



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 052 857 B4 2006.09.07**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 052 857.8**
 (22) Anmeldetag: **26.10.2004**
 (43) Offenlegungstag: **01.06.2006**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **07.09.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 6/136** (2006.01)
G02B 6/13 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Forschungsverbund Berlin e.V., 12489 Berlin, DE

(74) Vertreter:
Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179 Berlin

(72) Erfinder:
Erbert, Götz, Dr., 12557 Berlin, DE; Fricke, Jörg, Dr., 10319 Berlin, DE; Wenzel, Hans, Dr., 12355 Berlin, DE; John, Wilfried, Dr., 12619 Berlin, DE; Güther, Reiner, Dr., 12437 Berlin, DE

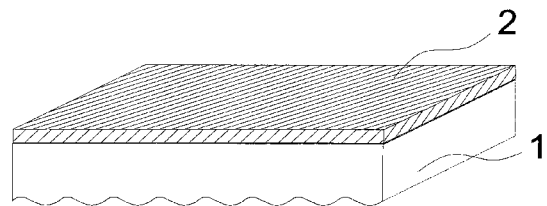
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
US 2004/1 15 568 A1
EP 10 01 311 A1
WO 2003/1 02 646 A2
WO 2001/0 13 480 A1
MILLER, L.M., et al.: Characterization of InGaAs-

GaAs-AlGaAs Strained-Layer Distributed-Feedback Reidge-Waverguide Quantum-Well Heterostructure Laser, IEEE Photonics Tech. Letters, Vol.4, No.4, S.269-299, April 1992;
RAJ, M.M., et al.: High Reflectivity Semiconductor/Benzocyclobutene Bragg Reflector Mirrors for GaInAsP/InP Lasers. Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, Part 1, No.4A, S.2269-2277, April 2001;
WIEDMANN, J., et al.: 1,5µm wavelength distributed reflector lasers with vertical grating, Electronics Letters, Vol.37, No.13, S.831-832, 21. Juni 2001;
BABA, T., et al.: A Novel Short-Cavity Laser with Deep-Grating Distributed Bragg Reflectors, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, Part 1, No.2B, S.1390-1394, Feb.1996;

(54) Bezeichnung: **Optisches Element und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Braggschen Gitters (5) und eines Rippenwellenleiters (6) auf einer planaren vertikalen Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) mit folgenden Verfahrensschritten:

- Ausbilden einer Fotolackschichtstruktur (3) auf einer im Wesentlichen ebenen Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10), wobei die Fotolackschichtstruktur (3) im Wesentlichen der Struktur des Braggschen Gitters (5) und des Rippenwellenleiters (6) entspricht und im Bereich des Braggschen Gitters (5) im Wesentlichen linienförmig mit einer Stegbreite ausgebildet ist, die mindestens 70 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien entspricht,
- Ätzen der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) mit darauf angeordneter Fotolackschichtstruktur (3) und
- Ablösen der Fotolackschichtstruktur (3) von der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches Element mit einer planaren vertikalen Wellenleiterstruktur, auf deren Oberfläche ein Braggsches Gitter und ein Rippenwellenleiter angeordnet sind sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Stand der Technik

[0002] Braggsche Gitter finden breite Anwendung in optoelektronischen Bauelementen wie Laser, Laserverstärker, Filter und Koppler. Braggsche Gitter sind gekennzeichnet durch eine periodische Variation der Brechzahl zwischen zwei Werten n_1 und n_2 entlang einer Raumrichtung, wodurch sich im Bragg-Gitter ausbreitende Lichtwellen wellenlängen-selektiv reflektiert oder gekoppelt werden.

[0003] Ein wichtiges Charakterisierungsmerkmal Braggscher Gitter ist die sogenannte Ordnung m des Gitters. Diese gibt an, wie viel halbe Wellenlängen eine Gitterperiode bilden. So entspricht bei einem Gitter 1. Ordnung eine Periode genau einer halben Wellenlänge, bei einem Gitter 2. Ordnung einer Wellenlänge usw. Daher ist die Größe der Gitterperiode proportional zur Gitterordnung. Die Reflektivität eines Braggschen Gitters nimmt mit der Ordnung des Gitters ab. Daher werden in Halbleiterlasern typischerweise Gitter mit maximal $m = 4$ verwendet [J. Wiedmann et al., Electron. Lett. 37, 831 (2001)].

[0004] Braggsche Gitter lassen sich auf unterschiedliche Arten herstellen. Eine Möglichkeit ist die Abscheidung einer hinreichenden Anzahl von Paaren zweier Materialien mit unterschiedlichen Brechzahlen. Die Abscheidung von Dielektra kann z.B. durch CVD (Chemical Vapour Deposition) erfolgen und wird beispielsweise zur Herstellung dielektrischer Spiegel verwendet. Verbindungshalbleiter können z.B. mit MBE (Molecular Beam Epitaxie) oder MOVPE (Metal-Organic Vapour Phase Epitaxie) abgeschieden werden, was zur Herstellung von sogenannten oberflächenemittierenden Lasern mit vertikalem Resonator (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) genutzt werden kann.

[0005] Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung eines Braggschen Gitters in einem planaren Wellenleiter besteht darin, in der Oberfläche einer Schichtenfolge von Materialien mit unterschiedlichen Brechzahlen mit unterschiedlichen Verfahren eine Korrugation zu definieren, die in einer Raumrichtung eine periodische Struktur aufweist. Zur Definition des Braggschen Gitters ist die Verwendung von holografischer Lithografie, Elektronenstrahl-Lithografie oder Phasenmasken-Lithografie bekannt. Die Strukturierung wird beispielsweise durch Ätzung mit Säuren oder reaktiven Ionen (RIE: Reactive Ion Etching) realisiert. Wird die so strukturierte Oberfläche mit einem Mate-

rial mit einer anderen Brechzahl bedeckt, so ändert sich die effektive Brechzahl von Lichtwellen, welche sich parallel zu den Grenzflächen der Schichtenfolge, aber senkrecht zu der periodischen Struktur ausbreiten, ebenfalls periodisch und man erhält wiederum ein Braggsches Gitter.

