



(10) **DE 10 2009 057 566 A1** 2011.06.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 057 566.9**

(22) Anmeldetag: **09.12.2009**

(43) Offenlegungstag: **16.06.2011**

(51) Int Cl.: **B23K 26/067** (2006.01)

B23K 26/36 (2006.01)

H01L 21/268 (2006.01)

G02B 27/10 (2006.01)

(71) Anmelder:

**OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93055
Regensburg, DE**

(72) Erfinder:

Wagner, Ralph, Dr., 93073 Neutraubling, DE

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 62 10 479 B1

US 61 69 631 B1

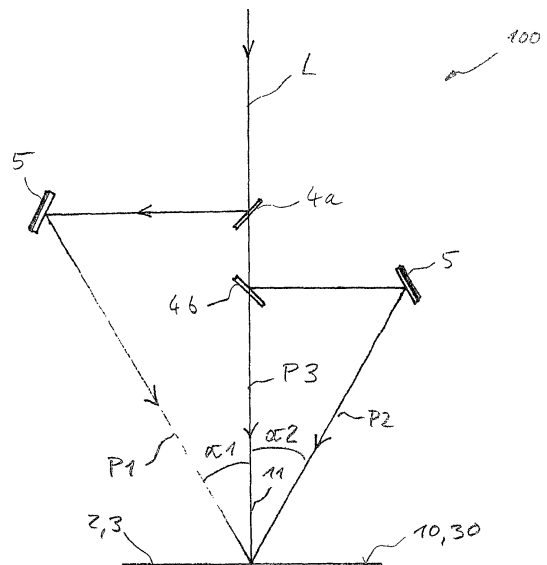
EP 0 859 261 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung für ein Laserabhebeverfahren und Laserabhebeverfahren**

(57) Zusammenfassung: In mindestens einer Ausführungsform der Vorrichtung (100) ist diese für ein Laserabhebeverfahren zum Abtrennen zumindest einer Schicht (2) von einem Träger (3) vorgesehen. Die Vorrichtung (100) beinhaltet einen Laser zur Erzeugung einer zum Beispiel gepulsten Laserstrahlung (L) sowie wenigstens einen Strahlteiler (4). Mittels des wenigstens einen Strahlteilers (4) wird die Laserstrahlung (L) in mindestens zwei Teilstrahlen (P) aufgeteilt. Die Teilstrahlen (P) werden in einer Bestrahlungsebene (10) überlagert, wobei die Bestrahlungsebene (10) dazu vorgesehen ist, dass darin eine der Schicht (2) abgewandte Hauptseite (30) des Trägers (3) angeordnet ist. An der Bestrahlungsebene (10) beträgt ein Winkel (α) zwischen den mindestens zwei Teilstrahlen (P) mindestens $1,0^\circ$.



Beschreibung

[0001] Es wird eine Vorrichtung für ein Laserabhebeverfahren angegeben. Darüber hinaus wird ein Laserabhebeverfahren angegeben.

[0002] Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, eine Vorrichtung für ein Laserabhebeverfahren anzugeben, mit der effizient und zuverlässig eine Schicht von einem Träger abtrennbar ist. Insbesondere besteht eine zu lösende Aufgabe darin, ein Laserabhebeverfahren anzugeben, bei dem eine Halbleiterschichtenfolge zuverlässig von einem Träger entfernbar ist.

[0003] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung ist diese für ein Laserabhebeverfahren geeignet, insbesondere zum Abtrennen einer auf einem Epitaxiesubstrat epitaktisch gewachsenen Halbleiterschicht oder Halbleiterschichtenfolge. Die Schicht oder die Halbleiterschicht basiert bevorzugt auf einem nitridhaltigen oder oxidhaltigen Material, insbesondere einem nitridhaltigen Halbleitermaterial. Zum Beispiel basiert die Halbleiterschichtenfolge auf GaN, InGaN und/oder AlGaIn.

[0004] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung umfasst diese einen Laser zur Erzeugung einer bevorzugt gepulsten Laserstrahlung. Eine Wellenlänge der Laserstrahlung ist zum Beispiel so kurzweilig, so dass eine Photonenenergie größer ist als eine Bandlücke eines Halbleitermaterials, das von dem Träger abzutrennen ist. Beispielsweise liegt eine Wellenlänge der Laserstrahlung im ultravioletten Spektralbereich, insbesondere bei Wellenlängen kleiner als 400 nm oder kleiner als 360 nm.

[0005] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung weist diese zumindest einen Strahlteiler auf, bevorzugt mindestens zwei Strahlteiler. Der mindestens eine Strahlteiler ist dazu eingerichtet, die von dem Laser erzeugte insbesondere gepulste Laserstrahlung in mindestens zwei Teilstrahlen aufzuteilen. Bei den Strahlteilern kann es sich ebenso um insbesondere dielektrische, teildurchlässige Strahlteiler beziehungsweise Spiegel handeln, wie auch um Prismen und/oder um polarisationsabhängig reflektierende Elemente. Das heißt, im Betrieb der Vorrichtung wird die Laserstrahlung durch den mindestens einen Strahlteiler in wenigstens zwei Teilstrahlen aufgeteilt.

[0006] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung werden die mindestens zwei Teilstrahlen in einer Bestrahlungsebene überlagert. Mit anderen Worten wird die Laserstrahlung in mehrere Teilstrahlen aufgeteilt und anschließend in der Bestrahlungsebene wieder zum Überlappen gebracht. Dass sich die Teilstrahlen in der Bestrahlungsebene überlagern, kann bedeuten, dass Querschnitte

der Teilstrahlen in der Bestrahlungsebene teilweise oder vollständig deckungsgleich sind. Deckungsgleich kann einschließen, dass einer der Querschnitte vollständig von einem anderen der Querschnitte umfasst oder überdeckt ist.

[0007] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung ist die Bestrahlungsebene dazu vorgesehen, dass darin eine der von dem Träger abzutrennenden Schicht abgewandte Hauptseite des Trägers angeordnet ist. Die Vorrichtung kann hierfür eine Halterung aufweisen, mit der der Träger mit der Schicht halterbar ist. Die Halterung ist bevorzugt in lateraler Richtung positionierbar und verfahrbar.

[0008] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung beträgt ein Winkel zwischen den mindestens zwei Teilstrahlen an der Bestrahlungsebene mindestens $1,0^\circ$. Bevorzugt beträgt der Winkel mindestens $5,0^\circ$. Mit anderen Worten schneiden Strahlachsen der Teilstrahlen die Bestrahlungsebene derart, dass ein Winkel zwischen den Strahlachsen der Teilstrahlen, insbesondere paarweise, mindestens $1,0^\circ$, bevorzugt mindestens $5,0^\circ$ beträgt.

