **23** in der Tiefe D1 in dem gesamten Bereich des Ingots **11** auszubilden und ebenso die Risse **25** auszubilden, die sich von jeder modifizierten Schicht **23** entlang der c-Ebene **21** erstrecken. Danach wird ein Wafer-Trennschritt auf

so eine Weise ausgeführt, dass eine äußere Kraft auf den Ingot **11** aufgebracht wird, um dadurch bei dem Trennstartpunkt, der aus den modifizierten Schichten **23** und den Rissen **25** besteht, ein plattenförmiges Element mit einer Dicke zu trennen, die der Dicke des von dem Ingot **11** auszubildenden Wafers entspricht, um somit einen in **Fig.** 10 gezeigten hexagonalen Einkristall-Wafer **27** herzustellen.

[0047] Der Wafer-Trennschritt wird auf die folgende Weise ausgeführt. Wie in **Fig.** 9 gezeigt, ist eine Ultraschallschwingungserzeugungsvorrichtung **62** in einem Wassertank eingerichtet und der hexagonale Einkristall-Ingot **11**, in dem der Trennstartpunkt durch den vorhergehenden Schritt ausgebildet worden ist, wird an der Ultraschallschwingungserzeugungsvorrichtung **62** befestigt. Danach wird der Wassertank **60** mit reinem Wasser **64** gefüllt, um den hexagonalen Einkristall-Ingot **11** in dem reinen Wasser **64** einzutauchen. Danach wird eine Spannung auf die Ultraschallschwingungserzeugungsvorrichtung **62** aufgebracht, um dadurch eine Ultraschallschwingung zu erzeugen, die beispielsweise eine Frequenz von 40 kHz aufweisen.

[0048] Diese Ultraschallschwingung wird zu dem hexagonalen Einkristall-Ingot **11** übertragen, wodurch das plattenförmige Element mit einer Dicke, die der Dicke des Wafers entspricht, von dem Ingot **11** bei dem Trennstartpunkt getrennt wird, der im Inneren des Ingots **11** ausgebildet ist. Dementsprechend kann ein wie in **Fig.** 10 gezeigter hexagonaler Einkristall-Wafer **27** aus dem hexagonalen Einkristall-Ingot **11** hergestellt werden. Obwohl das reine Wasser **64** bei dieser bevorzugten Ausführungsform in dem Wassertank **60** enthalten ist, ist jegliche andere Art von Behälter verwendbar.

[0049] Als Ultraschallschwingungserzeugungsvorrichtung **62** zum Erzeugen von Ultraschallschwingungen kann zum Beispiel ein AS Ultrasonic Cleaner US-2R, bereitgestellt durch AS ONE Corporation, verwendet werden. In diesem Fall kann die Ultraschallschwingungserzeugungsvorrichtung **62** eine Ultraschallschwingung mit einer Frequenz von 40 kHz und einer Leistung von 80 W erzeugen. Die bei dem Wafer-Trennschritt aufzubringende Ultraschallschwingung weist vorzugsweise eine Frequenz von 30 bis 50 kHz und noch bevorzugter von 35 bis 45 kHz auf.

[0050] Der Trennstartpunktausbildungsschritt in Übereinstimmung mit dieser bevorzugten Ausführungsform wird nunmehr detaillierter unter Bezugnahme auf die **Fig.** 11A bis **Fig.** 11C beschrieben. Wie in **Fig.** 11A gezeigt, wird der Brennpunkt P eines Laserstrahls LB auf die der Dicke des herzustellenden Wafers entsprechende Tiefe im Inneren des Ingots **11** eingestellt und der Laserstrahl LB wird als Nächstes auf die obere Fläche **11a** des Ingots **11** aufgebracht. Als Ergebnis wird die modifizierte Schicht **23** bei dem Brennpunkt P ausgebildet und die Risse **25** werden um die modifizierte Schicht **23** ausgebildet, sodass sie sich radial von dieser entlang der c-Ebene erstrecken. Das heißt, wenn der Laserstrahl LB bei einer vorbestimmten Wiederholfrequenz mit einer ersten Leistung auf den Ingot **11** aufgebracht wird, wie in **Fig.** 11B gezeigt, die modifizierte Schicht **23** bei dem Brennpunkt P ausgebildet wird und die Risse **25**, die sich von der modifizierten Schicht **23** ausbreiten, um die modifizierte Schicht **23** in der c-Ebene ausgebildet werden (erster Trennstartpunktausbildungsschritt).

