

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
8. November 2012 (08.11.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/150132 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 5/22 (2006.01)

München (DE). **LELL, Alfred** [DE/DE]; Virchowstr. 19,
93142 Maxhütte - Haidhof (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/057073

(74) **Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER
PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH;**
Ridlerstr. 55, 80339 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. April 2012 (18.04.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 100 175.5 2. Mai 2011 (02.05.2011) DE

(71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS
GMBH** [DE/DE]; Leibnizstrasse 4, 93055 Regensburg
(DE).

(72) **Erfinder; und**

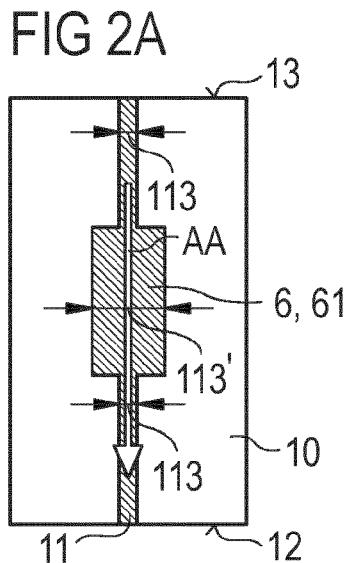
(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **EICHLER, Christoph**
[DE/DE]; Richard-Wagner-Str. 2, 93105 Tegernheim
(DE). **DINI, Dimitri** [IT/DE]; Altmanstr. 1, 80686

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** LASER LIGHT SOURCE

(54) **Bezeichnung:** LASERLICHTQUELLE



(57) **Abstract:** The invention relates to a laser light source having a ridge waveguide structure, comprising a semi-conductor layer sequence (10) having a plurality of functional layers (4) and an active region (45) that is suitable for generating laser light during operation, wherein at least one of the functional layers (4) is designed as a ridge (11) of the ridge waveguide structure, and wherein the semiconductor layer sequence (10) has a mode filter structure (6) that is formed as part of the ridge (11) and/or along a main extension plane of the functional layers (4) next to the ridge (11) and/or perpendicular to the main extension plane of the functional layers (4) below the ridge (11).

(57) **Zusammenfassung:** Es wird eine Laserlichtquelle mit einer Stegwellenleiterstruktur angegeben, die eine Halbleiterschichtenfolge (10) mit einer Mehrzahl von funktionalen Schichten (4) und einem aktiven Bereich (45) aufweist, der geeignet ist, im Betrieb Laserlicht zu erzeugen, wobei zumindest eine der funktionalen Schichten (4) als Steg (11) der Stegwellenleiterstruktur ausgebildet ist und wobei die Halbleiterschichtenfolge (10) eine Modenfilterstruktur (6) aufweist, die als Teil des Stegs (11) und/oder entlang einer Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten (4) neben dem Steg (11) und/oder senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten (4) unterhalb des Stegs (11) ausgebildet ist.

WO 2012/150132 A2

TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Beschreibung

Laserlichtquelle

5 Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2011 100 175.5, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Für Projektionsanwendungen werden Laserquellen in einem
10 Grundmoden- oder Monomodens-Betrieb mit immer höheren Leistungen benötigt, um bei zunehmenden Bilddiagonalen der Projektionsfläche ausreichende Helligkeiten zu erzielen und dennoch eine sehr hohe Effizienz zu erreichen. Zudem ist vielfach ein geringes Aspekt-Verhältnis des Laserstrahls
15 wünschenswert, um aufwändige und verlustbehaftete Linsensysteme vereinfachen zu können.

In typischen indexgeführten Laserstrukturen wie etwa Laserdioden mit Stegwellenleiterstrukturen wird Monomodigkeit
20 dadurch erreicht, dass der Lasersteg eine extrem geringe Breite aufweist. Hierin besteht jedoch ein wesentlicher Nachteil in den hohen technologischen Anforderungen, da herkömmliche Belichtungs- und Ätztechnologien an ihre Grenzen stoßen. Ein weiterer großer Nachteil solch schmaler
25 Stegbreiten besteht in den erhöhten Betriebsspannungen, die zum Betrieb solcher Laserdioden nötig sind.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Monomodigkeit einer Laserdiode mit Stegwellenleiterstruktur besteht in
30 einer geringen Steghöhe. Die daraus resultierende schwache optische Führung bewirkt, dass nur die Grundmode anschwingen kann. Dies führt jedoch gleichzeitig zu erhöhten Schwellströmen, da in der Regel eine schwache Wellenführung

beziehungsweise eine geringe Höhe des Stegs mit einer Stromaufweitung verbunden ist.

Es ist weiterhin bekannt, Absorberschichten auf eine dünne
5 Passivierungsschicht neben dem Lasersteg aufzubringen. Da für diese Konfiguration jedoch sehr dünne Passivierungsschichten benötigt werden, können elektrische Probleme auftreten, etwa hinsichtlich der Durchschlagfestigkeit oder hinsichtlich Leckströmen. Weiterhin ist dabei nachteilig, dass im
10 Allgemeinen nicht verhindert werden kann, dass auch die Grundmode durch den Absorber gedämpft wird, was Verluste in den Laserparametern, insbesondere eine verringerte Effizienz, bedeutet.

15 Eine Aufgabe zumindest einer Ausführungsform ist es, eine Laserlichtquelle mit einer Halbleiterschichtenfolge anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch einen Gegenstand mit den Merkmalen
20 des unabhängigen Patentanspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Gegenstands und des Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet und gehen aus der nachfolgenden Beschreibung und den
Zeichnungen hervor.

25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist eine Laserlichtquelle eine Halbleiterschichtenfolge auf, die eine Mehrzahl von funktionalen Schichten aufweist. Insbesondere weist die Halbleiterschichtenfolge eine aktive Schicht mit
30 einem aktiven Bereich auf, der im Betrieb der Laserlichtquelle Laserlicht erzeugen kann. Die funktionalen Schichten weisen jeweils eine Hauptstreckungsebene auf, die

senkrecht zur Anordnungsrichtung der übereinander angeordneten funktionalen Schichten ist.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Laserlichtquelle
5 als kantenemittierende Laserdiode ausgebildet. Dazu weist die Halbleiterschichtenfolge eine Seitenfläche auf, die zumindest geneigt gegenüber der Hauptstreckungsebene der funktionalen Schichten und beispielsweise senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht dazu ist und die als Strahlungsauskopplfläche
10 ausgeführt ist, so dass über die Strahlungsauskopplfläche im Betrieb das Laserlicht abgestrahlt werden kann. Bevorzugt kann die Halbleiterschichtenfolge eine erste und eine zweite Wellenleiterschicht aufweisen, zwischen denen der aktive Bereich angeordnet ist. Insbesondere kann die
15 Halbleiterschichtenfolge einen optischen Resonator für das Laserlicht aufweisen. Dieser kann insbesondere eine erste zumindest teilweise reflektierende Schicht, beispielsweise eine Spiegelschicht, auf der Strahlungsauskopplfläche und/oder eine zweite zumindest teilweise reflektierende
20 Schicht, beispielsweise eine Spiegelschicht, auf einer der Strahlungsauskopplfläche gegenüberliegenden Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge umfassen, zwischen denen der aktive Bereich angeordnet ist.

25 Die Halbleiterschichtenfolge kann als Epitaxieschichtenfolge oder als strahlungsemitterender Halbleiterchip mit einer Epitaxieschichtenfolge, also als epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge ausgeführt sein. Dabei kann die Halbleiterschichtenfolge beispielsweise auf der Basis von
30 InGaAlN ausgeführt sein. Unter InGaAlN-basierte Halbleiterchips und Halbleiterschichtenfolgen fallen insbesondere solche, bei denen die epitaktisch hergestellte Halbleiterschichtenfolge in der Regel eine Schichtenfolge aus

unterschiedlichen Einzelschichten aufweist, die mindestens eine Einzelschicht enthält, die ein Material aus dem III-V-Verbindungshalbleitermaterialsystem $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$ aufweist.

5 Halbleiterschichtenfolgen, die zumindest eine aktive Schicht auf Basis auf InGaAlN aufweisen, können beispielsweise bevorzugt elektromagnetische Strahlung in einem ultravioletten bis grünen Wellenlängenbereich emittieren.