[0009] In mindestens einer Ausführungsform der Vorrichtung ist diese für ein Laserabhebeverfahren zum Abtrennen zumindest einer Schicht von einem Träger vorgesehen. Die Vorrichtung beinhaltet einen Laser zur Erzeugung einer zum Beispiel gepulsten Laserstrahlung sowie wenigstens einen Strahlteiler. Mittels des wenigstens einen Strahlteilers wird die Laserstrahlung in mindestens zwei Teilstrahlen aufgeteilt. Die Teilstrahlen werden in einer Bestrahlungsebene überlagert, wobei die Bestrahlungsebene dazu vorgesehen ist, dass darin eine der Schicht abgewandte Hauptseite des Trägers angeordnet ist. An der Bestrahlungsebene beträgt ein Winkel zwischen den mindestens zwei Teilstrahlen mindestens $1,0^\circ$.

[0010] Wird bei einem Laserabhebeverfahren, englisch Laser-Lift-Off, eine kohärente, gerichtete Laserstrahlung verwendet, so kann beim Durchtritt durch eine insbesondere raue Eintrittsfläche etwa eines Trägers an einer zum Beispiel einige hundert Mikrometer darunter liegenden Grenzfläche ein Interferenzmuster entstehen. Dieses Interferenzmuster weist statistisch verteilte, ortsfeste Intensitätsmodulationen des durchtretenden Laserstrahls auf. Allerdings können durch die interferenzfähige Laserstrahlung bei Verwendung eines kostengünstigeren Trägers mit einer nicht polierten, rauen Eintrittsfläche beim Laser-Lift-Off Schäden an der epitaktisch gewachsenen Halbleiterschichtenfolge entstehen. Um eine gleichmäßige Abtrennung beispielsweise der Halbleiterschichtenfolge von dem Träger zu gewährleisten, hat es sich nun als vorteilhaft herausgestellt, derartige Intensitätsmodulationen zu vermeiden oder zu reduzieren.

[0011] Durch ein Aufteilen der Laserstrahlung in wenigstens zwei Teilstrahlen und dem anschließenden Überlagern der Teilstrahlen unter einem bestimmten Winkel, der größer ist als ein kritischer Winkel, lässt sich die Interferenzfähigkeit der Laserstrahlung reduzieren, wodurch Intensitätsmodulationen eines Interferenzmusters reduzierbar und Schäden an der Halbleiterschichtenfolge vermeidbar oder vermindert sind.

[0012] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung weisen mindestens zwei der Teilstrahlen und/oder weisen alle Teilstrahlen, mit einer Toleranz von höchstens 20%, insbesondere mit einer Toleranz von höchstens 10%, gleiche Intensitäten auf. Mit anderen Worten weisen beide und/oder alle Teilstrahlen pro Laserimpuls eine im Wesentlichen gleiche Energie auf. Mit zunehmender Anzahl der Teilstrahlen kann die Toleranz der Energien pro Impuls aber auch größer werden. Beispielsweise nimmt die Impulsenergetoleranz pro zusätzlichem Teilstrahl um 5 Prozentpunkte zu, wobei die Toleranz jedoch maximal 50% beträgt.

[0013] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung liegt eine Impulsdauer der Laserstrahlung bei höchstens 50 ns. Beispielsweise handelt es sich bei der Laserstrahlung um Nanosekundenimpulse mit Impulsdauern zwischen einschließlich 1 ns und 15 ns, insbesondere zwischen einschließlich 3 ns und 10 ns. Ebenso ist es möglich, dass Pikosekundenimpulse oder Femtosekundenimpulse Verwendung finden, insbesondere mit Impulsdauern zwischen einschließlich 2 fs und 1000 ps oder mit Impulsdauern zwischen einschließlich 60 fs und 20 ps.

[0014] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung entspricht ein optischer Weglängenunterschied zwischen den Teilstrahlen höchstens dem 0,05-fachen oder höchstens dem 0,15-fachen, insbesondere höchstens dem 0,025-fachen der mittleren Impulsdauer der Laserstrahlung. Mit anderen Worten sind die Lichtimpulse der Teilstrahlen dazu eingerichtet, im Wesentlichen zeitgleich auf den Träger aufzutreffen. Bevorzugt ist der Weglängenunterschied höchstens so groß, dass mindestens 80% oder mindestens 90% der Summe der Energien pro Impuls aller Teilstrahlen in einem Zeitfenster an die Bestrahlungsebene gelangen, das eine Länge von höchstens dem 1,22-fachen oder 1,15-fachen der mittleren Impulsdauer, bevorzugt von höchstens der mittleren Impulsdauer aufweist. Die Impulsdauer ist bevorzugt bezogen auf einen Abfall der Intensität auf $1/e$ einer maximalen Intensität des zeitlichen Verlaufs der Impulse.

[0015] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung entspricht ein optischer Weglängenunterschied zwischen den Teilstrahlen mindestens

dem 0,025-fachen und höchstens dem 0,3-fachen der mittleren Impulsdauer der Laserstrahlung. Mit anderen Worten gelangen die Lichtimpulse der Teilstrahlen zu leicht unterschiedlichen Zeiten an der Bestrahlungsebene an.

[0016] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung beträgt ein Weglängenunterschied zwischen den Teilstrahlen höchstens dem 0,22-fachen oder dem 0,15-fachen eines mittleren Strahldurchmessers der Teilstrahlen. Der Strahldurchmesser ist insbesondere bezogen auf einen Abfall der räumlichen, lateralen Intensitätsverteilung auf $1/e^2$ einer maximalen Intensität des Strahlprofils.

[0017] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung beträgt ein Winkel zwischen den Teilstrahlen, bevorzugt paarweise, jeweils zwischen einschließlich $7,5^\circ$ und 50° . Alternativ oder zusätzlich liegt ein Winkel zwischen den Teilstrahlen und einem Lot zu der Bestrahlungsebene jeweils zwischen einschließlich 0° und 80° , insbesondere zwischen einschließlich 0° und 30° .

[0018] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung wird die Laserstrahlung in N Teilstrahlen aufgeteilt und die Vorrichtung umfasst N – 1 Strahlteiler. N ist hierbei eine ganze Zahl, bevorzugt zwischen einschließlich 3 und 8. Für eine Reflektivität R des N-ten Strahlteilers gilt der Zusammenhang:

$$R(N) = 1/(N + 1)$$

[0019] Der Strahlteiler mit der höchsten Reflektivität befindet sich hierbei, bezogen auf einen Strahlengang der Laserstrahlung oder der Teilstrahlen, am nächsten an der Bestrahlungsebene, der Strahlteiler mit der zweithöchsten Reflektivität befindet sich am zweitnächsten an der Bestrahlungsebene und so weiter.