[0006] Die Übergangsbereiche zwischen den beiden Brechzahlen n_1 und n_2 bilden, senkrecht zur Oberfläche der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur gesehen, die sogenannten Gitterlinien, die oft gerade, aber auch zweckmäßig gekrümmt gestaltet sind. Im Querschnitt senkrecht zu den Gitterlinien ist die das Gitter definierende Grenzfläche zwischen zwei Medien mit unterschiedlicher Brechzahl in einem bestimmten Bereich der Gitterperiode höher gelegen, nämlich weiter entfernt von der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur. Diese Bereiche werden als Stege oder Gitterstege bezeichnet. Die Ausbreitung der Lichtwellen parallel zu den Schichten (vertikale Wellenführung) wird dadurch erzwungen, dass eine Schichtenfolge von Materialien mit unterschiedlichen Brechzahlen so abgeschieden wird, dass ein sogenannter Wellenleiter gebildet wird, bei dem die Brechzahl der zentralen Schichten (sogenannter Wellenleiterkern) größer ist als die dieser Schichten begrenzenden Schichten (sogenannter Wellenleitermantel). Dieses Wirkungsprinzip wird z.B. in kantenemittierenden Lasern mit verteilter Rückkopplung (DFB-Laser, DFB: Distributed Feedback) oder Braggschen Reflektoren (DBR-Laser, DBR: Distributed Bragg Reflektor) ausgenutzt. In einem kantenemittierenden Halbleiterlaser bildet die optisch aktive Halbleiterschicht allein oder in Kombination mit angrenzenden Halbleiterschichten den Wellenleiter. Aus DE 3936694 A1 ist es bekannt, die als Braggsches Gitter dienende Korrugation in einem Halbleiterlaser z.B. in den Wellenleiter zu integrieren. Dies erfordert jedoch eine sogenannte Mehrfachepitaxie, welche technologisch kompliziert zur beherrschen ist.

[0007] Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine Korrugation von der Oberfläche her in den Wellenleiter zu ätzen [R.M. Lammert et al., IEEE Photon. Techn. Lett. 9, 149, (1997)]. Dies vermeidet die Notwendigkeit der Mehrfachepitaxie.

[0008] Im Unterschied zur oben beschriebenen vertikalen Wellenführung wird eine Wellenführung in lateraler Richtung in optoelektronischen Bauelementen typischerweise durch einen sogenannten Rippenwellenleiter erzielt. Der Rippenwellenleiter muss ebenso wie das obengenannte Bragg-Gitter von einem Material mit einer Brechzahl umgeben werden, welche unterschiedlich von den Brechzahlen der Materialien ist, aus denen der Rippenwellenleiter aufgebaut ist. Dieses Material kann z.B. ein Dielektrikum (z.B. Luft), ein Metall oder ein Verbindungshalbleiter sein. Zur Herstellung eines Rippenwellenleiters können z.B. die Schichten, die den Wellenleitermantel bilden, ge-

ätzt werden. Dabei ist es bekannt, die Definition des Rippenwellenleiters mittels Kontakt- oder Projektionslithografie vorzunehmen. Die Strukturierung kann durch Ätzung mit Säuren oder reaktiven Ionen (RIE: Reactive Ion Etching) realisiert werden. Es ist weiterhin bekannt, auch einen Teil des Wellenleiterkerns oder die optisch aktive Schicht zu ätzen.

[0009] Nachteilig an den bekannten Verfahren nach dem Stand der Technik ist, dass zur Erzeugung eines Bragg'schen Gitters mit lateraler Wellenführung (Rippenwellenleiter) bei vorgegebenen Anforderungen (Reflektivität) eine Vielzahl von Prozessschritten benötigt wird, die mit einem erheblichen Kosten- und Zeitaufwand einher gehen. Die Anforderungen an das Bragg'sche Gitter (mit Rippenwellenleiter) werden durch seine Applikation bestimmt. So muss ein Bragg'sches Gitter (mit Rippenwellenleiter) als Teil eines Resonators für einen Halbleiterlaser insbesondere hohen Anforderungen an die Reflektivität genügen.

[0010] Aus WO 2003/102646 A2 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Bragg'schen Gitters und eines Rippenwellenleiters auf einer planaren vertikalen Wellenleiterstruktur bekannt, bei dem eine Fotolackschichtstruktur auf einer im Wesentlichen ebenen Wellenleiterstruktur ausgebildet wird, wobei die Fotolackschichtstruktur im Wesentlichen der Struktur des Bragg'schen Gitters und des Rippenwellenleiters entspricht und im Bereich des Bragg'schen Gitters im Wesentlichen linienförmig mit einer Stegbreite ausgebildet wird, weiterhin die Wellenleiterstruktur mit darauf angeordneter Fotolackschichtstruktur geätzt wird und die Fotolackschichtstruktur von der Wellenleiterstruktur abgelöst wird. Nachteilhafterweise weist die in WO 2003/102646 A2 vorgeschlagene Struktur eine zu geringe Reflektivität auf, um beispielsweise in einem Resonator eines Halbleiterlasers verwendet werden zu können.

Aufgabenstellung

[0011] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches Element (mit Bragg'schem Gitter mit Rippenwellenleiter) anzugeben, welches bei vorgegebenen optischen Anforderungen (beispielsweise einer ausreichenden Reflektivität) kostengünstiger und schneller als nach dem Stand der Technik herstellbar ist. Weiterhin soll ein Verfahren zur Herstellung eines Bragg'schen Gitters mit Rippenwellenleiter angegeben werden, welches gegenüber den bekannten Verfahren kostengünstiger ist. Weiterhin soll die Reproduzierbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber dem Stand der Technik erhöht sein.

[0012] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 (Verfahrensanspruch) und des Anspruchs 15 (Sachanspruch) ge-

löst.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein auf einer planaren vertikalen Wellenleiterstruktur angeordnetes Bragg'sches Gitter mit Rippenwellenleiter durch:

- Ausbilden einer Fotolackschichtstruktur auf einer im Wesentlichen ebenen planaren vertikalen Wellenleiterstruktur, wobei die Fotolackschichtstruktur im Wesentlichen der Struktur des Bragg'schen Gitters und des Rippenwellenleiters entspricht und im Bereich des Bragg'schen Gitters im Wesentlichen linienförmig mit einer Stegbreite ausgebildet wird, die mindestens 70 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien entspricht,
- Ätzen der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur mit darauf angeordneter Fotolackschichtstruktur und
- Ablösen der Fotolackschichtstruktur von der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur

hergestellt.