10 Alternativ oder zusätzlich kann die Halbleiterschichtenfolge oder der Halbleiterchip auch auf InGaAlP basieren, das heißt, dass die Halbleiterschichtenfolge unterschiedliche Einzelschichten aufweisen kann, wovon mindestens eine Einzelschicht ein Material aus dem III-V-

15 Verbindungshalbleitermaterialsystem $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$ aufweist.

Halbleiterschichtenfolgen oder Halbleiterchips, die zumindest eine aktive Schicht auf Basis von InGaAlP aufweisen, können beispielsweise bevorzugt elektromagnetische Strahlung mit
20 einer oder mehreren spektralen Komponenten in einen grünen bis roten Wellenlängenbereich emittieren.

Alternativ oder zusätzlich kann die Halbleiterschichtenfolge oder der Halbleiterchip auch andere III-V-

25 Verbindungshalbleitermaterialsysteme, beispielsweise ein AlGaAs-basiertes Material, oder II-VI-

Verbindungshalbleitermaterialsysteme aufweisen. Insbesondere kann eine aktive Schicht, die ein AlGaAs-basiertes Material aufweist, geeignet sein, elektromagnetische Strahlung mit

30 einer oder mehreren spektralen Komponenten in einem roten bis infraroten Wellenlängenbereich zu emittieren.

Die Halbleiterschichtenfolge kann weiterhin ein Substrat aufweisen, auf dem die oben genannten III-V- oder II-VI-Verbindungshalbleitermaterialsystem abgeschieden sind. Die funktionalen Schichten können auf dem Substrat aufgewachsen
5 sein, das dann als Aufwachssubstrat ausgebildet ist.

Alternativ dazu können die funktionalen Schichten nach dem Aufwachsen auf das Substrat übertragen werden, das dann als Trägersubstrat ausgebildet ist. Das Substrat kann ein Halbleitermaterial, beispielsweise ein oben genanntes
10 Verbindungshalbleitermaterialsystem, umfassen. Insbesondere kann das Substrat GaP, GaN, SiC, Si, Ge und/oder Saphir umfassen oder aus einem solchen Material sein.

Die Halbleiterschichtenfolge kann als aktiven Bereichen in
15 der aktiven Schicht beispielsweise einen herkömmlichen pn-Übergang, eine Doppelheterostruktur, eine Einfach-Quantentopfstruktur (SQW-Strukturen) oder eine Mehrfach-Quantentopfstruktur (MQW-Strukturen) aufweisen. Die Halbleiterschichtenfolge kann neben der aktiven Schicht mit
20 dem aktiven Bereich weitere funktionale Schichten und funktionelle Bereiche umfassen, etwa p- oder n-dotierte Ladungsträgertransportschichten, p- oder n-dotierte Confinement-, Mantel- oder Wellenleiterschichten, Barrierschichten, Planarisierungsschichten, Pufferschichten,
25 Schutzschichten und/oder Elektroden sowie Kombinationen daraus. Die Elektroden können dabei jeweils eine oder mehrere Metallschichten mit Ag, Au, Sn, Ti, Pt, Pd, Rh und/oder Ni aufweisen. Solche Strukturen die aktive Schicht oder die weiteren funktionalen Schichten und Bereiche betreffend sind
30 dem Fachmann insbesondere hinsichtlich Aufbau, Funktion und Struktur bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert.

Darüber hinaus können zusätzliche Schichten, etwa Pufferschichten, Barrierschichten und/oder Schutzschichten auch senkrecht zur Aufwachsrichtung der Halbleiterschichtenfolge beispielsweise um die Halbleiterschichtenfolge herum angeordnet sein, also etwa auf den Seitenflächen der Halbleiterschichtenfolge.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Laserlichtquelle eine Stegwellenleiterstruktur auf. Dazu sind zumindest eine oder mehrere funktionale Schichten der Halbleiterschichtenfolge derartig strukturiert, dass die zumindest eine oder die mehreren Schichten einen Steg bilden, der sich in einer Richtung, der Stegerstreckungsrichtung, parallel zur Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten erstreckt. Insbesondere kann eine solche auch als „Ridge-Struktur“ bezeichnenbare Ausgestaltung der Halbleiterschichtenfolge geeignet sein, in Abhängigkeit von ihrer Breite und Höhe und durch die aufgrund der stegförmigen Struktur und einem damit verbundenen Brechungsindexsprung eine so genannte Indexführung die Ausbildung einer transversalen Grundmode im aktiven Bereich zu ermöglichen. Der Steg kann sich insbesondere von der Strahlungsauskopplungsfläche bis zur der Strahlungsauskopplungsfläche gegenüberliegenden Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge erstrecken.

Zur Herstellung der Stegwellenleiterstruktur kann beispielsweise die Halbleiterschichtenfolge mit den oben genannten funktionalen Schichten und dem aktiven Bereich bereitgestellt werden. Der Steg kann durch eine Maske mittels eines abtragenden Verfahrens, etwa Ätzen, auf einer Hauptoberfläche der Halbleiterschichtenfolge, die parallel zur Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten

angeordnet ist, erzeugt werden. Die Breite des Stegs kann dabei über eine photolithographisch herstellbare Maske einstellbar sein.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Halbleiterschichtenfolge eine Modenfilterstruktur auf. Die Modenfilterstruktur kann insbesondere geeignet sein, höhere Moden, die neben einer Grundmode in der Laserlichtquelle auftreten können, zu dämpfen.

10

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Modenfilterstruktur als Teil des Stegs ausgeführt und/oder entlang einer Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten neben dem Steg ausgebildet und/oder senkrecht zu
15 einer Haupterstreckungsebene der funktionellen Schichten unterhalb des Stegs ausgebildet. Dabei kann die Modenfilterstruktur eines oder mehrere der im Folgenden beschriebenen Elemente, Merkmale und/oder Ausführungsformen aufweisen.

20

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg senkrecht zur Stegerstreckungsrichtung und parallel zur Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten eine horizontale Stegbreite auf. Senkrecht zur

25

Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten und senkrecht zur Stegerstreckungsrichtung kann der Steg eine vertikale Stegbreite aufweisen. Die horizontale Stegbreite kann dabei mit anderen Worten die Breite des Stegs sein, die der Steg in einer Aufsicht auf die Oberseite der

30

Laserlichtquelle mit dem Steg aufweist. Die vertikale Stegbreite kann die Breite des Stegs sein, die der Steg in einem Schnitt senkrecht zu den Haupterstreckungsebenen der funktionalen Schichten und senkrecht zur

Stegerstreckungsrichtung aufweist. Der Steg kann insbesondere als Modenfilterstruktur eine variierende horizontale Stegbreite und/oder eine variierende vertikale Stegbreite aufweisen.

5

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die horizontale Stegbreite zumindest eine Verdickung und/oder eine Einschnürung auf. Das kann insbesondere bedeuten, dass sich die horizontale Stegbreite entlang der

10

Stegerstreckungsrichtung vergrößert und dann wieder verkleinert, um eine Verdickung zu bilden, und/oder sich verkleinert und dann wieder vergrößert, um eine Einschnürung zu bilden. Die zumindest eine Verdickung und/oder

15

Einschnürung kann dabei als Knick oder Stufe der horizontalen Stegbreite ausgeführt sein oder auch als sich kontinuierlich verändernde Stegbreite.

Durch eine Verbreiterung des Stegs in Form einer oder mehrerer Verdickungen der horizontalen Stegbreite kann an einer oder mehreren Stellen die Kontaktfläche des Stegs auf der funktionalen Schicht oder Teilschicht, auf der der Steg direkt angeordnet ist und an die der Steg direkt angrenzt, und/oder die Kontaktfläche einer Elektrodenschicht auf dem Steg zum Steg beziehungsweise zu den funktionalen Schichten

25

vergrößert werden, wodurch die Betriebsspannung der Laserlichtquelle verringert und somit die Effizienz verbessert werden kann. Insbesondere durch eine

kontinuierliche Änderung der variierenden horizontalen Stegbreite können Verluste in der Laserlichtquelle verringert

30

oder ganz vermieden werden, die bei abrupten Änderungen der Stegbreite auftreten können. Besonders bevorzugt können dabei fließende Übergänge sein, wie sie zum Beispiel durch Variationen von Exponentialfunktionen, Sinus-, Kosinus,

Tangens- und/oder Gauß-Kurven sowie Kombination daraus erzielt werden können.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg eine
5 variierende horizontale Stegbreite mit zumindest einer Verdickung und/oder einer Einschnürung auf, wobei die horizontale Stegbreite an zumindest einer Stelle schmaler als die so genannte Cut-Off-Breite zur Erreichung eines Single-
Mode-Betriebs sein. Diese kann mit der bekannten Beziehung

10

$$d = \lambda / [2(n_2^2 - n_1^2)^{1/2}]$$

berechnet werden, wobei d die horizontale Stegbreite an der
genannten Stelle ist, n_2 der effektive Brechungsindex unter
15 dem Steg in der Halbleiterschichtenfolge und n_1 der effektive Brechungsindex neben dem Steg.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg eine
Stegbreite auf, die im Bereich von einschließlich 0,3 μm bis
20 einschließlich 200 μm , bevorzugt im Bereich von einschließlich 0,5 μm bis einschließlich 10 μm und besonders bevorzugt im Bereich von einschließlich 0,8 μm bis einschließlich 3 μm liegt.