[0020] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung befindet sich in den Strahlwegen der Teilstrahlung zwischen dem jeweiligen, zugeordneten Strahlteiler und der Bestrahlungsebene keine zu einer Strahlungstransmission vorgesehene optische Komponente. Bevorzugt befindet sich in den Strahlengängen der Teilstrahlen also keine Linse oder Polarisationsoptik. Mit anderen Worten durchlaufen die Teilstrahlen ab dem zugeordneten Strahlteiler bis zur Bestrahlungsebene bevorzugt keine kondensierte Materie mehr.

[0021] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung weisen die Teilstrahlen in der Bestrahlungsebene, mit einer Toleranz von höchstens 15%, insbesondere mit einer Toleranz von höchstens 10%, jeweils gleiche Querschnittsflächen und/oder gleiche laterale Ausdehnungen auf. Mit anderen Worten sind die Querschnitte der Teilstrahlen in der

Bestrahlungsebene im Wesentlichen gleich groß und im Wesentlichen gleich geformt.

[0022] Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Vorrichtung beträgt eine Summe der Energiedichten aller Teilstrahlen in der Bestrahlungsebene zwischen einschließlich 200 mJ/cm² und 850 mJ/cm² pro Impuls der Laserstrahlung.

[0023] Darüber hinaus wird ein Laserabhebeverfahren zum Abtrennen einer epitaktisch gewachsenen Halbleiterschichtenfolge von einem Träger, insbesondere von einem Aufwuchssubstrat, angegeben. Das Abhebeverfahren kann mit einer Vorrichtung, wie in Verbindung mit mindestens einer der oben genannten Ausführungsformen beschrieben, durchgeführt werden. Merkmale des Laserabhebeverfahrens sind daher auch für die hier beschriebene Vorrichtung offenbart und umgekehrt.

[0024] In mindestens einer Ausführungsform des Laserabhebeverfahrens umfasst dieses die Schritte:

- Bereitstellen der epitaktisch auf dem Träger gewachsenen Halbleiterschichtenfolge,
- Aufteilen einer insbesondere gepulsten Laserstrahlung in mindestens zwei Teilstrahlen, und
- Überlagern der Teilstrahlen in einer Bestrahlungsebene, in der sich eine der Halbleiterschichtenfolge abgewandte Hauptseite des Trägers befindet.

[0025] Ein Winkel zwischen den mindestens zwei Teilstrahlen zueinander an der Bestrahlungsebene beträgt hierbei mindestens 1,0°.

[0026] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Laserabhebeverfahrens beträgt eine mittlere Rauheit der der Halbleiterschichtenfolge abgewandten Hauptfläche des Trägers zwischen einschließlich 0,1 µm und 5,0 µm, insbesondere zwischen einschließlich 0,25 µm und 2,5 µm. Beispielsweise bei einem epitaktischen Wachsen einer Halbleiterschichtenfolge ist ein Substrat mit einer polierten und einer rauen Oberfläche einsetzbar. Hierdurch sind kostengünstigere Substrate verwendbar.

[0027] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Laserabhebeverfahrens umfasst der Träger Saphir oder besteht hieraus. Alternativ kann der Träger aus einem anderen, für die Laserstrahlung klarsichtigen oder transparenten Material bestehen. Transparent kann heißen, dass der Träger eine Absorption von höchstens 20% oder von höchstens 1%, bevorzugt von höchstens 0,2% bei der Wellenlänge der Laserstrahlung und der Teilstrahlung aufweist.

[0028] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Laserabhebeverfahrens basiert die Halbleiterschichtenfolge auf Galliumnitrid, Indiumgalliumnitrid und/oder Aluminiumgalliumnitrid. Alternativ ist es

möglich, dass eine abzutrennende Schicht ein anderes, insbesondere oxidhaltiges oder nitridhaltiges Material wie Siliziumnitrid aufweist, das bei der Wellenlänge der Laserstrahlung eine hohe Absorption aufweist.

[0029] Darüber hinaus wird eine Nitrid-Halbleiterschichtenfolge, insbesondere auf Galliumnitrid basierend, angegeben. Die Halbleiterschichtenfolge ist zum Beispiel mit einer Vorrichtung oder mit einem Verfahren hergestellt, wie in Verbindung mit einer oder mehrerer der oben genannten Ausführungsformen angegeben. Merkmale für die Halbleiterschichtenfolge sind daher auch für das Verfahren sowie für die Vorrichtung offenbart und umgekehrt.

[0030] Neben einem Laserabhebeverfahren ist es auch möglich, dass eine hier beschriebenen Vorrichtung und eine Abwandlung eines hier beschriebenen Verfahrens zu einer auf einer mikroskopischen Skala homogenen Ausleuchtung einer Schicht durch eine raue Oberfläche hindurch eingesetzt wird, wobei die Schicht von der rauen Oberfläche beabstandet ist. Beispielsweise ist eine homogene Belichtung eines Fotolacks in einem lithographischen Verfahren oder eine homogene Ausleuchtung bei einem strahlungsinduzierten Härten eines Verbindungsmittels, wie einem UV-aushärtendem Kleber, durch raue Oberflächen hindurch realisierbar.

[0031] Nachfolgend wird ein hier beschriebenes Laserabhebeverfahren, eine hier beschriebene Halbleiterschichtenfolge sowie eine hier beschriebene Vorrichtung unter Bezugnahme auf die Zeichnung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Gleiche Bezugszeichen geben dabei gleiche Elemente in den einzelnen Figuren an. Es sind dabei jedoch keine maßstäblichen Bezüge dargestellt, vielmehr können einzelne Elemente zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

[0032] Es zeigen:

[0033] [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 4](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) schematische Ausführungsbeispiele von hier beschriebenen Vorrichtungen, an denen ein hier beschriebenes Laserabhebeverfahren durchführbar ist,

[0034] [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) schematische Ausführungsbeispiele von hier beschriebenen Halbleiterschichtenfolgen, und

[0035] [Fig. 6](#) schematische Draufsichten auf Hauptseiten eines Trägers bei einem hier beschriebenen Laserabhebeverfahren.