[0014] Hierdurch kann vorteilhafterweise eine gleichzeitige Strukturierung von Bragg'schem Gitter und Rippenwellenleiter auf der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur erreicht werden, wodurch die Anzahl der Prozessschritte verringert werden kann. So ist es in einer bevorzugten Ausführungsvariante vorgesehen, die Fotolackschichtstruktur durch Aufbringen einer kontinuierlichen Fotolackschicht auf der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur, Belichten der kontinuierlichen Fotolackschicht und Entwickeln des Fotolacks auszubilden. Die Strukturierung erfolgt danach vorzugsweise mittels trockenchemischem Ätzverfahren, wie reaktiver Ionenätzung oder mittels chemisch assistierter Ionenstrahlätzung (CAIBE: Chemical Assisted Ion Beam Etching). Durch diesen Strukturierungsschritt können vorteilhafterweise Bragg'sches Gitter und Rippenwellenleiter gleichzeitig ausgebildet werden.

[0015] Bisherige Design- und Technologie-Regeln für die Kombination aus Rippenwellenleiter und Bragg-Gitter gingen davon aus, dass zum Rippenwellenleiter ein Gitter niedriger Ordnung $m < 4$ mit einer sehr kleinen Gitterperiode von typischerweise 200 nm kombiniert werden muß, um eine ausreichend hohe Reflektivität durch das Bragg'sche Gitter zu gewährleisten. Da die räumliche Dimension des Rippenwellenleiters mehr als 1000 nm beträgt, wurde bisher davon ausgegangen, dass eine gleichzeitige Strukturierung von Bragg'schen Gitter und Rippenwellenleiter wegen der sehr hohen Anforderungen an die Ätzmaske bezüglich Auflösung und Ätzstabilität nicht möglich ist. Schließlich wäre zu erwarten, dass eine gleichzeitige Ausbildung von Gitter und Rippenwellenleiter zu einer zu großen Gitterperiode und damit zu einer zu geringen Reflektivität der Gitterstruktur, beispielsweise zur Verwendung des Gitters in einem Resonator eines Halbleiterlasers, führen würde.

[0016] Es wurde jedoch gefunden, dass eine ausreichende Reflektivität des Gitters bei gleichzeitiger Strukturierung von Gitter und Rippenwellenleiter dann erreicht werden kann, wenn das Tastverhältnis, nämlich das Verhältnis aus Stegbreite und Gitterperiode, größer oder gleich 0,7 gewählt wird und die Gitterstruktur eine ausreichende Ausdehnung von mindestens 0,001 mm senkrecht zu den Gitterlinien aufweist. Damit kann die Herstellung eines Rippenwellenleiters technologisch günstig zusammen mit einem Gitter großer Gitterperiode erfolgen, wobei der oben erwähnte Mangel der zu kleinen Gitter-Reflektivität beseitigt ist. In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung wird ein Tastverhältnis größer oder gleich 0,8 gewählt. In einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung wird ein Tastverhältnis größer oder gleich 0,9 gewählt, was vorteilhafterweise mit erhöhten Freiheiten beim Design von Gitter und Rippenwellenleiter einher geht.

[0017] Die Ausdehnung des Bragg'schen Gitters parallel zur Oberfläche der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur und senkrecht zu den Gitterlinien beträgt vorzugsweise mindestens 0,01 mm. Bei einem Rippenwellenleiterlaser (RW-Laser, RW: Ridge Waveguide) beträgt die notwendig Ätztiefe zur Erzielung einer hinreichenden lateralen Wellenführung typischerweise 1000–2000 nm. Hierdurch wird es möglich, Bragg'sche Gitter mit einer Ordnung $m > 4$, vorzugsweise Bragg'sche Gitter der 6. Ordnung und 7. Ordnung für Halbleiterlaser im sichtbaren Bereich oder im nahen Infrarotbereich zu verwenden.

[0018] Ein besonderer Vorteil der gleichzeitigen Strukturierung besteht neben der Einsparung von Prozessschritten darin, dass eine aufeinanderfolgende Prozessierung vermieden werden kann, die im Allgemeinen zu lithografisch komplexeren Problemen führt, da nach bisheriger Technologie beispielsweise die der Rippenwellenleiterherstellung nachfolgende Gitterherstellung nicht mehr auf vollkommen planaren Oberflächen erfolgt.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Belichten der Fotolackschicht mittels Projektionslithografie. Beim Einsatz eines i-line-Wafersteppers beträgt die kleinste reproduzierbar definierbare räumliche Struktur zirka 400 nm. Daher können mit einem i-line-Waferstepper für Lichtwellen im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich lediglich Bragg'sche Gitter höherer Ordnung ($m > 3$) hergestellt werden. Um eine ausreichende Reflektivität zu erhalten, muss die Ätztiefe typischerweise 1000–2000 nm und das Tastverhältnis größer gleich 0,9 betragen, damit eine hinreichend große Reflektivität des Bragg'schen Gitters erhalten wird.

[0020] Der lithografische Schritt zur Definition der kontinuierlichen Fotolackstruktur weist eine oder je

nach gewünschter Prozess-Variabilität mehrere Belichtungen auf. Dabei ist es möglich, den Rippenwellenleiter und das Bragg'sche Gitter in unterschiedlichen Belichtungsschritten zu definieren. So kann beispielsweise vorher eine Maske mit verschiedenen Rippenwellenleiterstrukturen und eine weitere Maske mit Bragg-Gittern verschiedener Längen und Gitterperioden mittels Elektronenstrahlithografie hergestellt werden. Die Trennung der Belichtung von Rippenwellenleiter- und Gitterstruktur erlaubt es später sehr einfach, die Gitterperiode und die durch die variable Gitterlänge erzielbare Reflektivität den jeweiligen Erfordernissen des gewünschten Bauelementes anzupassen. Außerdem lassen sich optimale Belichtungsparameter für beide Strukturen getrennt wählen, so dass beispielsweise das Tastverhältnis des Gitters variiert werden kann. Die Reihenfolge der Belichtung von Gitter und Rippenwellenleiter-Teil kann beliebig gewählt werden.