25 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg eine Verdickung hinsichtlich seiner horizontalen Stegbreite nahe oder an der Strahlungsauskopplfläche und/oder der der Strahlungsauskopplfläche gegenüber liegenden Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge auf. Dadurch kann die
30 Leistungsdichte direkt an der Strahlungsauskopplfläche verringert werden, wodurch höhere Ausgangsleistungen erreicht werden können, ohne dass die Strahlungsauskopplfläche der Laserlichtquelle zerstört wird (COMD: „catastrophic optical

mirror damage"). Alternativ dazu kann der Steg zwischen der Strahlungsauskopplungsfläche und der der Strahlungsauskopplungsfläche gegenüberliegenden Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge eine Verdickung der horizontalen Stegbreite aufweisen, während an der Strahlungsauskopplungsfläche oder der der Strahlungsauskopplungsfläche gegenüberliegenden Seitenfläche die horizontale Stegbreite eine Einschnürung oder Verjüngung aufweist. Dadurch kann ein breiteres laterales Fernfeld erzeugt werden.

Durch einen Steg mit einer variierenden Stegbreite, die zumindest eine Verdickung und/oder eine Einschnürung aufweist, kann eine Kombination der Vorteile eines schmalen Stegs und eines breiten Stegs erreicht werden, wobei durch einen schmalen Steg beziehungsweise die schmalen Stegbereiche ein geringes Aspekt-Verhältnis des abgestrahlten Laserstrahls sowie eine ausgeprägte Monomodenzführung erreicht werden kann, während durch einen breiten Steg beziehungsweise die breiten Stegbereiche der elektrische Kontakt verbessert werden kann, wodurch die Betriebsspannung verringert werden kann.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die vertikale Stegbreite eine Einschnürung auf. Dabei kann die Einschnürung beispielsweise den aktiven Bereich oder zumindest eine funktionale Schicht oberhalb des aktiven Bereichs umfassen. Das kann bedeuten, dass die Einschnürung der vertikalen Stegbreite im Bereich der aktiven Schicht mit dem aktiven Bereich oder darüber angeordnet ist. Dadurch, dass durch die Einschnürung ein oberer Teil des Stegs breiter ist als der für die Wellenführung relevantere untere Teil, kann eine größere Kontaktfläche der Halbleiterschichtenfolge zu einer darauf aufgetragenen Elektrodenschicht erzeugt werden.

Dadurch kann insbesondere erreicht werden, dass die Spannung zum Betrieb der Laserlichtquelle verringert werden kann, wodurch die Effizienz steigt. Dies kann insbesondere für eine Laserlichtquelle mit einer Halbleiterschichtenfolge basierend auf einem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial von Vorteil sein, da bei diesem Material insbesondere die Kontaktwiderstände mit p-dotierten Halbleiterschichten im Vergleich zu anderen Materialsystemen hoch sind.

10 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg als Modenfilterstruktur eine variierende Steghöhe senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten auf. Insbesondere kann das bedeuten, dass die Steghöhe entlang der Stegerstreckungsrichtung variiert. Bereiche, in denen der Steg eine hohe Steghöhe aufweist, in denen also der Teil der Halbleiterschichtenfolge, der an den Steg angrenzt, eine Vertiefung aufweist, können eine Verringerung der Stromaufweitung und eine bessere Überlappung der optischen Mode mit dem elektrisch gepumpten Bereich bewirken, wodurch eine niedrigere Laserschwelle und damit eine gute Effizienz erreicht werden können. Bereiche mit einer niedrigeren Steghöhe, also Bereiche der Halbleiterschichtenfolge beziehungsweise des Teils der Halbleiterschichtenfolge, der an den Steg angrenzt, die im Vergleich zu anderen Teilen eine Erhöhung aufweisen, können für eine schwächere Wellenführung sorgen, sodass höhere Moden stärkere Verluste erfahren und somit gedämpft werden können oder besonders bevorzugt gar nicht mehr geführt werden können. Die Übergänge zwischen Bereichen mit einer hohen Steghöhe und Bereichen mit einer niedrigen Steghöhe können abrupt, also insbesondere stufenförmig oder in Form von Knicken, im Höhenprofil des Teils der Halbleiterschichtenfolge, der an den Steg angrenzt, ausgeführt sein. Alternativ dazu kann die Steghöhe auch

kontinuierlich entlang der Stegerstreckungsrichtung variieren.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg
5 Stegseitenflächen auf, die den Steg in einer Richtung senkrecht zur Stegerstreckungsrichtung begrenzen und die entlang der Stegerstreckungsrichtung verlaufen. Der Steg kann dabei als Modenfilterstruktur zumindest teilweise oder entlang des gesamten Stegs unterschiedliche Steghöhen für die
10 beiden Seitenflächen aufweisen. Durch eine derartige asymmetrische Ausführung der Steghöhen an den Stegseitenflächen kann eine asymmetrische Wellenleitung erzeugt werden, die besonders bevorzugt nur eine Mode führen kann. Durch die höhere Steghöhe auf einer Seite des Steges
15 kann die Stromaufweitung auf dieser Seite reduziert werden, was zu einer Steigerung der Effizienz bei gleichzeitiger Erhaltung der Einmodigkeit führen kann. Zusätzlich kann die Steghöhe auf einer oder beiden Stegseitenflächen entlang der Stegerstreckungsrichtung variieren.

20

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist neben dem Steg als Modenfilterstruktur eine Passivierung angeordnet, die entlang der Stegerstreckungsrichtung variiert. Das kann insbesondere bedeuten, dass die Passivierung als Passivierungsschicht
25 ausgeführt ist, die beispielsweise hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und/oder ihres Materials entlang der Stegerstreckungsrichtung variiert. Durch die variiierende Passivierung entlang des Stegs kann eine Variierung des Brechungsindex entlang des Stegs erreicht werden, wobei ein
30 Bereich mit einem geringeren Brechungsindex den gleichen Effekt haben kann wie eine Vergrößerung der Steghöhe. Insbesondere kann die Passivierung hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und/oder ihres Materials und insbesondere

hinsichtlich ihres Brechungsindex kontinuierlich variieren. Das kann beispielsweise durch zwei Passivierungsschichten erreicht werden, wovon die eine Passivierungsschicht entlang der Stegerstreckungsrichtung dünner wird und eine darauf
5 aufgebrauchte zweite Passivierungsschicht dicker wird. Insbesondere kann die Passivierung direkt an den Steg an zumindest einer Stegseitenfläche angrenzen. Besonders bevorzugt ist eine Passivierung angrenzend an beide Stegseitenflächen angeordnet.

10

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Laserlichtquelle als Modenfilterstruktur an den beiden Stegseitenflächen neben dem Steg unterschiedliche Passivierungen auf, die beispielsweise unterschiedliche
15 Brechungsindices aufweisen. Dadurch kann ein ähnlicher Effekt wie oben für unterschiedliche Steghöhen beschrieben an den Stegseitenflächen erreicht werden.

20

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg als Modenfilterstruktur eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung auf. Eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung kann in einer Aufsicht auf den Steg durch einen gekrümmten Verlauf des Stegs erkennbar sein. Das kann insbesondere bedeuten, dass der Steg nicht ausschließlich spiegelsymmetrisch zur
25 optischen Achse der Laserlichtquelle ausgebildet ist. Die optische Achse kann insbesondere durch die Richtung in der Halbleiterschichtenfolge, insbesondere im aktiven Bereich, gegeben sein, entlang derer sich die Laserstrahlung ausbildet. Die Abstrahlrichtung, in der das Laserlicht von
30 der Laserlichtquelle von der Strahlungsauskopplungsfläche abgestrahlt wird, kann eine Verlängerung der optischen Achse sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stegseitenflächen eines Stegs mit gekrümmter Stegerstreckungsrichtung parallel oder zumindest annähernd parallel. Dadurch kann die Prozessierbarkeit vereinfacht werden und/oder die Reproduzierbarkeit von Laserlichtquelle zu Laserlichtquelle erhöht werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Steg eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung auf, die durch zumindest einen Knick im Steg und/oder zumindest eine kontinuierliche Richtungsänderung des Stegs relativ zur optischen Achse ausgebildet ist. Der zumindest eine Knick oder die zumindest eine kontinuierliche Richtungsänderung kann dabei durch einen definierten Winkel gegeben sein.