[0036] In [Fig. 1](#) ist ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung **100** dargestellt, mit der ein Laserabhebeverfahren durchgeführt wird. Ein in [Fig. 1](#) nicht gezeigter Laser emittiert eine gepulste Laserstrahlung

L. Mittels zwei Strahlteilern **4a**, **4b** wird die Laserstrahlung in drei Teilstrahlen P1, P2, P3 aufgeteilt, wobei der Teilstrahl P3 die um die Teilstrahlen P1, P2 verminderte Laserstrahlung L ist. Die Teilstrahlen P1, P2, P3 und die Laserstrahlung L weisen zum Beispiel näherungsweise gaußförmige Strahlprofile mit einem Durchmesser von $1/e^2$, bezogen auf einen Abfall der Intensität der Strahlung in lateraler Richtung hinsichtlich einer maximalen Intensität, zwischen einschließlich 2 mm und 8 mm, insbesondere um 4 mm, auf. Eine Wellenlänge beträgt beispielsweise zirka 343 nm oder zirka 355 nm.

[0037] Die Teilstrahlen P1, P2 werden über Spiegel **5** mit der nicht abgelenkten Teilstrahlung P3 in einer Bestrahlungsebene **10** überlagert. Ein Winkel α_1 , α_2 zwischen den Teilstrahlen P1, P3 und P2, P3 beträgt jeweils zirka 30° . Die Winkel α_1 , α_2 sind auch gleich einem Winkel zu einem Lot **11** der Bestrahlungsebene **10**. Das Lot **11** fällt mit einer Strahlachse der Teilstrahlung P3 und der Laserstrahlung L zusammen.

[0038] Die Bestrahlungsebene **10** ist dazu eingerichtet, dass mittels eines in **Fig. 1** nicht dargestellten Halters ein Träger **2** mit einer Schicht **2** oder mit einer Halbleiterschichtenfolge **2** mit einer der Schicht **2** abgewandten Hauptseite **30** des Trägers **3** in der Bestrahlungsebene **10** zu liegen kommt. Die Hauptseite **30** des Trägers **3** weist bevorzugt eine Rauheit zwischen einschließlich $0,5 \mu\text{m}$ und $1,5 \mu\text{m}$, beispielsweise mit einer Rauheit von ungefähr $1 \mu\text{m}$, auf.

[0039] Strahlwege der Teilstrahlen P1, P2, P3, jeweils gerechnet ab dem Strahlteiler **4a** bis zur Bestrahlungsebene **10**, unterscheiden sich voneinander in ihrer Länge. Beispielsweise ist der Strahlweg des Teilstrahls P2 um zirka 15 cm länger als der Strahlweg des Teilstrahls P3. Der Strahlweg des Teilstrahls P1 ist beispielsweise um zirka 30 cm länger als der Strahlweg des Teilstrahls P3. Beträgt eine Impulsdauer der Laserstrahlung L beispielsweise zirka 5 ns, so entspricht ein optischer Weglängenunterschied zwischen den Teilstrahlen P1, P3 zirka einem 0,2-fachen der Impulsdauer. Mit anderen Worten treffen die Impulse der Teilstrahlen P1, P2, P3 zu unterschiedlichen Zeiten auf den Träger **3** auf.

[0040] Anders als in **Fig. 1** dargestellt ist es möglich, dass insbesondere die Teilstrahlen P2 und P3 so geführt werden, dass die einzelnen Impulse der Teilstrahlen P1, P2, P3 im Wesentlichen zeitgleich die Bestrahlungsebene **10** erreichen. Jedoch ist durch ein Ankommen der Impulse der Teilstrahlen P1, P2, P3 zu moderat unterschiedlichen Zeiten an der Bestrahlungsebene **10** eine Interferenzfähigkeit der Laserstrahlung L beziehungsweise der Teilstrahlen P1, P2, P3 an der Bestrahlungsebene **10** reduzierbar.

[0041] In **Fig. 2** ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **100**, mit der das Laserabhebeverfah-

ren durchführbar ist, dreidimensional dargestellt. Die Laserstrahlung L wird in die vier Teilstrahlen P1, P2, P3, P4 aufgeteilt. Die Teilstrahlen P1, P2, P3 sind rotationssymmetrisch um die nicht abgelenkte Teilstrahlung P4 angeordnet. Die Winkel, unter denen die Teilstrahlen P2, P3, P4 auf die Hauptseite **30** des Trägers **3** treffen, sind zum Beispiel paarweise voneinander verschieden.

[0042] In einer Schnittdarstellung ist in **Fig. 3A** das Halbleiterbauteil dargestellt. Die Halbleiterschichtenfolge **2**, die bevorzugt epitaktisch auf dem Träger **3** gewachsen ist, ist nach dem epitaktischen Wachsen weiterhin an einem Substrat **9** angebracht. Verbindungsschichten zwischen dem Substrat **9** und der Halbleiterschichtenfolge **2** sind in den Figuren nicht gezeichnet. Der Träger **3** besteht zum Beispiel aus Saphir und weist eine Dicke bevorzugt zwischen einschließlich $250 \mu\text{m}$ und $1,5 \text{ mm}$ auf, insbesondere eine Dicke um zirka $650 \mu\text{m}$.

[0043] Eine Zersetzungszone **20** der Halbleiterschichtenfolge **2** an einer dem Substrat **9** zugewandten Hauptseite **35** des Trägers **3** absorbiert die Teilstrahlungen P. Eine Dicke der Halbleiterschichtenfolge **2** insgesamt beträgt zum Beispiel höchstens $12 \mu\text{m}$, insbesondere um zirka $6 \mu\text{m}$. Durch die Absorption der Teilstrahlungen P erfolgt eine thermische Zersetzung des Materials der Zersetzungszone **20**. Durch ein Abrastern der Halbleiterschichtenfolge **2** sowie des Trägers **3** in lateraler Richtung durch die Teilstrahlen P1, P2, P3, P4 ist die Halbleiterschichtenfolge **2** von dem Träger **3** abtrennbar. Eine Energiedichte aller Teilstrahlen P1, P2, P3, P4 pro Impuls beträgt insgesamt zum Beispiel zirka 400 mJ/cm^2 und liegt bevorzugt knapp unterhalb einer Zerstörschwelle eines Materials der Zersetzungszone **20**.