[0051] Bei dem Trennstartpunktausbildungsschritt in Übereinstimmung mit dieser bevorzugten Ausführungsform wird der oben erwähnte erste Trennstartpunktausbildungsschritt von einem zweiten Trennstartpunktausbildungsschritt gefolgt, sodass der Brennpunkt P auf die modifizierte Schicht **23** eingestellt wird, die zuvor in dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt ausgebildet wird, und der Laserstrahl wird auf den Ingot **11** mit einer zweiten Leistung, die höher ist als die erste Leistung, bei einer erhöhten Wiederholfrequenz in dem Zustand aufgebracht, in dem die Energie pro Puls des Laserstrahls die gleiche ist, wie die in dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt. Als Ergebnis werden die Risse **25** von jeder modifizierten Schicht **23** getrennt und, wie in **Fig.** 11C gezeigt, auf den gegenüberliegenden Seiten jeder modifizierten Schicht **23** miteinander verbunden. Da die Risse **25**, wie oben beschrieben, von jeder modifizierten Schicht **23** getrennt und miteinander verbunden werden, kann der nachfolgende Trennschritt auf sehr einfache Weise ausgeführt werden. Das heißt, das plattenförmige Element mit einer Dicke, die der Dicke des Wafers entspricht, kann auf einfache Weise von dem hexagonalen Einkristall-Ingot **11** bei dem Trennstartpunkt getrennt werden, wodurch der hexagonale Einkristall-Wafer **27** auf einfache Weise aus dem Ingot **11** hergestellt wird.

[0052] Beispielsweise wird der erste Trennstartpunktausbildungsschritt unter den folgenden Bearbeitungsbedingungen ausgeführt.
Lichtquelle: gepulster Nd:YAG-Laser
Wellenlänge: 1064 nm
Wiederholfrequenz: 80 kHz
durchschnittliche Leistung: 3,2 W
Pulsbreite: 4 ns
Punktdurchmesser: 10 μm
numerische Blende (NA) der Fokussierlinse: 0,45
Einteilungsbetrag: 400 μm
Zuführgeschwindigkeit: 400 mm/s

[0053] Beispielsweise wird der zweite Trennstartpunktausbildungsschritt unter den folgenden Bearbeitungsbedingungen ausgeführt.
Lichtquelle: gepulster Nd:YAG-Laser
Wellenlänge: 1064 nm

Wiederholfrequenz: 400 kHz
durchschnittliche Leistung: 16 W
Pulsbreite: 4 ns
Punktdurchmesser: 10 µm
numerische Blende (NA) der Fokussierlinse: 0,45
Einteilungsbetrag: 400 µm
Zuführgeschwindigkeit: 400 mm/s

[0054] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Details der oben beschriebenen bevorzugten Ausführungsform beschränkt. Der Schutzbereich der Erfindung wird durch die angehängten Ansprüche definiert und sämtliche Änderungen und Abwandlungen, die in den äquivalenten Schutzbereich der Ansprüche fallen, sind somit durch die Erfindung einbezogen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2000-94221 [0003]
- JP 2013-49461 [0005, 0006, 0006]

Patentansprüche

1. Wafer-Herstellungsverfahren zum Herstellen eines hexagonalen Einkristall-Wafers aus einem hexagonalen Einkristall-Ingot, der eine erste Fläche, eine der ersten Fläche gegenüberliegende zweite Fläche, eine sich von der ersten Fläche zu der zweiten Fläche erstreckende c-Achse und eine zu der c-Achse senkrechte c-Ebene aufweist, wobei das Wafer-Herstellungsverfahren umfasst:
einen Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Einstellen eines Brennpunkts eines Laserstrahls, der eine Transmissionswellenlänge für den Ingot aufweist, auf eine von der ersten Fläche aus vorbestimmte Tiefe im Inneren des Ingots, wobei die Tiefe einer Dicke des herzustellenden Wafers entspricht, und als Nächstes einem Aufbringen des Laserstrahls auf die erste Fläche bei einem relativen Bewegen des Brennpunkts und des Ingots, um dadurch eine modifizierte Schicht parallel zu der ersten Fläche und Risse auszubilden, die sich von der modifizierten Schicht entlang der c-Ebene erstrecken, um so einen Trennstartpunkt auszubilden; und
einen Wafer-Trennschritt mit einem Trennen eines plattenförmigen Elements mit einer Dicke, die der Dicke des Wafers entspricht, von dem Ingot bei dem Trennstartpunkt nach dem Ausführen des Trennstartpunktausbildungsschritts, um so den Wafer aus dem Ingot herzustellen;
wobei der Trennstartpunktausbildungsschritt einschließt:
einen Ausbildungsschritt für eine modifizierte Schicht mit einem relativen Bewegen des Brennpunkts des Laserstrahls in einer ersten Richtung, die senkrecht zu einer zweiten Richtung ist, wo die c-Achse in Bezug auf eine Senkrechte zu der ersten Fläche um einen Abweichungswinkel geneigt ist und der Abweichungswinkel zwischen der ersten Fläche und der c-Ebene ausgebildet ist, wodurch die sich in der ersten Richtung erstreckende modifizierte Schicht linear ausgebildet wird, und
einem Einteilungsschritt mit einem relativen Bewegen des Brennpunkts in der zweiten Richtung, um dadurch den Brennpunkt um einen vorbestimmten Betrag weiterzubewegen;
wobei der Trennstartpunktausbildungsschritt einen ersten Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Ausbilden des Trennstartpunkts mit einer ersten Leistung und einen zweiten Trennstartpunktausbildungsschritt mit einem Einstellen des Brennpunkts auf die modifizierte Schicht, die zuvor in dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt ausgebildet wird, und dann einem Aufbringen des Laserstrahls auf den Ingot mit einer zweiten Leistung, die höher ist als die erste Leistung, bei einer erhöhten Wiederholfrequenz in einem Zustand einschließt, in dem die Energie pro Puls des Laserstrahls die gleiche ist wie die bei dem ersten Trennstartpunktausbildungsschritt, um dadurch die Risse von der modifizierten Schicht zu trennen.