15

Durch eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung kann es möglich sein, höhere Moden im aktiven Bereich stärker zu dämpfen, wobei dabei auch bei einer Stegbreite, die größer als die oben beschriebene Cut-Off-Stegbreite ist, ein einmodiges Verhalten erzielt werden kann.

20

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann als Modenfilterstruktur eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung mit einer variierenden Passivierung entlang der Stegerstreckungsrichtung und/oder auf den beiden Stegseitenflächen kombiniert sein. Ein gekrümmter Steg kann je nach Krümmung ein asymmetrisches Fernfeld aufweisen. Zur Kompensation dieses kann bei einer gekrümmten Stegerstreckungsrichtung, insbesondere bei einer gebogenen, kurvenförmigen Stegerstreckungsrichtung mit einer oder mehreren Kurven an einer oder mehreren Innenkurven eine Passivierung angeordnet werden, die eine höhere Absorption aufweist als eine Passivierung an der entsprechenden

25
30

Außenkurve. Dadurch kann die Phase der optischen Mode so beeinflusst werden, dass ein symmetrisches Abstrahlprofil beziehungsweise Fernfeld erzeugt wird.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Steg durch zwei entlang der Stegerstreckungsrichtung verlaufende Stegseitenflächen begrenzt, wobei als Modenfilterstruktur zumindest ein Teilbereich einer Stegseitenfläche eine Oxidierung aufweist. Das kann insbesondere bedeuten, dass
10 zumindest ein Teilbereich einer Stegseitenfläche, bevorzugt eine Stegseitenfläche und besonders bevorzugt beide Stegseitenflächen, zumindest in Teilbereichen oxidiert sind. Dazu kann der Steg zumindest eine Aluminium enthaltende Schicht aufweisen, deren Seitenflächen, die einen Teilbereich
15 der Stegseitenflächen bilden, oxidiert sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform grenzt der Steg an eine funktionale Schicht der Halbleiterschichtenfolge an, die als Modenfilterstruktur ein die Leitfähigkeit änderndes und/oder
20 ein Licht absorbierendes Material aufweist. Ein derartiges Material, das beispielsweise ein Dotierstoff wie etwa Silizium, ein elektrisch isolierender Stoff wie etwa Wasserstoff oder ein Licht absorbierender Stoff wie etwa Germanium sein kann, kann durch Implantation und/oder
25 Diffusion zumindest in Teilbereiche der an den Steg angrenzenden funktionalen Schicht eingebracht werden. Derartige Bereiche können als Strom- und/oder Modenblenden dienen, durch die durch eine laterale Strombegrenzung und/oder eine entsprechende Wellenführung höhere Moden
30 gedämpft werden können.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Halbleiterschichtenfolge zumindest eine funktionale Schicht

als Modenfilterstruktur auf, die neben dem Steg und/oder unterhalb des Stegs zumindest teilweise eine geschädigte Struktur aufweist. Eine geschädigte Struktur kann beispielsweise nach dem Aufwachsen der

5 Halbleiterschichtenfolge und dem Ausbilden des Stegs durch zumindest teilweises Verdampfen von Halbleitermaterial der Halbleiterschichtenfolge in zumindest einer funktionalen Schicht erfolgen. Das Verdampfen kann beispielsweise durch Bestrahlung der Halbleiterschichtenfolge mit Laserstrahlung,
10 insbesondere Kurzpuls-Laserstrahlung, erreicht werden, durch die bei entsprechender Fokussierung das Halbleitermaterial in gezielten Bereichen geschädigt werden kann. Insbesondere kann die Laserstrahlung derart gewählt werden, dass eine Komponente, beispielsweise bei einem Gruppe-III-V-
15 Verbindungshalbleitermaterial das Gruppe-V-Material, zumindest teilweise verdampft. Der geschädigte Bereich kann dabei unmittelbar angrenzend an den Steg in einer funktionalen Schicht ausgebildet sein. Zusätzlich oder alternativ kann die Halbleiterschichtenfolge einen
20 geschädigten Bereich unterhalb und/oder seitlich versetzt neben dem Steg und unterhalb des Stegs, beispielsweise auf einer dem Steg abgewandten Seite des aktiven Bereichs, aufweisen. Durch einen derartigen beschädigten Bereich kann ebenfalls eine Strom- und/oder Modenblende erreicht werden.

25

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Laserlichtquelle als Modenfilterstruktur zumindest zwei der genannten Modenfilterstrukturmerkmale und/oder Ausführungsformen auf. Das kann insbesondere bedeuten, dass
30 die Laserlichtquelle als Modenfilterstruktur eine variierende Stegbreite und/oder eine variierende Steghöhe und/oder eine variierende Passivierung entlang der Stegerstreckungsrichtung aufweist. Das kann auch bedeuten, dass der Steg zusätzlich

oder alternativ als Modenfilterstruktur eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung und/oder implantierte oder dotierte Bereiche und/oder geschädigte Bereiche aufweist.

5 Durch die hier genannten Ausführungsformen der Modenfilterstruktur kann es möglich sein, das Modenprofil der Laserlichtquelle optimal auf eine hohe Effizienz, eine gewünschte Fernfeldbreite sowie auf eine Einmodigkeit einzustellen.

10

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsformen.

15

Es zeigen:

Figuren 1A bis 1C schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit einer Stegwellenleitstruktur,

20

Figuren 2A bis 2N schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit einer variierenden
horizontalen Stegbreite gemäß mehreren
Ausführungsbeispielen,

25

Figuren 3A bis 3M schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit gekrümmten
Stegerstreckungsrichtungen gemäß weiteren
Ausführungsbeispielen,

30

Figuren 4A bis 6 schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit variierenden Steghöhen,

Figuren 7 bis 8B schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit variierenden Passivierungen
gemäß weiteren Ausführungsbeispielen,

- 5 Figuren 9A bis 10C schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit variierenden vertikalen
Stegbreiten,

- 10 Figuren 11A bis 11C schematische Darstellungen einer
Laserlichtquelle mit einer Oxidierung von
Stegseitenflächen gemäß weiteren
Ausführungsbeispielen,

- 15 Figuren 12A bis 12D schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit die Leitfähigkeit ändernden,
den Brechungsindex ändernden und/oder Licht
absorbierenden Materialien gemäß weiteren
Ausführungsbeispielen,

- 20 Figuren 13A bis 14B schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit Bereichen mit einer
geschädigten Struktur gemäß weiteren
Ausführungsbeispielen und

- 25 Figuren 15A bis 15G schematische Darstellungen von
Laserlichtquellen mit Streulichtfiltern gemäß
weiteren Ausführungsbeispielen.

30 In den Ausführungsbeispielen und Figuren können gleiche oder
gleich wirkende Bestandteile jeweils mit den gleichen
Bezugszeichen versehen sein. Die dargestellten Elemente und
deren Größenverhältnisse untereinander sind grundsätzlich
nicht als maßstabsgerecht anzusehen, vielmehr können einzelne

Elemente, wie zum Beispiel Schichten, Bauteile, Bauelemente und Bereiche, zur besseren Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis übertrieben dick oder groß dimensioniert dargestellt sein.

5

Zur Beschreibung der grundlegenden Merkmale einer Laserlichtquelle mit einer Stegwellenleiterstruktur ist in Figur 1A eine schematische räumliche Darstellung einer Laserlichtquelle mit einer Stegwellenleiterstruktur gezeigt, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist. Insbesondere wird die bekannte Stegwellenleiterstruktur durch einen Steg 11 gebildet, der eine konstante Steghöhe 110 und eine konstante Stegbreite 113 entlang der gezeigten geradlinigen Stegerstreckungsrichtung AA aufweist.