[0044] In den **Fig. 3B** und **Fig. 3C** ist eine Intensität I der Teilstrahlung P in lateraler Richtung schematisch aufgetragen. Gemäß **Fig. 3B** weist die Teilstrahlung P eine rechteckförmige Einhüllende **7** eines realen Strahlprofils **8** der Teilstrahlung P auf, gemäß **Fig. 3C** ist die Einhüllende **7** gaußförmig. Das reale Strahlprofil **8** weicht von der Einhüllenden **7** aufgrund von Interferenzeffekten ab. Diese Abweichungen können zu einem ungleichmäßigen Ablösen der Halbleiterschichtenfolge **2** von dem Träger **3** und damit zu einer Beschädigung der Halbleiterschichtenfolge **2** führen. Durch die Aufteilung der Laserstrahlung L in mindestens zwei der Teilstrahlen P sind die Intensitätsmodulationen des realen Strahlprofils **8** um die Einhüllende **7** reduzierbar, so dass ein effizientes und zuverlässiges Ablösen der Halbleiterschichtenfolge **2** von dem Träger **3** mittels der Vorrichtung und mittels des Verfahrens realisierbar ist. Zum Beispiel betragen die Abweichungen der Einhüllenden **7** von dem realen Strahlprofil **8** höchstens 20%, bevorzugt höchstens 10%.

[0045] Eine Größe der Intensitätsmodulation des realen Strahlprofils **8** gegenüber der Einhüllenden **7** kann beispielsweise über eine Rauheit der Halbleiterschichtenfolge **2** nach dem Abtrennen von dem Träger **3** nachweisbar sein. Wird die Zersetzungszone **20** beispielsweise über ein Ätzen von der Halbleiterschichtenfolge **2** nach dem Abtrennen von dem Träger **3** entfernt, so kann die Intensitätsmodulation des realen Strahlprofils **8** über eine nach dem Ätzen resultierende Struktur der Halbleiterschichtenfolge **2** an einer dem Substrat **9** abgewandten Seite nachweisbar sein.

[0046] Beim Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 4** durchlaufen die Teilstrahlungen P2, P3 jeweils eine optische Komponente **6**. Die optische Komponente **6** ist zum Beispiel eine Zylinderlinse, mit der ein Querschnitt der Teilstrahlen P2, P3 in der Bestrahlungsebene **10** an einen Querschnitt des Teilstrahls P1, der senkrecht auf die Bestrahlungsebene **10** trifft, anpassbar ist, vergleiche auch **Fig. 6B**. Bis auf die zur Strahlkorrektur eingerichtete optische Komponente **6** durchlaufen die Teilstrahlen P1, P2, P3 nach dem jeweils zugeordneten Strahlteiler **4a**, **4b** bis zur Bestrahlungsebene **10** bevorzugt jeweils keine weitere kondensierte Materie.

[0047] Gemäß **Fig. 5** weist die Halbleiterschichtenfolge **2** die Zersetzungszone **20** nicht direkt an der dem Substrat **9** zugewandten Hauptseite **35** des Trägers **3** auf. Mit anderen Worten ist es möglich, mit dem hier beschriebenen Verfahren ein teilweises Abheben der Halbleiterschichtenfolge **2** zu realisieren. Abweichend hiervon ist es alternativ oder zusätzlich ebenso möglich, dass der Träger **3** eine nicht gezeichnete Teilschicht oder einen Bereich aufweist, der eine erhöhte Absorption für die Teilstrahlung P aufweist, so dass dann nach dem Abtrennen auch ein Teil des Trägers **3** an der Halbleiterschichtenfolge **2** verbleiben kann.

[0048] Die Halbleiterschichtenfolge **2** basiert beispielsweise auf Galliumnitrid. Ebenso ist es möglich, dass die Zersetzungszone **20** ein anderes, ein Nitrid beinhaltendes Material aufweist. Beispielsweise kann die Zersetzungszone **20** aus Siliziumnitrid bestehen oder dieses aufweisen.

[0049] In den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** sind Draufsichten auf die Bestrahlungsebene **10** sowie die Hauptseite **30** dargestellt. Ferner sind die Strahlprofile **8a**, **8b**, **8c**, **8d** der Teilstrahlen P1, P2, P3, P4 dargestellt, die beispielsweise durch die Vorrichtung **100** gemäß **Fig. 2** in der Bestrahlungsebene **10** vorliegen. Dadurch, dass die Teilstrahlen P1, P2, P3 unter einem vergleichsweise großen Winkel zum Lot **11** der Bestrahlungsebene **10** auf diese auftreffen, weisen die Teilstrahlen P1, P2, P3 in der Bestrahlungsebene **10** unterschiedliche Querschnitte auf.

[0050] In **Fig. 6B** ist dargestellt, dass die Querschnitte in der Bestrahlungsebene **10** gleiche oder im Wesentlichen gleiche Querschnittsflächen und laterale Ausdehnungen aufweisen. Dies ist durch insbesondere reflektive Optiken, beispielsweise durch entsprechend geformte Spiegel **5** oder durch die optische Komponente **6** in den Strahlgängen der Teilstrahlen P1, P2, P3, realisierbar. Bevorzugt liegen innerhalb eines Kreises mit einem Radius des mittleren oder des kleinsten Strahldurchmessers der Teilstrahlen P1, P2, P3, bezogen auf einen Abfall der Intensität auf $1/e^2$, mindestens 80% oder mindestens 90% der gesamten Energie der Teilstrahlen P1, P2, P3.

[0051] In den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** sind weitere Ausführungsbeispiele der Vorrichtung **100** dargestellt. Gemäß **Fig. 7B** sind die drei Spiegel **5a** um eine horizontale Achse drehbar, so dass der Winkel, unter dem die Teilstrahlen P1, P2, P3 auf die Hauptseite **30** auftreffen, einstellbar ist. Ebenso kann der Träger **3** mit der Halbleiterschichtenfolge **2** optional in vertikaler Richtung verschoben werden. Über die beweglichen Spiegel **5b** sind Strahlwege der Teilstrahlen P2, P3 einstellbar, so dass eine zeitliche Verzögerung zwischen den Teilstrahlen P1, P2, P3 einstellbar ist.

[0052] Beim Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 8** sind die Strahlteiler **4a**, **4b** durch Prismen **12a**, **12b**, **12c** implementiert, die zum Beispiel aus Quarzglas gebildet sind. Die Prismen **12a**, **12b**, **12c** sind entweder aneinander gekittet oder, bevorzugt, durch dünne Luftspalte voneinander separiert. Die Strahlteiler **4a**, **4b** sind dann teilreflektierende Begrenzungsflächen der Prismen **12a**, **12b**. Der Strahlteiler **4a** weist eine Reflektivität von zirka 33% auf und der Strahlteiler **4b** von zirka 50%. Die Reflektivität ist beispielsweise durch Beschichtungen auf den entsprechenden Begrenzungsflächen der Prismen **12a**, **12b** durch einen Winkel der entsprechenden Begrenzungsflächen der Prismen **12a**, **12b**, **12c**, durch eine Polarisation der Strahlung und/oder durch eine Dicke eines Spalts zwischen benachbarten Prismen **12a**, **12b**, **12c** einstellbar.