2. Wafer-Herstellungsverfahren nach Anspruch 1, bei dem der Wafer-Trennschritt die Schritte eines Eintauchens des hexagonalen Einkristall-Ingots in Wasser und dann eines Aufbringens einer Ultraschallschwingung auf den Ingot einschließt, wodurch das plattenförmige Element von dem Ingot getrennt wird, um den hexagonalen Einkristall-Wafer herzustellen.

3. Wafer-Herstellungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der hexagonale Einkristall-Ingot aus einem SiC-Einkristall-Ingot und einem GaN-Einkristall-Ingot ausgewählt wird.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

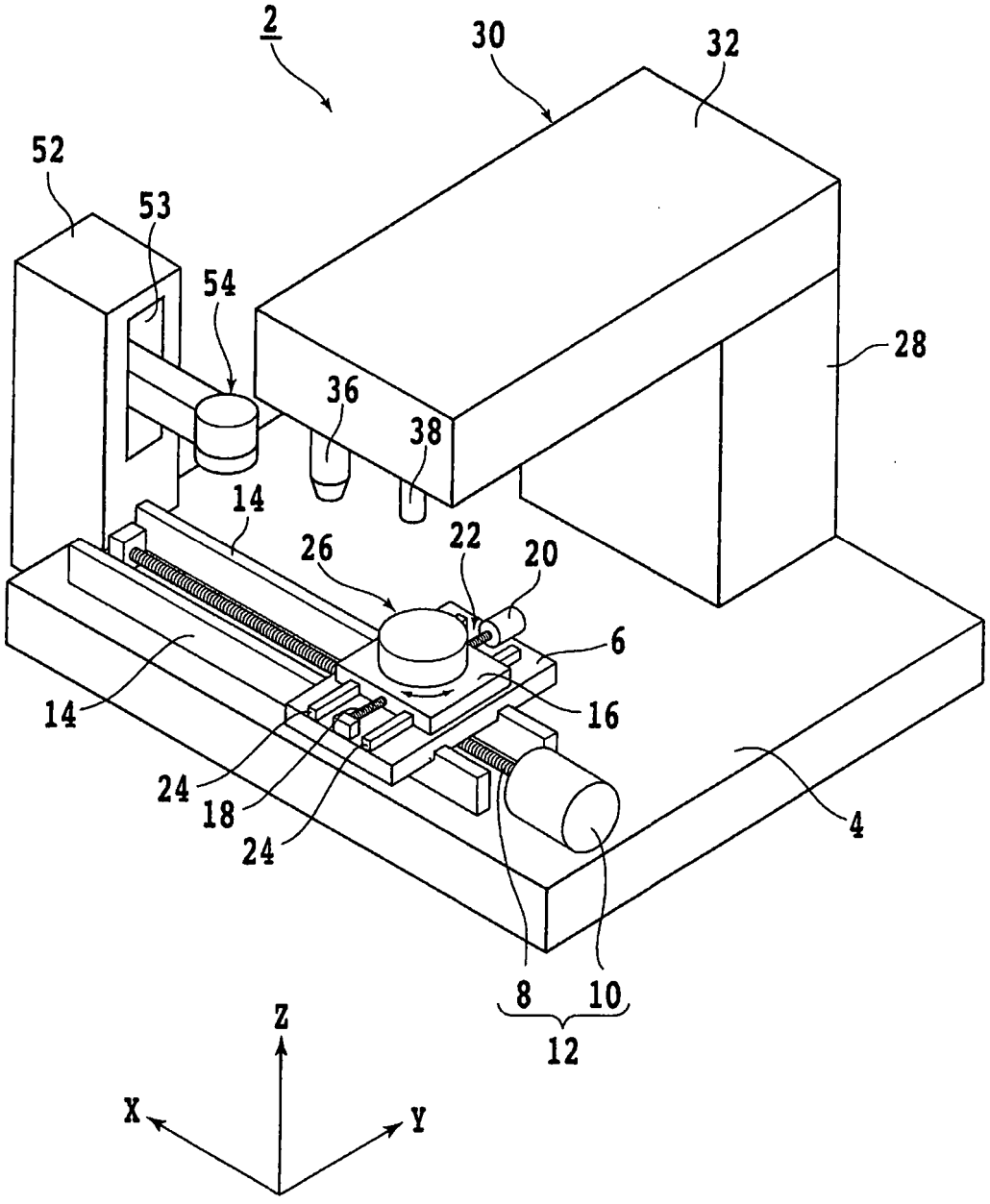


FIG. 2

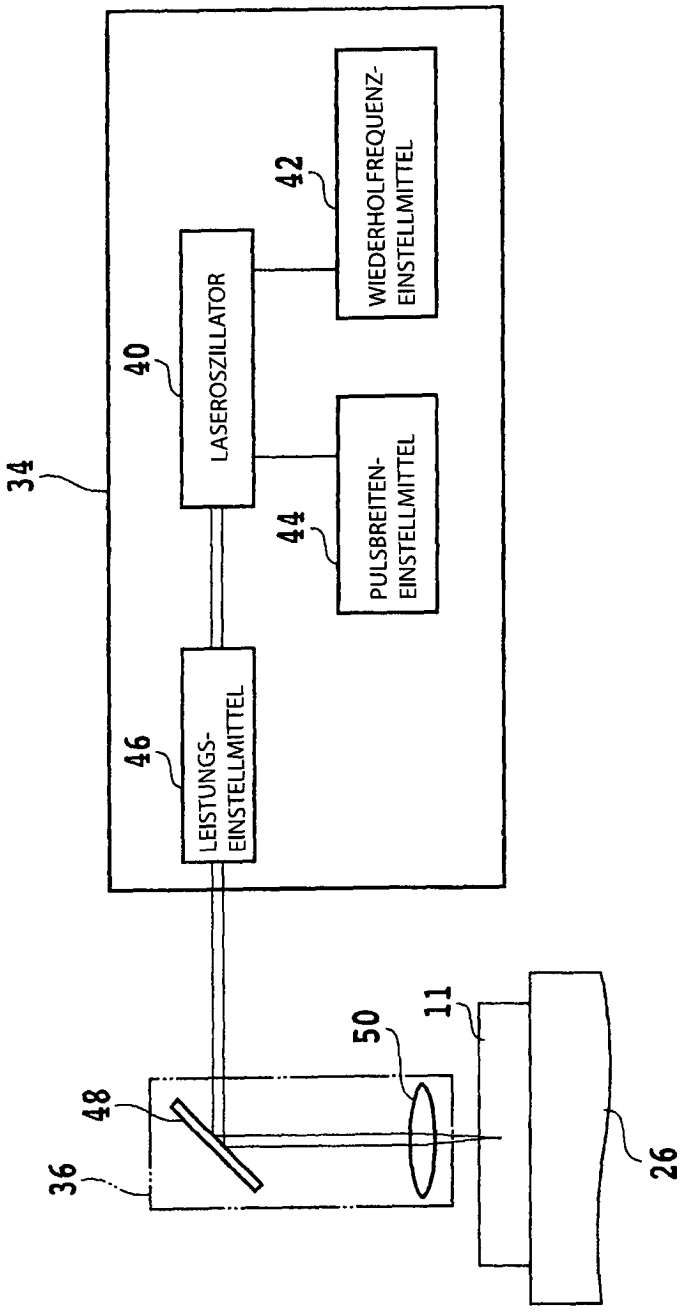

34
40
LASEROSZILLATOR
42
WIEDERHOLFREQUENZ-EINSTELLMITTEL
44
PULSBREITEN-EINSTELLMITTEL
46
LEISTUNGS-EINSTELLMITTEL
36
48
50
11
26