15

Die Laserlichtquelle weist eine Halbleiterschichtenfolge 10 mit einem Substrat 1 auf, auf dem eine Mehrzahl von funktionalen, epitaktisch aufgewachsenen Schichten 4 aufgebracht ist. Die funktionalen Schichten 4 weisen dabei jeweils eine Haupterstreckungsebene auf, die senkrecht zur Anordnungsrichtung der funktionalen Schichten ist. Die Halbleiterschichtenfolge 10 basiert im gezeigten Beispiel auf einem InGaAlN-Verbindungshalbleitermaterial wie oben im allgemeinen Teil beschrieben ist. Die funktionalen Schichten 4 sind als n- und p-dotierte Mantelschichten 41, 44 und Wellenleiterschichten 42, 43 sowie als aktive Schicht 40 mit einem aktiven Bereich 45 ausgebildet. Die aktive Schicht 40 kann beispielsweise als Mehrfach-Quantentopf-Struktur mit 1 bis 5 Quantenfilmen ausgebildet sein, die zwischen Barrierschichten angeordnet sind. Weiterhin können zusätzlich zu den gezeigten funktionalen Schichten noch weitere funktionale Schichten wie etwa eine oder mehrere Kontaktschichten und/oder Zwischenschichten vorhanden sein.

30

Alternativ zum hier beschriebenen Nitrid-basierten Halbleitermaterial kann die Halbleiterschichtenfolge 10 beispielsweise auch Phosphid- und Arsenid-basierte Halbleitermaterialien aufweisen.

Das Substrat 1 kann ein Aufwachssubstrat sein, auf der die funktionalen Schichten 4 epitaktisch aufgewachsen werden. Alternativ dazu kann die Halbleiterschichtenfolge 10 in Dünnschicht-Technologie herstellbar sein. Das bedeutet, dass die funktionalen Schichten 4 auf einem Aufwachssubstrat aufgewachsen und anschließend auf ein Trägersubstrat, das dann das Substrat 1 der Halbleiterschichtenfolge 10 bildet, übertragen wird. Je nach Aufwachstechnik können dabei die n-leitenden Schichten oder die p-leitenden Schichten der Halbleiterschichtenfolge 10 dem Substrat 1 zugewandt sein.

Die elektrische Kontaktierung der Halbleiterschichtenfolge 10 erfolgt im gezeigten Ausführungsbeispiel über eine Elektrode 2 auf der den funktionellen Schichten 4 abgewandten Unterseite des Substrats 1 und über eine Elektrode 3 auf der dem Substrat 1 gegenüberliegenden Oberseite der Halbleiterschichtenfolge 10. Die Elektroden 2 und 3 können dabei jeweils eine oder mehrere Metallschichten, beispielsweise mit Ag, Au, Sn, Ti, Pt, Pd, Rh und/oder Ni, aufweisen.

Alternativ zur elektrischen Kontaktierung durch das Substrat 1 hindurch kann der elektrische Kontakt 2 auch auf derselben Seite der Substrats 1 wie die funktionellen Schichten 4 und neben der aktiven Schicht 40 angeordnet sein. Diese Kontaktierungsart ist vor allem geeignet, um die funktionalen Schichten 4 auf der Substratseite elektrisch zu kontaktieren,

wenn diese auf einem elektrisch nicht leitfähigen Substrat 1 angeordnet sind.

Weiterhin weist die Halbleiterschichtenfolge 10 eine
5 Strahlungsauskoppelfläche 12 und eine dazu gegenüberliegenden
als Rückseite ausgebildete Seitenfläche 13 auf, die jeweils
eine zumindest teilweise reflektierende Beschichtung
aufweisen (nicht gezeigt). Dadurch bilden die
Strahlungsauskoppelfläche 12 und die rückseitige Seitenfläche
10 13 einen optischen Resonator. Die jeweilige zumindest
teilweise reflektierende Beschichtung kann beispielsweise
eine Bragg-Spiegel-Schichtenfolge und/oder reflektierende
Metallschichten aufweisen oder daraus sein.

15 Auf oder über Oberflächen der Halbleiterschichtenfolge 10
können weiterhin Passivierungsschichten zum Schutz der
Halbleiterschichtenfolge aufgebracht sein (nicht gezeigt).

Die auf der dem Substrat 1 angewandten Oberseite der aktiven
20 Schicht 40 angeordnete Mantelschicht 44 ist im gezeigten
Ausführungsbeispiel teilweise als Steg 11 aufgebaut und
bildet eine so genannte Stegwellenleiterstruktur oder
„Ridge“-Struktur wie im allgemeinen Teil beschrieben ist.
Alternativ kann der Steg 11 auch als Teil weiterer
25 funktionaler Schichten 4 ausgebildet sein. Der Steg 11 weist
Stegseitenflächen 111, 112 auf, die entlang der
Stegerstreckungsrichtung AA verlaufen und den Steg 11 in
einer Richtung parallel zur Hauptstreckungsebene der
funktionalen Schichten 4 und senkrecht zur
30 Stegerstreckungsrichtung AA begrenzen. Die
Stegwellenleiterstruktur mit dem Steg 11 wird nach dem
Herstellen der Halbleiterschichtenfolge 10 durch Aufbringen
der funktionalen Schicht 4 auf dem Substrat 1 mittels Ätzen

hergestellt. Hierzu kann die Halbleiterschichtenfolge 10 beispielsweise auch eine als Ätzstoppschicht ausgebildete funktionale Schicht aufweisen. Die Steghöhe 110 entspricht somit der Äzttiefe beim Ausbilden des Stegs 11.

5

Alternativ zur Herstellung des Stegs 11 mittels Ätzen kann dieser auch mittels selektivem Wachstum als Teil der Halbleiterschichtenfolge 10 aufgewachsen werden.

10 Durch die Stegwellenleiterstruktur mit dem Steg 11 kann in der aktiven Schicht 40 die Ausbildung von Laserlicht ermöglicht werden, wohingegen unerwünschte weitere Lasermoden im Vergleich zu Steg-losen Laserlichtquellen zu einem gewissen Grad unterdrückt werden können. Insbesondere weist
15 die aktive Schicht 40 den aktiven Bereich 45 auf, der unter anderem durch die Breite des Stegs 11 vorgegeben ist und im gezeigten Ausführungsbeispiel durch die schraffierte Fläche in der aktiven Schicht 40 angedeutet ist. Der aktive Bereich 45 erstreckt sich dabei über die gesamte Länge der aktiven
20 Schicht 40 in dem durch die Strahlungsauskopplfläche 12 und die rückseitige Seitenfläche 13 gebildeten Resonator. Im aktiven Bereich 45 kann die Halbleiterschichtenfolge 10 im Betrieb durch stimulierte Emission Laserlicht erzeugen, das über die Strahlungsauskopplfläche 12 abgestrahlt werden
25 kann.

Neben der Stegerstreckungsrichtung AA sind für die Beschreibung der folgenden Ausführungsbeispiele weiterhin eine vertikale Schnittebene BB durch die

30 Halbleiterschichtenfolge 10 sowie eine Blickrichtung CC als Aufsicht auf die Halbleiterschichtenfolge 10 und insbesondere die Stegwellenleiterstruktur mit dem Steg 11 angedeutet.

In den Figuren 1B und 1C sind schematische
Schnittdarstellungen von Laserlichtquellen entlang der
vertikalen Schnittebene BB aus Figur 1A gezeigt. Die
Halbleiterschichtenfolgen 10 der Laserlichtquellen der
5 Figuren 1B und 1C können beispielsweise wie die
Halbleiterschichtenfolge gemäß dem Ausführungsbeispiel in
Figur 1A ausgeführt sein. Zusätzlich weisen die
Laserlichtquellen der Figuren 1B und 1C eine Passivierung 5
auf, die neben dem Steg 11 angeordnet ist. Die Passivierung 5
10 kann beispielsweise zur elektrischen Isolierung, zum Schutz
des Stegs und der Halbleiterschichtenfolge 10, zum
erleichterten Aufbringen der Elektrode 3 und/oder zur
Anpassung des Brechungsindexsprungs am Steg 11
beziehungsweise an der Halbleiterschichtenfolge 10 vorgesehen
15 sein. Während in Figur 1B wie auch in der Figur 1A der Steg
11 als freistehender Steg ausgebildet ist, weist die
Laserlichtquelle der Figur 1C eine so genannte "Dreibein"-
Struktur auf, bei der das Halbleitermaterial der
Halbleiterschichtenfolge 10 rechts und links neben dem Steg
20 11 nur in einem schmalen Graben und nicht ganzflächig
entfernt ist. Dadurch kann sich ein besserer Schutz gegenüber
Kratzern und/oder mechanischen Belastungen des Stegs 11
ergeben.