[0021] In einer weiteren Variante können auch unterschiedliche Lithografieverfahren in verschiedenen Belichtungen kombiniert werden.

[0022] In einer alternativen, bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Fotolackschichtstruktur unter Verwendung des Nano-Druckverfahrens strukturiert. Bei diesem Verfahren wird zuerst auf die zu strukturierende planare vertikale Wellenleiterstruktur ein Haftvermittlungs- bzw. Planarisierungsschicht aufgebracht. Auf diese Schicht wird in einem weiteren Schritt eine durch UV-Licht aushärtbare auf Acrylaten basierende Monomerschicht geringer Viskosität aufgebracht. Ein Stempel, in den vorher mit anderen eine hohe Auflösung ermöglichende Verfahren die inverse Struktur eingearbeitet wurde, wird in letztere Schicht gedrückt, wobei es durch gleichzeitige UV-Bestrahlung im Bereich des Stempels zu einer Aushärtung des Materials kommt und die im Stempel befindlichen Strukturen dauerhaft übertragen werden. Nach Entfernung des Stempels kann die erzeugte Struktur direkt als Ätzmaskierung für die Planarisierungsschicht und die entsprechende planare vertikale Wellenleiterstruktur verwendet werden. Kennzeichnend ist, dass auch hier die Strukturierung von Bragg'schem Gitter und Rippenwellenleiter gleichzeitig erfolgt.

[0023] Vorzugsweise wird das Bragg'sche Gitter neben dem Rippenwellenleiter angeordnet oder in den Rippenwellenleiter integriert. Die Form der Linien des Bragg'schen Gitters ist vorzugsweise gerade. Es ist jedoch auch möglich, dass diese Gitterlinien Krümmungen aufweisen. Die Bragg'schen Gitter können senkrecht oder schräg in bezug auf die Achse des Rippenwellenleiters angeordnet werden. Die Gitterperiode ist vorzugsweise konstant. Alternativ ist es jedoch möglich, mit einigen der bekannten lithographischen Verfahren, bzw. dem Nanodruckverfahren ein Bragg'sches Gitter mit veränderlicher Gitterperiode

herzustellen.

[0024] Das erfindungsgemäße optische Element kann insbesondere vorteilhaft zur Herstellung von Lasern mit Bragg'schen Gittern wie DFB- und DBR-Lasern verwendet werden. Das erfindungsgemäße optische Element kann weiterhin vorteilhaft für passive Wellenleiter verwendet werden.

[0025] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0026] Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0027] Es zeigen:

[0028] Fig. 1 eine schematische Darstellung der einzelnen Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0029] Fig. 2: ein erfindungsgemäßes optisches Element als Teil eines Resonators eines Halbleiterlasers in schematischer, perspektivischer Darstellung,

[0030] Fig. 3 ein erfindungsgemäßes optisches Element mit einem in den Rippenwellenleiter integrierten Bragg'schen Gitter in schematischer, perspektivischer Darstellung und

[0031] Fig. 4 ein erfindungsgemäßes optisches Element mit einem in Bezug auf die Längsachse des Rippenwellenleiters schräg angeordneten Bragg'schen Gitter in Draufsicht.

Ausführungsbeispiel

[0032] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung der einzelnen Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens. Es wird zunächst von einer im Wesentlichen ebenen planaren vertikalen Wellenleiterstruktur 1 ausgegangen. Diese planare vertikale Wellenleiterstruktur 1 kann zum Beispiel aus n-leitendem GaAs bestehen, auf das epitaktisch eine AlGaAs-Wellenleiterstruktur aufgewachsen wird. Auf die planare vertikale Wellenleiterstruktur 1 wird eine Fotolackschicht 2 mit einer Schichtdicke von 650nm aufgebracht (Fig. 1 a). Die Dicke der Fotolackschicht 2 hängt von deren Ätzbeständigkeit ab. Grundsätzlich sollte sie wegen der geringen Fokustiefe der Projektionsbelichtung und um ein zu hohes Aspektverhältnis der Lackstege zu vermeiden möglichst dünn gewählt werden.

[0033] In einem nachfolgenden Schritt wird der Fotolack 2 in einem Waferstepper, der Belichtungswellenlängen von 365nm (i-Linie) oder kleiner unterstützt, im Bereich des auszubildenden Rippenwellenleiters 6 und des auszubildenden Bragg'schen Gitters

5 belichtet.

[0034] Die nachfolgend entwickelte Fotolackstruktur 3 entspricht der Struktur des auszubildenden Rippenwellenleiter sowie des auszubildenden Gitters (Fig. 1 b). Nachfolgend werden das Bragg-Gitter 5 und Rippenwellenleiter 6 in ein und demselben Ätzschritt strukturiert. (Fig. 1 c). Danach wird die Fotolackstruktur 3 entfernt (Fig. 1 d), so dass Bragg-Gitter 5 und Rippenwellenleiter 6 frei liegen.

[0035] Fig. 2 zeigt die Verwendung eines erfindungsgemäßen optischen Elements in einem Resonator eines DBR-Lasers. Bei der verwendeten Struktur (n-GaAs-Substrat 11, n-Wellenleitermantelschicht 10 [2400nm n-Al_{0,53}Ga_{0,47}As], n-Wellenleiterkernschicht 9 [250nm n-Al_{0,5}Ga_{0,5}As], aktive Zone 8 [8nm InGaAs], p-Wellenleiterkernschicht 7 [p-Al_{0,5}Ga_{0,5}As, mit 100nm GaAs-Kontaktschicht], Bragg-Gitter 5 und Rippenwellenleiter 6) handelt es sich um eine typische Halbleiter-Laser-Struktur, die als Kantenemitter ausgeführt ist.