FIG.3A

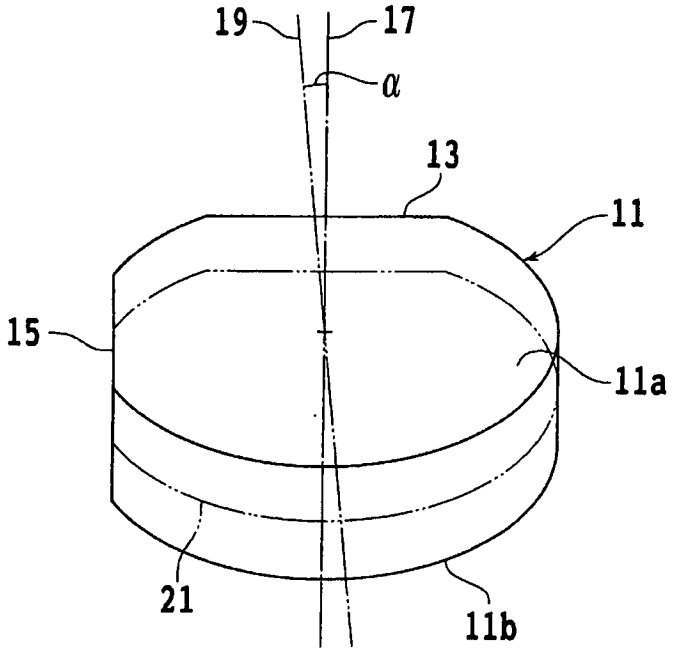


FIG.3B

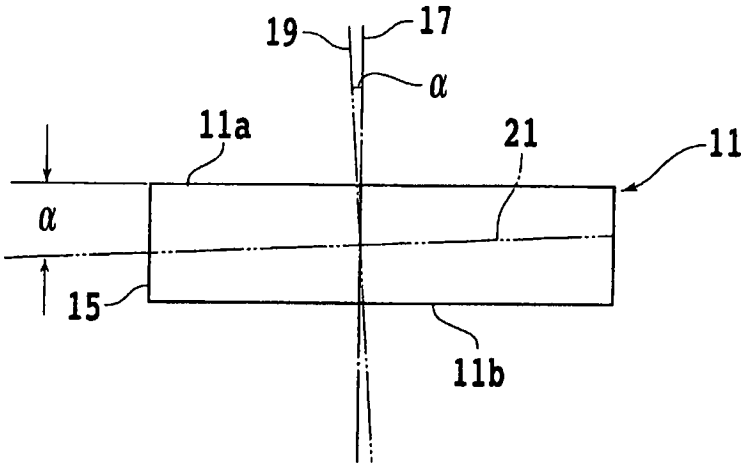


FIG. 4

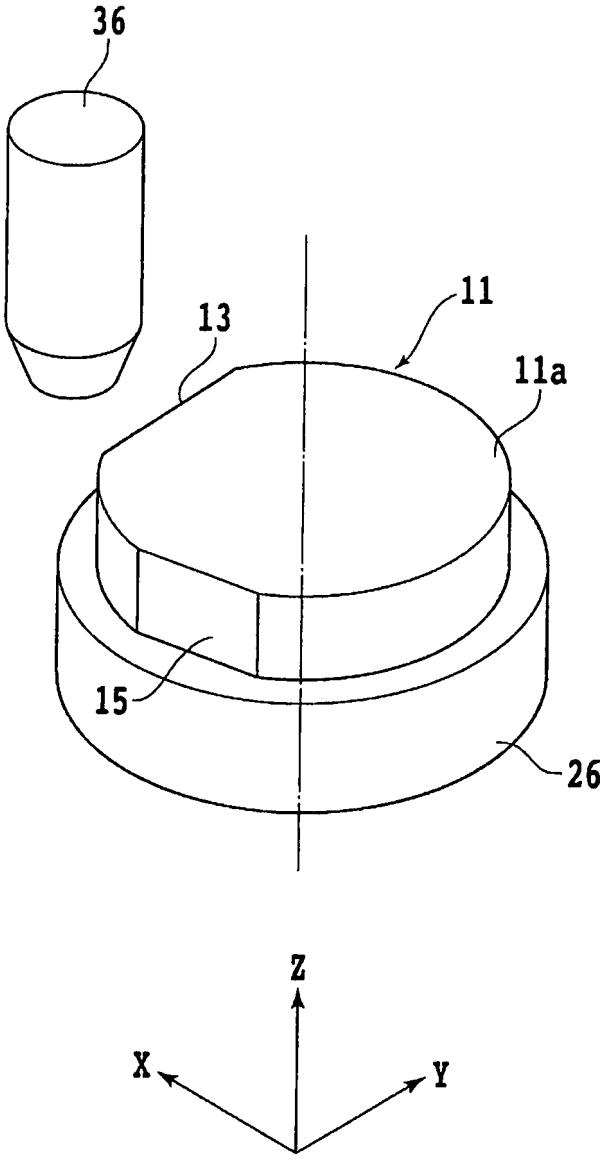