[0053] An den Prismen **12a**, **12c** sind optional die optischen Komponenten **6**, die als Zylinderlinsen gestaltet sind, entweder angebracht oder bereits einstückig mit den Prismen **12a**, **12c** hergestellt. Über die Zylinderlinsen wird erreicht, dass die Teilstrahlen P1, P2, P3 in der Bestrahlungsebene **10** gleiche Strahlquerschnitte aufweisen, siehe auch **Fig. 6B**. Der Spiegel **5** kann durch eine totalreflektierende Begrenzungsfläche des Prismas **12c** oder durch eine hochreflektierende Beschichtung gebildet sein. Das Prisma **12a** weist bevorzugt eine Antireflexionsbeschichtung **13** an einer Strahlungseintrittsfläche auf. Bei der Verwendung von Femtosekundenimpulsen oder von Pikosekundenimpulsen können in **Fig. 8** nicht gezeichnete Vorrichtungen zu einer Korrektur eines zeitlichen Farbverlaufs in den Impulsen der Teilstrahlen

P1, P2, P3, englisch auch als Chirp bezeichnet, vorgesehen sein.

[0054] Die hier beschriebene Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmale oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (**100**) für ein Laserabhebeverfahren zum Abtrennen zumindest einer Schicht (**2**) von einem Träger (**3**) mit

– einem Laser zur Erzeugung einer Laserstrahlung (L) und

– wenigstens einem Strahlteiler (**4**),

wobei

– die Laserstrahlung (L) mittels des wenigstens einen Strahlteilers (**4**) in mindestens zwei Teilstrahlen (P) aufgeteilt ist,

– die mindestens zwei Teilstrahlen (P) in einer Bestrahlungsebene (**10**) überlagert werden,

– die Bestrahlungsebene (**10**) dazu vorgesehen ist, dass darin eine der Schicht (**2**) abgewandte Hauptseite (**30**) des Trägers (**3**) angeordnet ist, und

– ein Winkel (α) zwischen den mindestens zwei Teilstrahlen (P) zueinander an der Bestrahlungsebene (**10**) mindestens $1,0^\circ$ beträgt.

2. Vorrichtung (**100**) nach dem vorhergehenden Anspruch, bei der alle Teilstrahlen (P), mit einer Toleranz von höchstens 20%, eine gleiche Intensität aufweisen.

3. Vorrichtung (**100**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei der die Laserstrahlung eine gepulste Laserstrahlung (L) ist und eine Impulsdauer der Laserstrahlung (L) höchstens 50 ns beträgt,

und bei der ein optischer Weglängenunterschied zwischen den Teilstrahlen (P) mindestens dem 0,025-fachen und höchstens dem 0,25-fachen der Impulsdauer entspricht.

4. Vorrichtung (**100**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Winkel (α) zwischen den Teilstrahlen (P) jeweils zwischen einschließlich $7,5^\circ$ und 50° und ein Winkel zwischen den Teilstrahlen (P) und einem Lot (**11**) der Bestrahlungsebene (**10**) jeweils zwischen einschließlich 0° und 50° liegt.

5. Vorrichtung (**100**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei der die Laserstrahlung (L) durch $N - 1$ Strahlteiler (**4**) in N Teilstrahlen (P) aufgeteilt ist, wobei für eine Reflektivität $R(N)$ des N -ten Strahlteilers (**4**) gilt:

$$R(N) = 1/(N + 1),$$

wobei N eine ganze Zahl zwischen einschließlich 3 und 8 ist, und wobei die Strahlteiler (**4**) entlang eines Strahlenganges zu der Bestrahlungsebene (**10**) hin mit ansteigender Reflektivität angeordnet sind.

6. Vorrichtung (**100**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Teilstrahlen (P) zwischen dem jeweils zugeordneten Strahlteiler (**4**) und der Bestrahlungsebene (**10**) keine zu einer Strahlungstransmission vorgesehenen optischen Komponenten (**6**) durchlaufen.

7. Vorrichtung (**100**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Teilstrahlen (P) in der Bestrahlungsebene (**10**), mit einer Toleranz von höchstens 15%, jeweils gleiche Querschnittsflächen und gleiche laterale Ausdehnungen aufweisen.

8. Vorrichtung (**100**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine Energiedichte aller Teilstrahlen (P) zusammen in der Bestrahlungsebene (**10**) zwischen einschließlich 200 mJ/cm^2 und 850 mJ/cm^2 pro Impuls beträgt.

9. Laserabhebeverfahren zum Abtrennen einer epitaktisch gewachsenen Halbleiterschichtenfolge (**2**) von einem Träger (**3**) mit den Schritten:

– Bereitstellen der epitaktisch auf dem Träger (**3**) gewachsenen Halbleiterschicht (**2**) oder Halbleiterschichtenfolge (**2**),

– Aufteilen einer Laserstrahlung (L) in mindestens zwei Teilstrahlen (P), und

– Überlagern der Teilstrahlen (P) in einer Bestrahlungsebene (**10**), in der sich eine der Halbleiterschichtenfolge (**2**) abgewandte Hauptseite (**30**) des Trägers (**3**) befindet,

wobei ein Winkel (α) zwischen den mindestens zwei Teilstrahlen (P) zueinander an der Bestrahlungsebene (**10**) mindestens $1,0^\circ$ beträgt.

10. Laserabhebeverfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei eine mittlere Rauheit der der Halbleiterschichtenfolge (**2**) abgewandten Hauptseite (**30**) des Trägers (**3**) zwischen einschließlich $0,1 \mu\text{m}$ und $5,0 \mu\text{m}$ beträgt.

11. Laserabhebeverfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei der Träger (**3**) Saphir umfasst oder hieraus besteht, und bei dem die Halbleiterschichtenfolge (**2**) auf GaN, InGaN und/oder AlGaIn basiert.

12. Laserabhebeverfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei der Träger (**3**) eine Dicke (T) zwischen einschließlich $250 \mu\text{m}$ und $1,5 \text{ mm}$ auf-

weist, und bei dem eine Intensitätsmodulation der überlagerten Teilstrahlen (P) an einer der Halbleiterschichtenfolge (2) zugewandten Aufwachsseite (35) des Trägers (3) höchstens 20% beträgt, bezogen auf eine lokale Einhüllende (7) eines Strahlprofils (8) der überlagerten Teilstrahlen (P).

13. Laserabhebeverfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, das mit einer Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchgeführt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

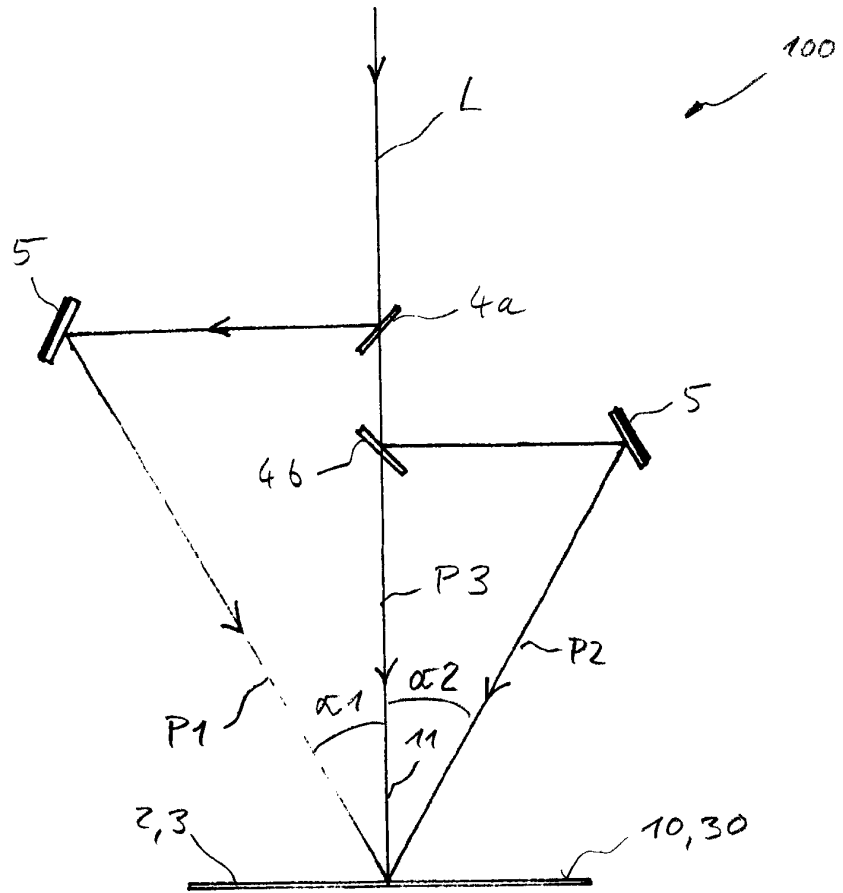


FIG 2

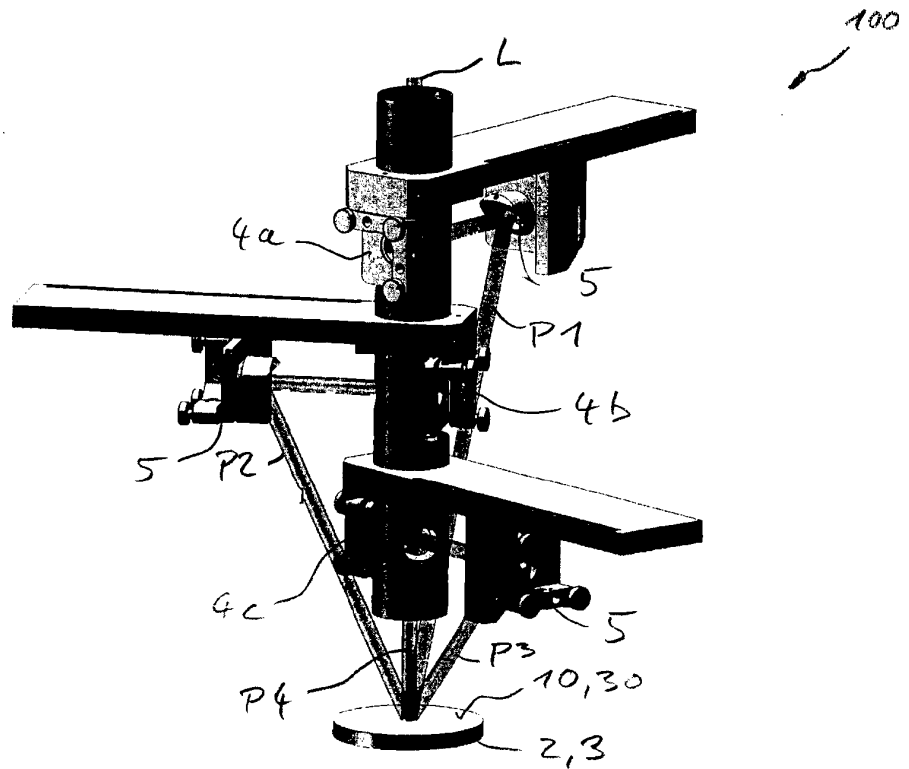