[0036] Zur Herstellung der in Fig. 2 dargestellten Struktur werden auf einen GaAs-Wafer 11 mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (engl. MOVPE) nacheinander die n-seitige Wellenleitermantelschicht 10, die n-seitige Wellenleiterkernschicht 9, die aktive Zone als Quantum well 8, die p-Wellenleiterkernschicht 7, die (unstrukturierte) p-seitige Wellenleitermantelschicht, welche mit einer (unstrukturierten) hochdotierten p-GaAs-Kontaktschicht abschließt, aufgewachsen. Damit ist die planare vertikale Wellenleiterstruktur hergestellt.

[0037] Zur Strukturierung der (unstrukturierten) p-seitigen Wellenleitermantelschicht wird auf die p-GaAs-Kontaktschicht zunächst eine 650 nm Fotolackschicht (entsprechend Fig. 1 a) aufgebracht, auf welche die Strukturen des auszubildenden Bragg-Gitters 5 und des auszubildenden Rippenwellenleiters 6 mittels Projektionslithographie belichtet werden. Der Fotolack wird danach entwickelt. Die Wellenleitermantelschicht wird dann mittels reaktiven Ionenätzens strukturiert, wobei die Bereiche der Fotolackstruktur die darunter liegende Wellenleitermantelschicht derart schützen, dass dort Bragg-Gitter 5 und Rippenwellenleiter 6 ausgebildet werden (indem lediglich die umgebenden Bereiche abgetragen werden).

[0038] Hierdurch kann mit der Erzeugung des Rippenwellenleiters 6 gleichzeitig das Bragg'sche Gitter 5 erzeugt werden. Typischerweise geht die Ätztiefe bis dicht an die Wellenleiterkernschicht 7 oder die Wellenleiterkernschicht 7 wird zu einem Teil mitstrukturiert; jedoch wird die aktive Zone 8 des Lasers nicht geätzt. Günstig ist es, einen Parametersatz für die trockenchemische Strukturierung zu wählen, der nahezu senkrechte Ätzflanken erzeugt, wobei jedoch

eine leichte Neigung günstig sein kann, um ein Tastverhältnis am Fuß der Gitterfurchen von mindestens 0.7 zu erzeugen, das über einen lithographischen Schritt kaum realisierbar ist. Berechnungen zeigen, dass bei einem Tastverhältnis zwischen 0.9 und 1 der Koppelkoeffizient maximiert und die Abstrahlungsverluste minimiert werden.

[0039] Die auf diese Weise hergestellte Struktur (**Fig. 2**) kann anschließend mit gängigen Verfahren der Halbleitertechnologie, wie dem Aufbringen eines Isolators, dem Aufbringen des p- und n-Kontaktes zu einem kompletten DBR-Laser prozessiert werden. Die Ätztiefe für Gitter **5** und Rippenwellenleiter **6** wird so gewählt, dass der effektive Brechungsindexsprung für den Fall eines reinen Rippenwellenleiter-Lasers optimal für einen Monomodebetrieb ist. Dabei kann ein Teil der Wellenleiterkernschicht geätzt werden oder auch ein Teil der Wellenleitermantelschicht ungeätzt bleiben.

[0040] Die Auswahl des Ätzverfahrens erfolgt so, dass zum einen die notwendige Ätztiefe erreicht wird und zum anderen aber auch gewährleistet ist, dass der Anteil des geätzten Bereichs am Fuß der Gitterfurchen pro Gitterperiode $< 30\%$, im Ausführungsbeispiel $< 10\%$ ist. Geeignet hierfür sind insbesondere trockenchemische Ätzverfahren wie die reaktive Ionenstrahlätzung (RIE) oder die chemisch assistierte Ionenstrahlätzung (CAIBE: chemical assisted ion beam etching). Dabei wird ein Parametersatz (Gaschemie, Druck, Leistung) für die Strukturierung gewählt, mit dem nahezu senkrechte Ätzflanken mit geringer seitlicher Ätzung oder ein V-förmiges Profil mit leicht geneigten Ätzflanken realisierbar sind. Aber auch nasschemische Ätzverfahren z.B. mit Säuren, die ein gutes anisotropes Ätzverhalten bezüglich der Kristallebenen aufweisen, oder eine Kombination aus naß- und trockenchemischen Verfahren ist denkbar.

[0041] **Fig. 3** zeigt ein erfindungsgemäßes optisches Element mit einem in den Rippenwellenleiter **6** integriertes Braggsches Gitter **5** in schematischer, perspektivischer Darstellung. Das Braggsche Gitter **5** ist im Ausführungsbeispiel an den seitlichen Flanken des Rippenwellenleiters **6** ausgebildet. Das Braggsche Gitter **5** kann sich grundsätzlich entlang des ganzen Rippenwellenleiters **6** erstrecken oder auch auf einen Teil beschränkt sein. Alternativ ist es möglich, dass das Braggsche Gitter **5** neben dem Rippenwellenleiter **6** angeordnet ist.

[0042] **Fig. 4** zeigt ein erfindungsgemäßes optisches Element mit einem in Bezug auf die Längsachse des Rippenwellenleiters **6** schräg angeordneten Braggschen Gitter **5** in Draufsicht. Dabei ist das Braggsche Gitter **5** seitlich des Rippenwellenleiters **6** angeordnet. Die Gitterlinien können in einem beliebigen Winkel zur Ausbreitungsrichtung der einfallenden Welle angeordnet sein. Insbesondere können sie

unter Winkeln α mit $\alpha \neq 90^\circ$ bezogen auf die Resonatorachse verlaufen, was über Mehrfach-Bragg-Reflexionen für laterale und longitudinale Modenfilterung ausgenutzt werden kann.