FIG.5

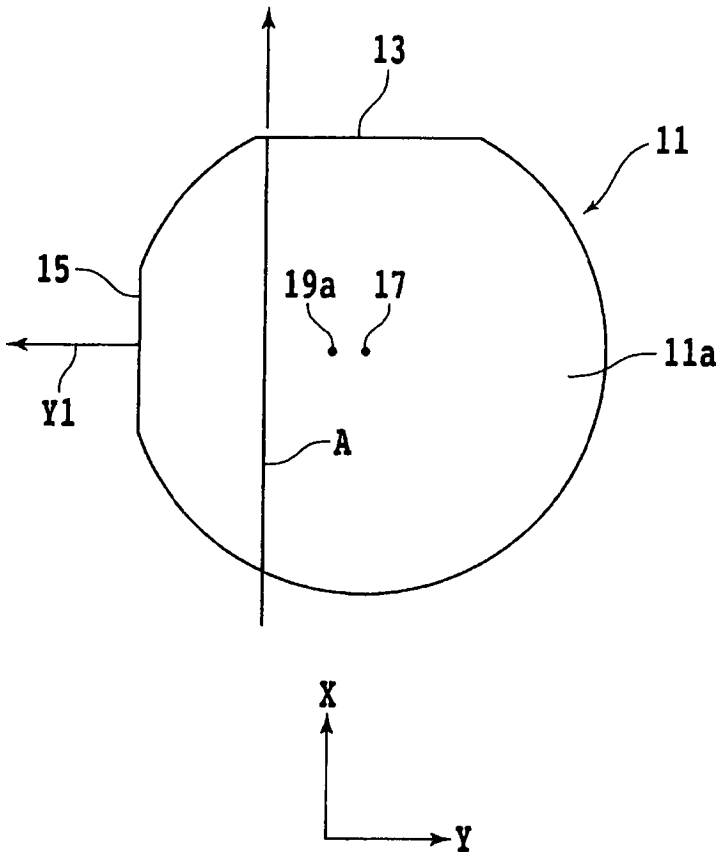


FIG.6

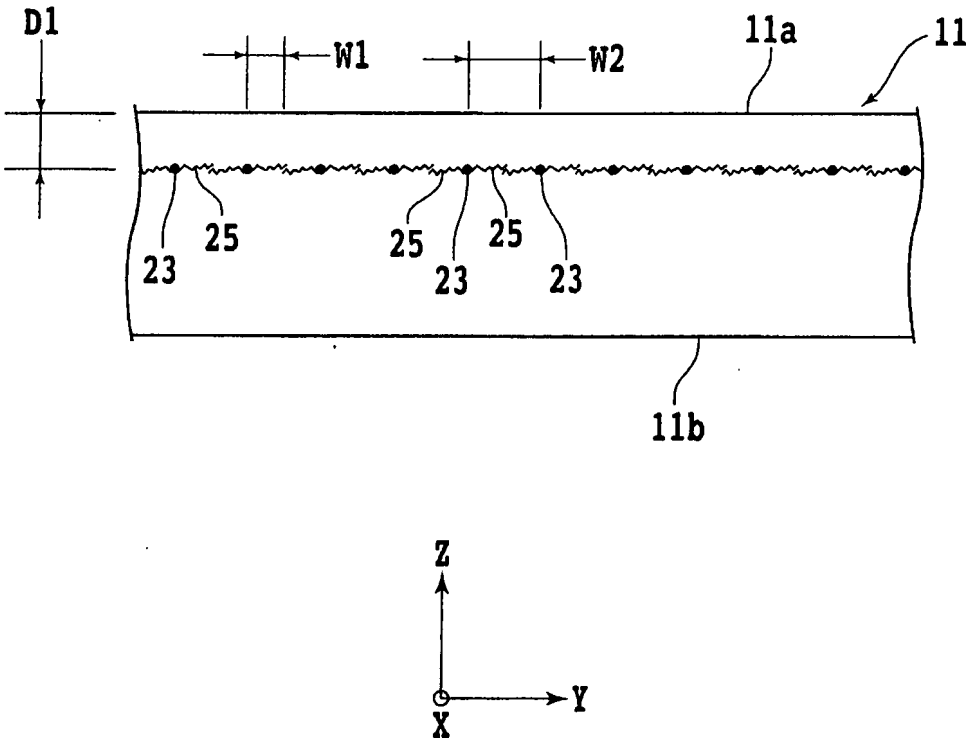


FIG. 7

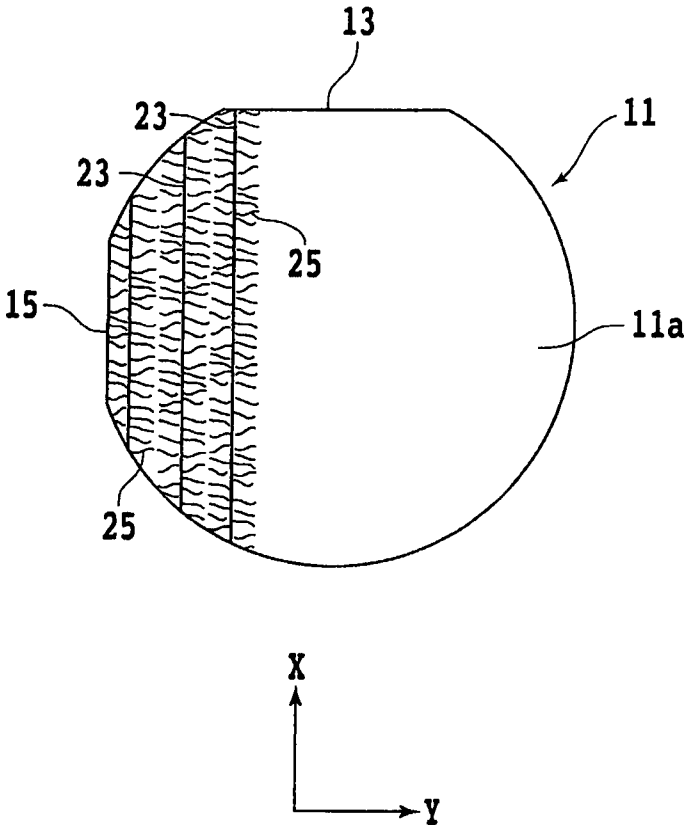


FIG.8A