25 Weiterhin ist es auch möglich, den Steg 11 als sogenannte
vergrabene Heterostruktur („buried heterostructure“)
auszubilden. Hierbei wird nach dem Ausbilden des Stegs dieser
mit weiteren Halbleiterschichten epitaktisch überwachsen.

30 Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele beschreiben
erfindungsgemäße Varianten der in den Figuren 1A bis 1C
gezeigten bekannten Ausführungen von Laserlichtquellen mit
Stegwellenleiterstrukturen, die im Vergleich zu den bekannten

Laserlichtquellen der Figuren 1A bis 1C Modenfilterstrukturen
6 aufweisen. Neben der jeweils gezeigten Ausführung der
folgenden Ausführungsbeispiele können diese auch in einer
Dreibein-Struktur oder als vergrabene Heterostruktur
5 ausgebildet sein.

In den Figuren 2A bis 3M sind im Folgenden Aufsichten auf
Halbleiterschichtenfolgen 10 von Laserlichtquellen gemäß
mehreren Ausführungsbeispielen gezeigt, wobei die Aufsichten
10 jeweils der Blickrichtung CC in Figur 1A entsprechen.

In den Figuren 2A bis 2L sind Laserlichtquellen
Halbleiterschichtenfolgen 10 mit Stegen 11 gezeigt, die als
Modenfilterstruktur 6 parallel zur Haupterstreckungsebene der
15 funktionalen Schichten und senkrecht zur
Stegerstreckungsrichtung AA eine variierende horizontale
Stegbreite 113, 113', 113'', wie in den Figuren 2A und 2D
angedeutet ist, aufweisen. Insbesondere variiert die
horizontale Stegbreite in der jeweils gezeigten Aufsicht auf
20 die Halbleiterschichtenfolge 10 entlang der in den Figuren 2A
und 2D angedeuteten Stegerstreckungsrichtung AA.

Insbesondere weisen die Stege 11 der Laserlichtquelle der
Ausführungsbeispiele gemäß den Figuren 2A bis 2L durch die
25 variierende horizontale Stegbreite als Modenfilterstruktur 6
Verdickungen 61 und/oder Einschnürungen 62 auf, durch die
eine verbesserte Effizienz und/oder eine bessere
Strahlqualität im Vergleich zu bekannten Laserlichtquellen
mit Stegwellenleiterstrukturen mit konstanter Stegbreite
30 erreicht werden kann. So kann durch eine Verbreiterung der
Stegbreite in Form der Verdickungen 61 an einer oder mehreren
Stellen die Kontaktfläche zur Stromzuführung in die aktive
Schicht vergrößert werden, wodurch die Betriebsspannung

verringert und somit die Effizienz verbessert werden kann. Die Verdickung 61 beziehungsweise Verbreiterung der Stegbreite 113, 113' kann dabei, wie zum Beispiel in Figur 2A gezeigt, abrupt, also stufenförmig, erfolgen. Bevorzugt kann
5 die Verdickung 61 oder auch die Einschnürung 62 durch einen kontinuierlichen oder zumindest teilweise kontinuierlichen Übergang der Stegbreite ausgebildet sein, beispielsweise durch eine lineare Form, wie in Figur 2B gezeigt ist, oder durch kreisförmige und/oder elliptische Formen, wie
10 beispielsweise in Figur 2C gezeigt ist. Weiterhin kann es besonders vorteilhaft sein, wenn die horizontale Stegbreite 113, 113', 113'' in Form von fließenden Übergängen variiert, wie sie beispielsweise durch Variationen von Exponentialfunktionen, Sinus-, Kosinus, Tangens- und/oder
15 Gauß-Kurven sowie Kombination daraus erzielt werden können, wie in den Figuren 2D bis 2L gezeigt ist. Durch einen solchen fließenden Übergang können Verluste in der Laserlichtquelle verringert oder sogar ganz vermieden werden, die bei allzu abrupten Änderungen der Stegbreite auftreten könnten.

20

Die Modenfilterstrukturen 6 der Ausführungsbeispiele der Figuren 2A bis 2L sind dabei achsensymmetrisch zur Stegerstreckungsrichtung AA ausgebildet, die auch jeweils der optischen Achse der Laserlichtquellen entspricht.

25

In den Figuren 2M und 2N sind zwei Ausführungsbeispiele für Modenfilterstrukturen 6 gezeigt, die asymmetrisch zur optischen Achse der Laserlichtquelle ausgebildete Stegbreitenänderungen aufweisen. Rein beispielhaft sind diese
30 in den Figuren 2M und 2N in Form der Verdickungen 61 der horizontalen Stegbreite ausgebildet. Durch die asymmetrische beziehungsweise nicht zur optischen Achse symmetrische Form des Stegs können mit Vorteil höhere Moden unterdrückt werden,

da diese stärker an den Unregelmäßigkeiten der Stegbreite gedämpft werden als die Grundmode.

Alternativ zu der jeweils in den Ausführungsbeispielen
5 gezeigten Anzahl der Verdickungen 61 und/oder Einschnürungen
62 können auch mehr Verdickungen 61 und/oder Einschnürungen
62 vorhanden sein. Insbesondere können auch die gezeigten
Formen der Verdickungen 61 und/oder Einschnürungen 62 der
verschiedenen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert
10 werden.

Besonders bevorzugt ist die horizontale Stegbreite 113
jeweils an der schmalsten Stelle bevorzugt kleiner als die im
allgemeinen Teil beschriebene Cut-Off-Stegbreite zur
15 Erfüllung der Bedingung der Einmodigkeit. An anderen Stellen
kann der Steg 11 jeweils auch breiter als die Cut-Off-
Stegbreite sein.

Je nach gewünschtem Abstrahlwinkel kann beziehungsweise
20 können die zumindest eine Verdickung 61 und/oder die
zumindest eine Einschnürung 62 nahe der Facetten, also nahe
der Strahlungsauskopplfläche 12 und/oder der der
Strahlungsauskopplfläche gegenüberliegenden rückseitigen
Seitenfläche 13 und/oder eher im Inneren des Stegs 11 entlang
25 der Stegerstreckungsrichtung AA angeordnet sein. Eine
Verbreiterung 61 des Stegs 11 zu den Facetten hin, wie
beispielsweise in den Figuren 2F, 2K und 2L gezeigt, hat
zusätzlich den Vorteil, dass die Leistungsdichte direkt an
der Facette verringert wird. Dadurch können höhere
30 Ausgangsleistungen erreicht werden, ohne dass die Facetten,
also insbesondere die Strahlungsauskopplfläche 12, der
Laserlichtquelle zerstört wird. Wird ein eher breiteres
laterales Fernfeld gewünscht, kann es hingegen vorteilhaft

sein, wenn die horizontale Stegbreite im Facettenbereich eher schmal ausgeformt ist, wie beispielsweise in den Figuren 2A bis 2E und 2G bis 2J gezeigt ist.

5 Um die Prozessierbarkeit zu vereinfachen und die Reproduzierbarkeit von verschiedenen gleichartig ausgebildeten Laserlichtquellen zu erhöhen, ist es vorteilhaft, wenn die Kanten und damit die Seitenflächen des Stegs 11 im Facettenbereich bevorzugt zumindest annähernd
10 parallel verlaufen, wie in den Figuren 2A bis 2E, 2H, 2I und 2J gezeigt ist.

In den Figuren 3A bis 3H sind Laserlichtquellen gezeigt, die jeweils einen Steg 11 aufweisen, der als Modenfilterstruktur
15 6 eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung A, AA', AA'' aufweist, wie beispielhaft in Figur 3A gezeigt ist. Dadurch ist der Steg in den in den Figuren 3A bis 3I gezeigten Ausführungsbeispielen nicht spiegelsymmetrisch zur optischen Achse gewählt, die trotz der variierenden
20 Stegerstreckungsrichtung in den Ausführungsbeispielen der Figuren 3A bis 3I geradlinig zwischen der Strahlungsauskopplungsfläche 12 und der rückseitigen Seitenfläche 13 ausgebildet ist. Durch derartige gekrümmte Stegformen lassen sich höhere Moden im Vergleich zur
25 Grundmode verstärkt dämpfen, wobei dabei auch die minimale Stegbreite breiter sein kann als die oben genannte Cut-Off-Stegbreite, um noch ein einmodiges Verhalten erzielen zu können.