Bezugszeichenliste

1	planare vertikale Wellenleiterstruktur
2	kontinuierliche Fotolackschicht
3	Fotolackschichtstruktur
5	Braggsches Gitter
6	Rippenwellenleiter
7	p-Wellenleiterkernschicht
8	aktive Zone
9	n-Wellenleiterkernschicht
10	n-Wellenleitermantelschicht
11	GaAs-Wafer
α	Winkel

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Braggschen Gitters (**5**) und eines Rippenwellenleiters (**6**) auf einer planaren vertikalen Wellenleiterstruktur (**1**, **7**, **9**, **10**) mit folgenden Verfahrensschritten:

- Ausbilden einer Fotolackschichtstruktur (**3**) auf einer im Wesentlichen ebenen Wellenleiterstruktur (**1**, **7**, **9**, **10**), wobei die Fotolackschichtstruktur (**3**) im Wesentlichen der Struktur des Braggschen Gitters (**5**) und des Rippenwellenleiters (**6**) entspricht und im Bereich des Braggschen Gitters (**5**) im Wesentlichen linienförmig mit einer Stegbreite ausgebildet ist, die mindestens 70 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien entspricht,
- Ätzen der Wellenleiterstruktur (**1**, **7**, **9**, **10**) mit darauf angeordneter Fotolackschichtstruktur (**3**) und
- Ablösen der Fotolackschichtstruktur (**3**) von der Wellenleiterstruktur (**1**, **7**, **9**, **10**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fotolackschichtstruktur (**3**) im Bereich des Braggschen Gitters (**5**) im Wesentlichen linienförmig mit einer Stegbreite ausgebildet wird, die mindestens 80 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien entspricht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fotolackschichtstruktur (**3**) im Bereich des Braggschen Gitters (**5**) im Wesentlichen linienförmig mit einer Stegbreite ausgebildet wird, die mindestens 90 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien entspricht.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Ausbilden der Fotolackschichtstruktur (**3**) eine Kontaktschicht auf die Wellenleiterstruktur (**1**, **7**, **9**, **10**) aufgebracht wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekenn-

zeichnet, dass als Kontaktschicht eine hochdotierte p-GaAs-Kontaktschicht verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fotolackschichtstruktur (3) durch Aufbringen einer kontinuierlichen Fotolackschicht (2) auf die planare vertikale Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10), Belichten der kontinuierlichen Fotolackschicht (2) mittels mindestens eines Belichtungsschrittes, Entwickeln des Fotolacks und Ablösen löslichen Fotolacks strukturiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Belichten der Fotolackschicht (2) mittels Projektionslithografie erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Belichten der Fotolackschicht (2) durch genau einen Belichtungsschritt erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur des Braggischen Gitters (5) als auch die Struktur des Rippenwellenleiters (6) separat belichtet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ätzmaske (3) unter Verwendung des Nano-Druckverfahrens strukturiert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fotolackschichtstruktur (3) im Bereich des Braggischen Gitters (5) mit einer sich parallel zur Oberfläche der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur und senkrecht zur Längsachse der Linien erstreckenden Ausdehnung von mindestens 0,01 mm ausgebildet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die planare vertikale Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) mit darauf angeordneter Fotolackschichtstruktur (3) mittels trockenchemischem Ätzverfahren, mittels reaktiver Ionenätzung oder mittels chemisch assistierter Ionenstrahlätzung geätzt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Braggische Gitter (5) neben dem Rippenwellenleiter (6) angeordnet wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Braggische Gitter (5) in den Rippenwellenleiter (6) integriert wird.

15. Optisches Element mit einer planaren vertikalen Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10), wobei auf der Oberfläche der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) ein

Braggsches Gitter (5) und ein Rippenwellenleiter (6) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege des Braggischen Gitters (5) eine Breite von mindestens 70 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien aufweisen, wobei die Ausdehnung des Braggischen Gitters (5) parallel zur Oberfläche der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) und senkrecht zur Längsachse der Linien mindestens 0,001 mm beträgt und die Höhe des Braggischen Gitters (5) über der Oberfläche der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) im Wesentlichen der Höhe des Rippenwellenleiters (6) über der Oberfläche der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) entspricht.

16. Optisches Element nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege des Braggischen Gitters (5) eine Breite von mindestens 80 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien aufweisen.

17. Optisches Element nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege des Braggischen Gitters (5) eine Breite von mindestens 90 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien aufweisen.

18. Optisches Element nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis aus Ätztiefe und Stegbreite des Braggischen Gitters (5) zwischen 1 und 5 beträgt.

19. Optisches Element nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausdehnung des Braggischen Gitters (5) parallel zur Oberfläche der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) und senkrecht zur Längsachse der Linien mindestens 0,01 mm beträgt.

20. Optisches Element nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Braggische Gitter (5) neben dem Rippenwellenleiter (6) angeordnet ist.

21. Optisches Element nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Braggische Gitter (5) in den Rippenwellenleiter (6) integriert ist.

22. Optisches Element nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe des sowohl Braggischen Gitters (5) als auch des Rippenwellenleiters (6) über der Oberfläche der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) zwischen 1000 nm–2000 nm beträgt.

23. Optisches Element nach einem der Ansprüche 15 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der p-Wellenleiterkernschicht (7) der Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) und Braggischem Gitter (5) sowie zwischen der p-Wellenleiterkernschicht (7) der

Wellenleiterstruktur (1, 7, 9, 10) und Rippenwellenleiter (6) eine Kontaktschicht angeordnet ist.

24. Optisches Element nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktschicht eine hochdotierte p-GaAs-Kontaktschicht ist.

25. Resonator für einen Halbleiterlaser mit einem einer planaren vertikalen Wellenleiterstruktur bestehend aus einer n-Wellenleitermantelschicht (10), einer n-Wellenleiterkernschicht (9) und einer p-Wellenleiterkernschicht (7), wobei zwischen n-Wellenleiterkernschicht (9) und p-Wellenleiterkernschicht (7) eine kontinuierliche, aktive Schicht (8) angeordnet ist, und wobei auf der Oberfläche der Wellenleiterstruktur (7, 9, 10) ein Braggsches Gitter (5) und ein Rippenwellenleiter (6) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege des Braggschen Gitters (5) eine Breite von mindestens 70 % der Gitterperiode zweier benachbarter Linien aufweisen, wobei die Ausdehnung des Braggschen Gitters (5) parallel zur Oberfläche der planaren vertikalen Wellenleiterstruktur (7, 9, 10) und senkrecht zur Längsachse der Linien mindestens 0,001 mm beträgt und die Höhe des Braggschen Gitters (5) über der Oberfläche der Wellenleiterstruktur (7, 9, 10) im Wesentlichen der Höhe des Rippenwellenleiters (6) über der Oberfläche der Wellenleiterstruktur (7, 9, 10) entspricht.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