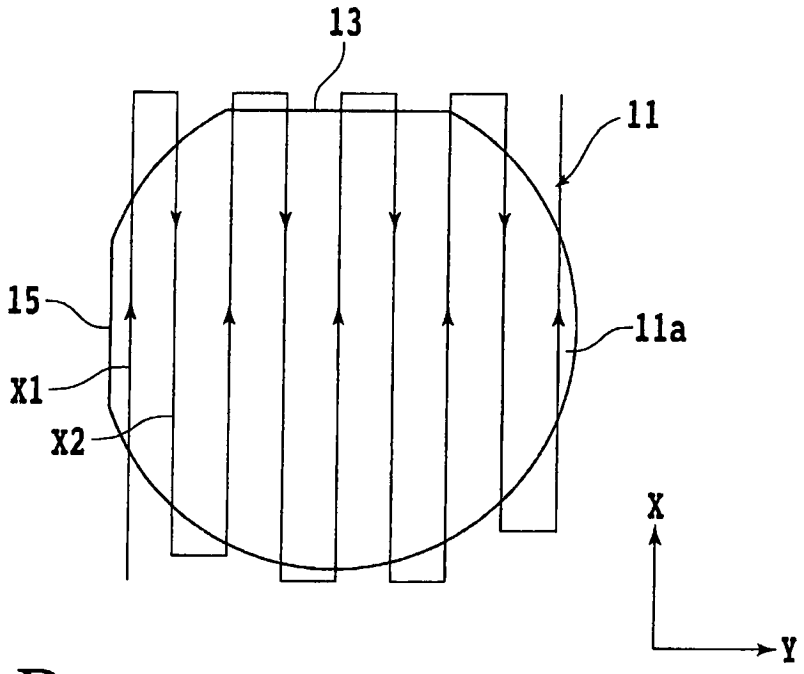


FIG.8B

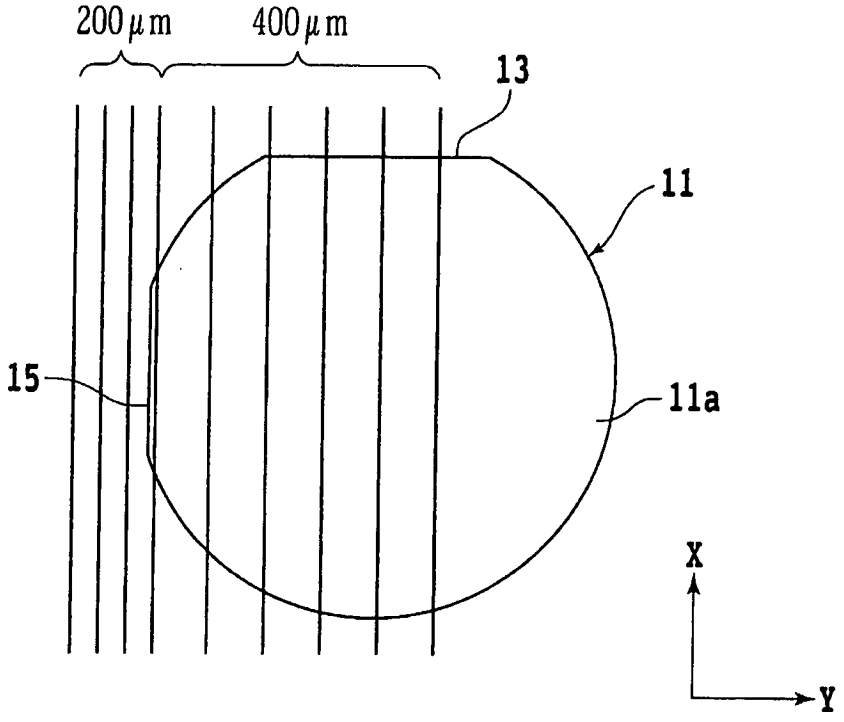


FIG.9

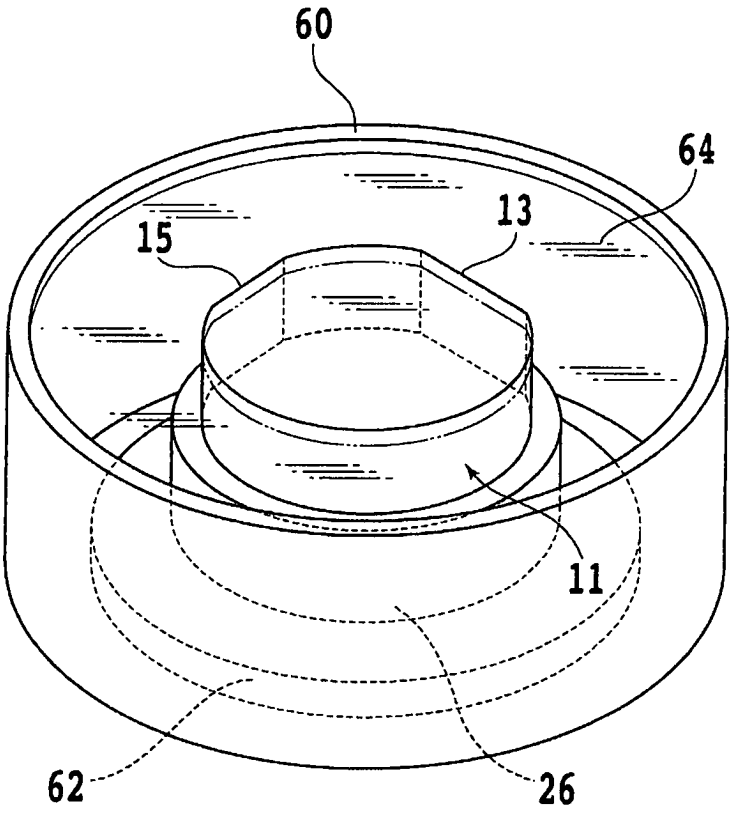


FIG. 10