FIG 3

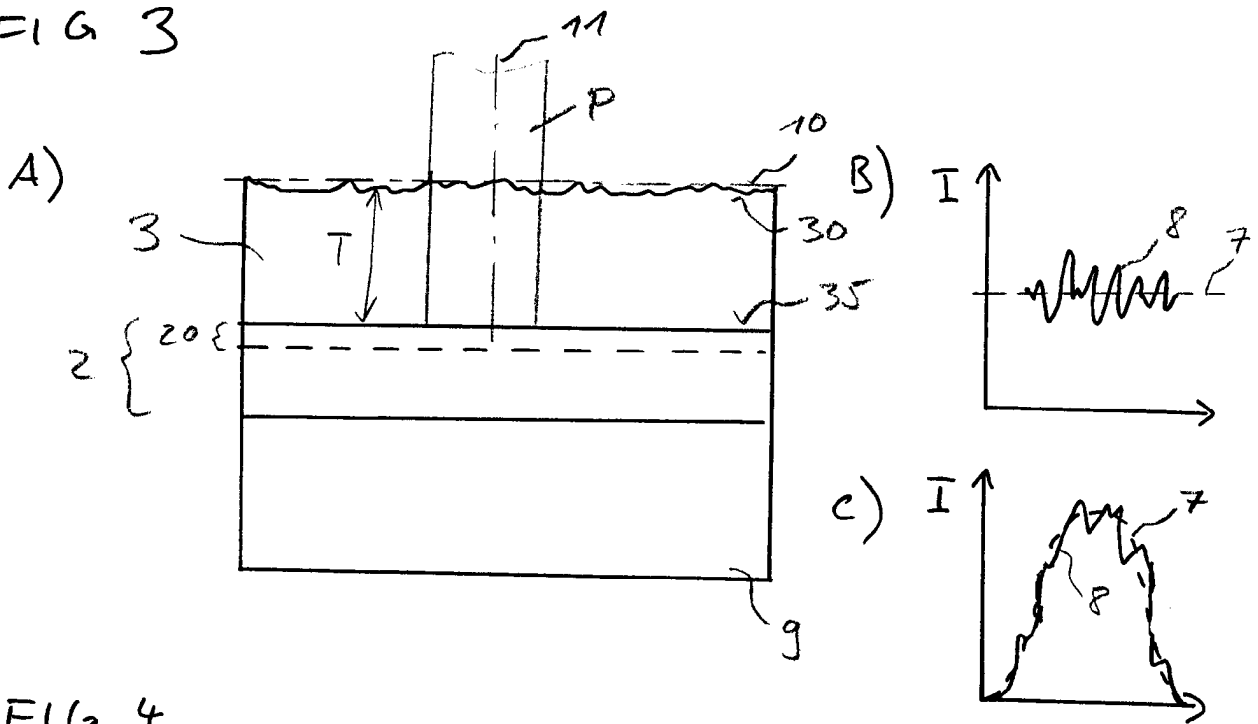


FIG 4

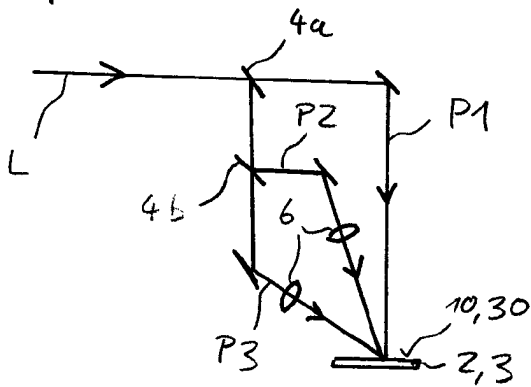


FIG 5

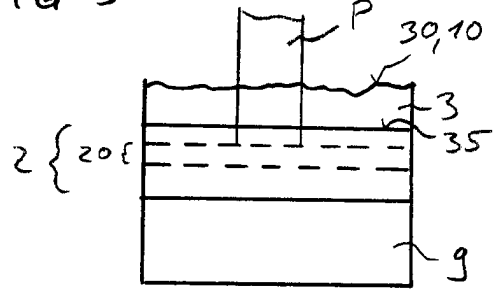


FIG 6

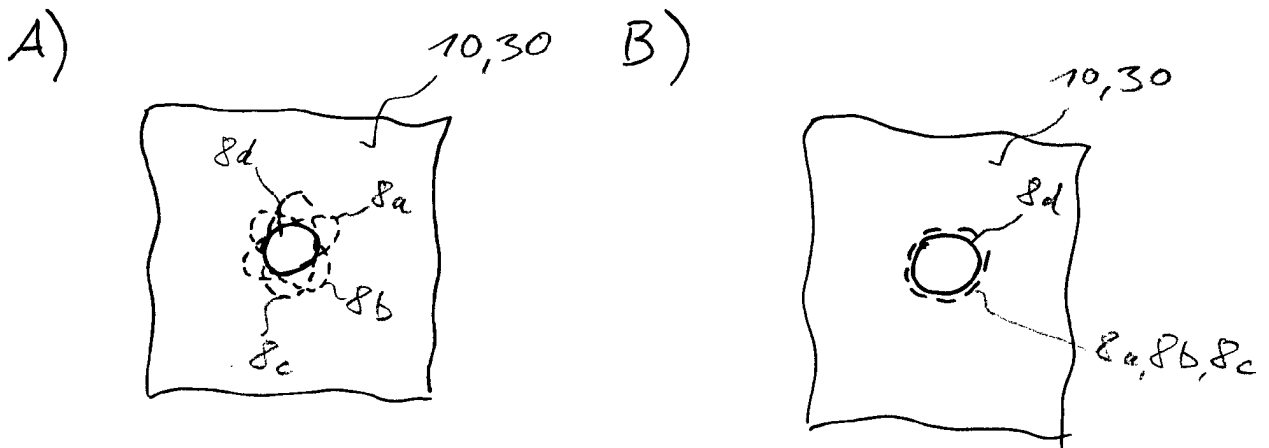


FIG 7

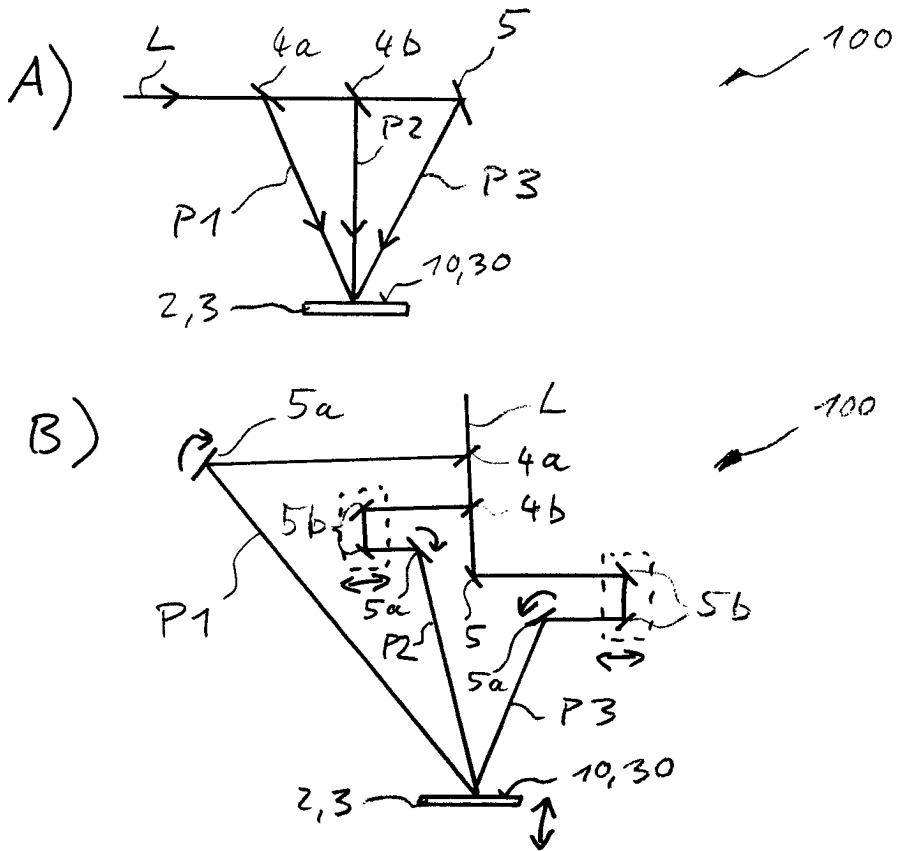


FIG 8