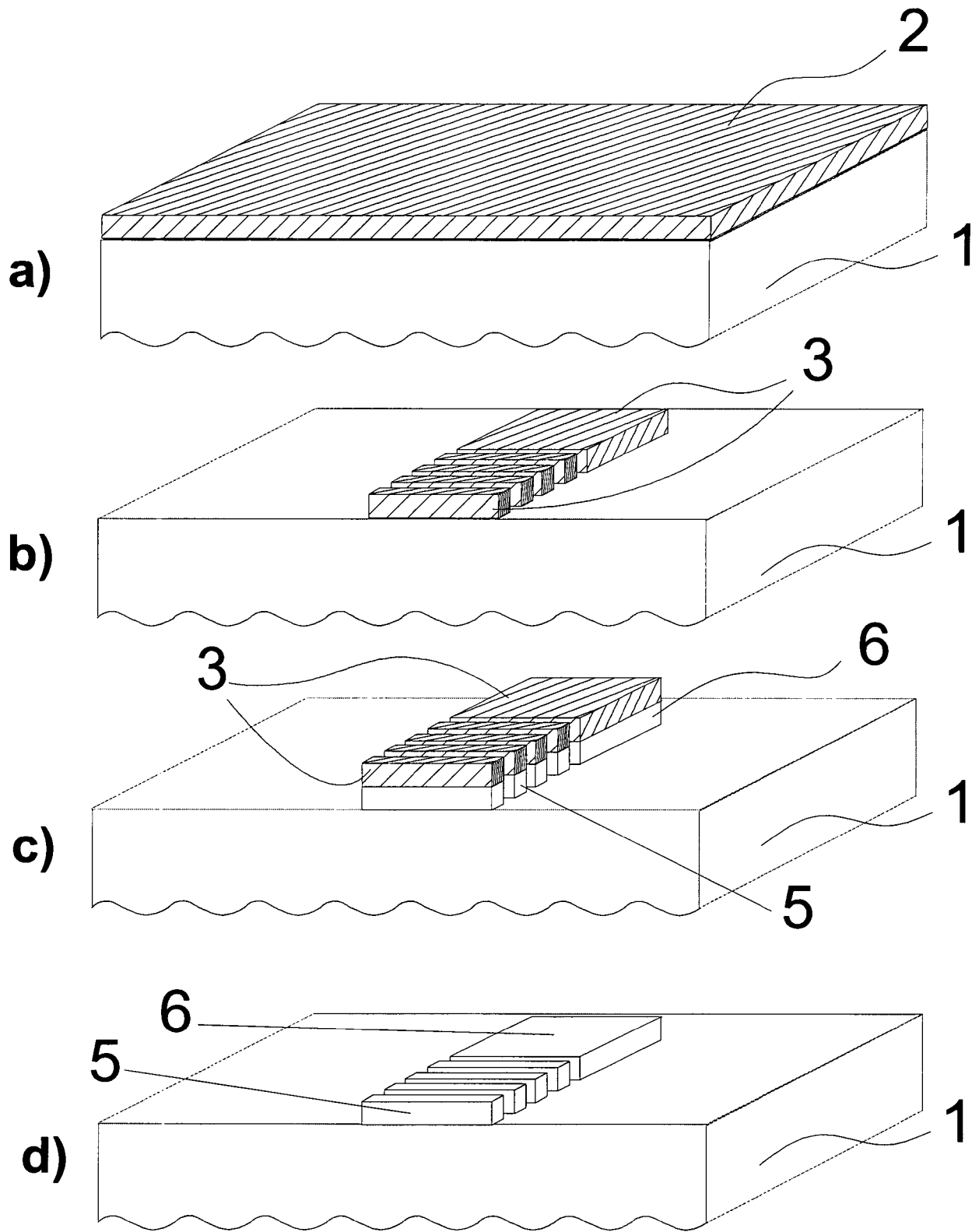


Fig. 1

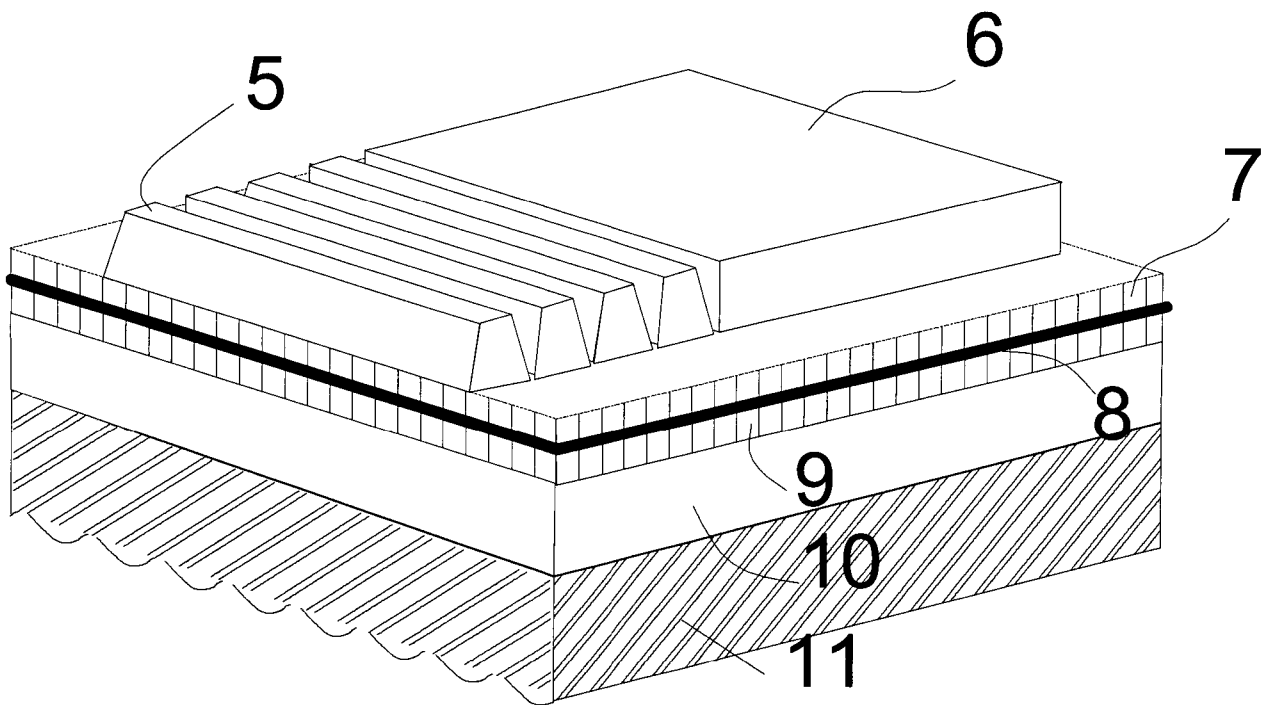


Fig. 2