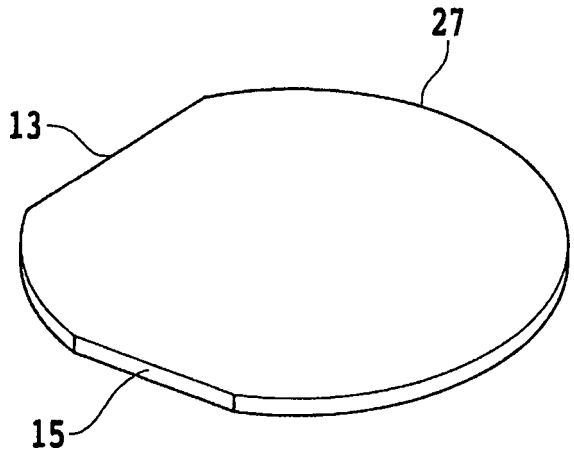


FIG. 11A

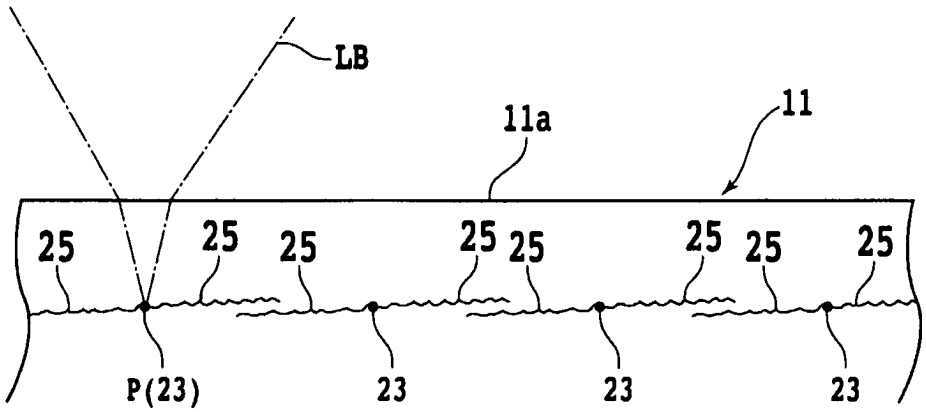


FIG. 11B

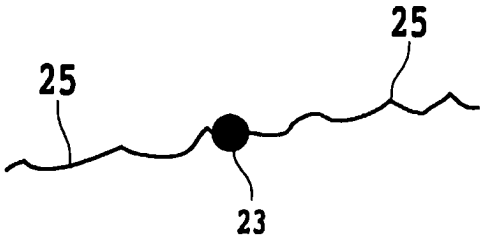


FIG. 11C