30 Wie in Figur 3A gezeigt ist, kann der Steg 11 Knicke mit definierten Winkeln aufweisen, sodass sich die Stegerstreckungsrichtung A, AA', AA'' abrupt ändern kann. Wie in den Ausführungsbeispielen der Figuren 3B bis 3I gezeigt

ist, kann die Stegerstreckungsrichtung auch kontinuierlich variieren, wodurch im Vergleich zu einer allzu abrupten Änderung der Stegerstreckungsrichtung Verluste vermieden werden können.

5

Besonders bevorzugt sind die Stegseitenflächen im Bereich der Facetten 12, 13 senkrecht oder wenigstens annähernd senkrecht zu diesen ausgebildet. Dabei können, wie in den Figuren 3A und 3B gezeigt ist, die Positionen des Stegs 11 an den Facetten 12, 13 zueinander versetzt sein. Wie in den Figuren 3C bis 3H gezeigt ist, können die Positionen des Stegs 11 an den Facetten 12, 13 wie auch bei einem geradlinigen Steg in einer Projektion entlang der optischen Achse einander überlappen, während der Steg 11 zwischen den Facetten 12, 13 relativ zu den Stegenden an den Facetten 12, 13 variiert. Die Stegerstreckungsrichtung kann dabei, wie in Figur 3I gezeigt ist, eine Richtungsänderung aufweisen oder auch, wie in den Figuren 3A und 3B gezeigt ist, zwei Richtungsänderungen, die gemäß Figur 3A abrupt aufeinander folgen und gemäß den Figuren 3B und 3I kontinuierlich und allmählich ineinander übergehen. In den Figuren 3C bis 3H sind Stege mit Modenfilterstrukturen 6 gezeigt, die durch eine Mehrzahl von Richtungsänderungen der Stegerstreckungsrichtung gebildet sind. Hierdurch kann eine verstärkte Dämpfung von höheren Moden erreicht werden. Wie in den Figuren 3F bis 3I gezeigt ist, können die variierenden Stegerstreckungsrichtungen zusätzlich mit Verdickungen 61 oder Einschnürungen 62 der horizontalen Stegbreite kombiniert sein.

30 In den Figuren 3J und 3K sind weitere Ausführungsbeispiele für Modenfilterstrukturen 6 mit einer gekrümmten Stegerstreckungsrichtung gezeigt, die rein beispielhaft kurvenförmig wie die Stege 11 der Ausführungsbeispiele der

Figuren 3B und 3C sind. Durch die Stegkrümmung können die Laserlichtquellen der gezeigten Ausführungsbeispiele ein asymmetrisches Fernfeld aufweisen. Dieses kann dadurch kompensiert werden, dass an den Innenkurven der gekrümmten Stege 11 jeweils eine Passivierung 63 als weiterer Teil der Modenfilterstruktur 6 angeordnet ist, die im Vergleich zu einer Passivierung 64 an den Außenkurven eine stärkere Absorption aufweist. Dadurch kann die Phase der sich in der Halbleiterschichtenfolge 10 ausbreitenden Mode so beeinflusst werden, dass ein symmetrisches Abstrahlprofil beziehungsweise Fernfeld erzeugt wird.

In den Figuren 3L und 3M sind weitere Ausführungsbeispiele für Modenfilterstrukturen 6 mit einer gekrümmten Stegerstreckungsrichtung gezeigt, die zusätzlich noch Verdickungen 61 an den Facetten, also der Strahlungsauskopplfläche 12 und der der Strahlungsauskopplfläche gegenüber liegenden Seitenfläche 13, aufweisen. Dadurch kann die Leistungsdichte direkt an den Facetten, insbesondere an der Strahlungsauskopplfläche 12, verringert werden, wodurch eine Facettenschädigung bei hohen optischen Leistungen (COMD) verhindert werden kann.

Wie in Figur 3L gezeigt kann die Aufweitung der horizontalen Stegbreite in Form der Verdickungen 61 symmetrisch zum Steg 11 an den Facetten sein. Es ist aber auch möglich, dass wie in Figur 3M gezeigt ist, die Verdickungen 61 asymmetrisch zum Steg 11 an den Facetten ist, wodurch zusätzlich noch der Abstrahlungswinkel der Laserlichtquelle beeinflusst werden kann.

In den Figuren 4A bis 8B sind schematische räumliche Darstellungen von Laserlichtquellen mit

Halbleiterschichtenfolgen 10 gemäß weiteren Ausführungsbeispielen dargestellt, wobei Merkmale wie etwa Elektroden und funktionale Schichten der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt sind.

5

Die Ausführungsbeispiele gemäß den Figuren 4A bis 5D weisen als Modenfilterstruktur 6 einen Steg 11 mit variierender Steghöhe 110, 110', 110'' entlang der Stegerstreckungsrichtung AA senkrecht zur

10

Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten auf. Die variierende Steghöhe wird dabei durch ungleiches Ätzen der Halbleiterschichtenfolge 10 zur Erzeugung des Stegs 11 hergestellt, sodass die variierenden Steghöhen inhomogenen Steg-Ätztiefen entsprechen. Dabei bewirken tiefer geätzte

15

Bereiche, also Bereiche mit einer größeren Steghöhe, eine Verringerung der Stromaufweitung und eine bessere Überlappung der optischen Mode mit dem elektrisch gepumpten Bereich. Dadurch können niedrigere Laserschwellen und damit eine gute Effizienz erreicht werden.

20

Flacher geätzte Bereiche, also Bereiche mit einer niedrigeren Steghöhe, können für eine schwächere Wellenführung sorgen, sodass höhere Moden stärkere Verluste erfahren und somit gedämpft werden oder gar nicht mehr geführt werden.

25

Wie in den Figuren 4A, 4D und 5A bis 5D gezeigt ist, können die Übergänge zwischen den variierenden Steghöhen abrupt, beispielsweise knickartig, sein. Alternativ dazu können die Übergänge in der jeweiligen Ätztiefe und damit die Übergänge in den Steghöhen fließend ausgelegt sein, wie in den Figuren 4B und 4C gezeigt ist, wodurch Verluste in der Grundmode vermieden werden können.

30

Bei dem in Figur 4A gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Stegbreite und die Variation der Steghöhe 110, 110' so gewählt, dass im Facettenbereich, also insbesondere im Bereich der Strahlungsauskopplfläche 12, nur eine Mode
5 geführt wird. Die tiefer geätzten Bereiche verringern die Stromaufweitung und erhöhen den lateralen Füllfaktor, wodurch die Laser-Performance verbessert werden kann.

Um breitere laterale Fernfelder und damit ein geringeres
10 Aspekt-Verhältnis zwischen vertikaler und horizontaler Mode zu erreichen, kann der Steg auch insbesondere im Facettenbereich 12, 13 eher tief geätzt sein. In diesem Fall können dann flacher geätzte Bereiche mit einer geringeren Steghöhe als Modenfilterstruktur 6 in der Mitte des durch die
15 Facetten 12, 13, also die Strahlungsauskopplfläche 12 und die der Strahlungsauskopplfläche gegenüberliegende Seitenfläche 13, gebildeten Resonators (siehe Figur 4B) oder am Ende des Resonators an der der Strahlungsauskopplfläche 12 gegenüberliegenden Seitenfläche 13 (siehe Figur 4C)
20 angeordnet werden.

Um einen geringeren Fernfeldwinkel einzustellen und/oder um höhere Ausgangsleistungen zu ermöglichen, kann der Steg 11 im Facettenbereich, also insbesondere im Bereich der
25 Strahlungsauskopplfläche 12, flacher geätzt sein und damit eine geringere Steghöhe 110'' aufweisen, wie in Figur 4D gezeigt ist. Durch ein Vertauschen der Strahlungsauskopplfläche 12 und der der Strahlungsauskopplfläche 12 gegenüber liegenden Seitenfläche
30 13 kann dies ebenfalls für das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4C gelten.

Durch die geringere Steghöhe weitet sich die optische Mode in diesem Bereich auf. Insbesondere für höhere Moden ergeben sich dadurch zusätzliche hohe Verluste.

5 Wie in Verbindung mit den Figuren 5A bis 5D gezeigt ist, kann die Modenfilterstruktur 6 besonders bevorzugt durch eine variierende horizontale Stegbreite mit Verdickungen 61 oder Einschnürungen 62 mit einer variierenden Steghöhe 110, 110' kombiniert werden.

10

Ein geringes Aspekt-Verhältnis des abgestrahlten Laserstrahls wird durch schmale Stege nahe der Strahlungsauskeppelfläche 12 sowie eine starke Wellenführung durch eine hohe Steghöhe begünstigt. Dies kann im Mittelbereich mit einer größeren Stegbreite kombiniert werden, die durch eine geringere Steghöhe, also eine flachere Ätztiefe, weniger stark indexgeführt wird, wie in Figur 5A gezeigt ist.