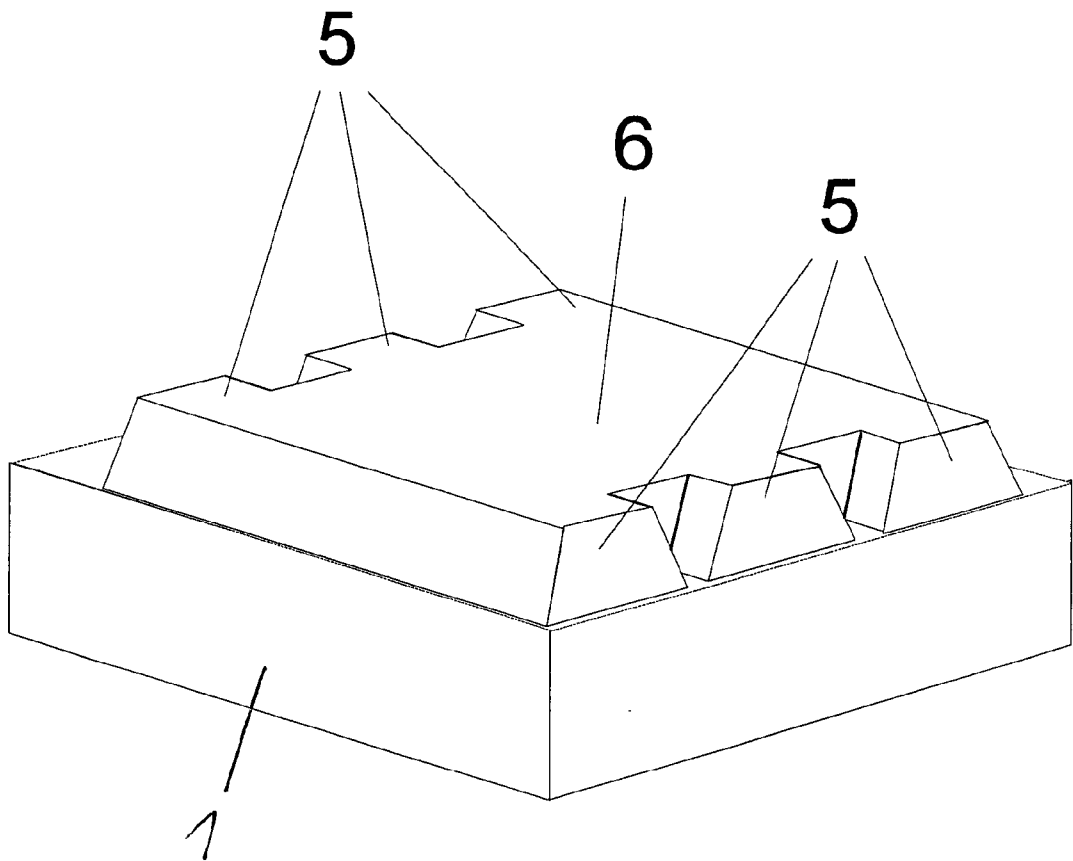


Fig. 3

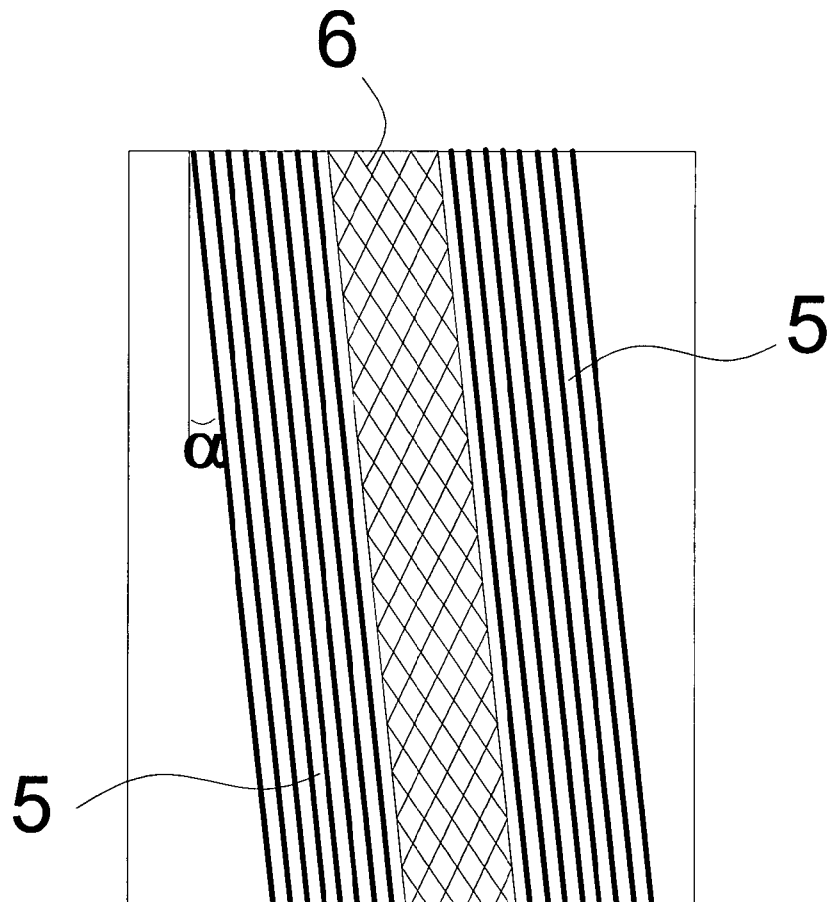


Fig. 4