Insbesondere können beispielsweise die Laserlichtquellen der Ausführungsbeispiele der Figuren 5A und 5C über die gesamte Steglänge einmodig sein, weil die starke Wellenführung in den tief geätzten Bereichen mit einer großen Steghöhe 110 durch entsprechend schmale horizontale Stegbreiten kompensiert wird. Damit ist es möglich, den Fernfeldwinkel nach Bedarf breit gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 5A oder schmal gemäß dem Ausführungsbeispiel gemäß der Figur 5C einzustellen. Unabhängig von der Stegbreite an den Facetten 12, 13, also insbesondere an der Strahlungsauskeppelfläche 12, kann weiterhin auch eine geringere Betriebsspannung durch eine größere Stegbreite in Form einer Verdickung 61 in der Mitte des Stegs 10 gemäß Figur 5A oder eine geringere Stromaufweitung durch eine Einschnürung 62 der horizontalen

Stegbreite in der Mitte gemäß dem Ausführungsbeispiel in Figur 5C erzielt werden.

Gemäß dem Ausführungsbeispiel in Figur 5B und dem
5 Ausführungsbeispiel in Figur 5D muss die jeweilige
Laserlichtquelle aber nicht über die gesamte Steglänge
monomodig sein. In diesen Ausführungsbeispielen sind
Modenfilterstrukturen 6 gemäß dem Ausführungsbeispiel in
Figur 5B mit der Folge eines breiteren Fernfeldes oder gemäß
10 dem Ausführungsbeispiel in Figur 5D mit der Folge eines
schmaleren Fernfeldes vorgesehen.

Gemäß dem Ausführungsbeispiel in Figur 6 weist der Steg 11
als Modenfilterstruktur 6 an den Stegseitenflächen 111 und
15 112 unterschiedliche Steghöhen 110 und 110' auf. Dadurch kann
durch die asymmetrischen Ätztiefen und die dadurch
entstehenden unterschiedlichen Steghöhen 110, 110' auf den
beiden Stegseitenflächen 111, 112 ein asymmetrischer
Wellenleiter erzeugt werden, der nur eine Mode führen kann.
20 Gleichzeitig wird durch die tiefere Ätzung auf der einen
Stegseitenfläche 111 des Stegs 11 mit der größeren Steghöhe
110 die Stromaufweitung auf dieser Seite reduziert, was zu
einer Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Erhaltung der
Einmodigkeit führt.

25

Zusätzlich zu den unterschiedlichen Steghöhen 110, 110' auf
den beiden Seiten des Stegs 11 können die Steghöhen auch
entlang der Stegerstreckungsrichtung AA variieren. Weiterhin
ist es auch möglich, dass beispielsweise wie in Figur 6
30 gezeigt ist, zusätzlich zu den unterschiedlichen Steghöhen
110, 110' an den beiden Stegseitenflächen 111, 112 des Stegs
11 die Stegerstreckungsrichtung AA, AA', AA'' und/oder die
horizontale oder vertikale Stegbreite variiert, wodurch eine

Kombination der beschriebenen Effekte und Vorteile erreicht werden kann.

In den bisher gezeigten Ausführungsbeispielen wird die
5 Wellenführung durch einen Brechungsindexsprung zwischen dem
Halbleitermaterial der Halbleiterschichtenfolge und der
Umgebung, die beispielsweise durch Luft oder eine in den
Ausführungsbeispielen nicht gezeigte homogene
Passivierungsschicht gebildet wird, ermöglicht. Eine
10 Variation des Brechungsindexsprungs wird dabei durch die
variierende oder unterschiedliche Steghöhe erreicht. Wie in
Verbindung mit den Figuren 7 bis 8B gezeigt ist, kann eine
derartige Variation des Brechungsindexsprungs auch durch eine
unterschiedliche Passivierung 63, 64 an den beiden
15 Stegseitenflächen 111, 112 und/oder durch eine entlang der
Stegerstreckungsrichtung AA variierende Passivierung 63, 64
erreicht werden.

Wie in Figur 7 gezeigt ist, können als Modenfilterstruktur 6
20 unterschiedliche Materialien für die Passivierungen 63, 64
auf den beiden Stegseitenflächen 111, 112 verwendet werden,
während der gewünschte Brechungsindexsprung unabhängig davon
als weiterer Teil der Modenfilterstruktur 6 durch
unterschiedliche Steghöhen 110, 110' an den Stegseitenflächen
25 111, 112 eingestellt werden kann.

Im Ausführungsbeispiel gemäß der Figur 8A ist der Steg 11 in
einem mittleren Bereich mit einem anderen Material 64
passiviert als in den facettennahen Bereichen, in denen das
30 Passivierungsmaterial 63 angeordnet ist. Wird der mittlere
Teil beispielsweise mit einem Material mit geringerem
Brechungsindex passiviert als die übrigen Bereiche entlang
der Stegerstreckungsrichtung AA des Stegs 11, so hat dies

einen Effekt wie bei einer größeren Ätztiefe und einer höheren Steghöhe in diesem Bereich. Der Übergang zwischen den Passivierungen 63 und 64 kann dabei abrupt erfolgen, wie in den Figuren 8A und 8B gezeigt ist. Alternativ dazu kann der Übergang zwischen den Passivierungen 63 und 64 besonders bevorzugt als fließender Übergang ausgewählt werden. Beispielsweise kann eine der Passivierungen 63, 64 eine sich verringernde Höhe aufweisen, während die darüber liegende weitere Passivierung 64 oder 63 eine größer werdende Höhe aufweist.

Besonders vorteilhaft ist eine Kombination der Ausbildung verschiedener Steghöhen mit der Verwendung unterschiedlicher Passivierungsmaterialien und/oder unterschiedlicher absorbierender Materialien entlang des Stegs 11. Beim Steg 11 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 8B, bei dem die Passivierung 64 in dem tiefer geätzten Bereich mit der größeren Steghöhe 110' anders gewählt ist als im übrigen Bereich, ermöglicht dies mit Vorteil beispielsweise ein absorbierendes Material selektiv entlang des Stegs 11 zu platzieren, ohne dabei die Modenführung zu verändern. Wird beispielsweise im mittleren Bereich ein stärker absorbierendes Material 64 verwendet, so können höhere Moden gedämpft werden, weil dann dieses Material auch einen höheren Brechungsindex aufweist. Als derartiges Material für die Passivierung 64 kann beispielsweise nicht stöchiometrisches, siliziumreiches SiO_2 oder SiN verwendet werden, während entsprechendes stöchiometrisches SiO_2 oder SiN als Passivierung 63 verwendet wird. Um den Brechungsindexsprung entlang des Stegs 11 konstant zu halten, wird der mit dem höher brechenden Material 64 passivierte Bereich entsprechend tiefer geätzt.

Eine Kombination der Modenfilterstrukturen 6 der Ausführungsbeispiele gemäß den Figuren 6 bis 8 kann es ermöglichen, das Modenprofil optimal auf eine hohe Effizienz, gewünschte Fernfeldbreite und Einmodigkeit einzustellen.

5

In den Figuren 9A bis 10C sind Verfahren zur Herstellung von Laserlichtquellen gemäß weiteren Ausführungsbeispielen gezeigt, die als Modenfilterstruktur 6 jeweils eine variierende vertikale Stegbreite 113, 113' aufweisen. Die Darstellungen entsprechen dabei einem Schnitt durch die Laserlichtquelle beziehungsweise die Halbleiterschichtenfolge 10 gemäß der Schnittebene BB in Figur 1A.

In beiden Verfahren wird gemäß den Figuren 9A und 10A eine Halbleiterschichtenfolge 10 bereitgestellt, in der der Übersichtlichkeit halber lediglich die aktive Schicht 40 gezeigt ist. Auf der Halbleiterschichtenfolge 10 wird eine Hartmaske 7 als Ätzmaske aufgebracht, die im anschließenden Ätzschritt gemäß der Figuren 9B und 10B die Stegbreite sowie auch den Verlauf des Stegs, beispielsweise mit einer variierenden oder einer geradlinigen Stegerstreckungsrichtung, definiert. Das Ätzen des Steges 11 erfolgt dabei mittels eines trockenchemischen Ätzverfahrens.

Im Ausführungsbeispiel gemäß der Figuren 9A bis 9C wird zur Herstellung des Stegs durch die aktive Schicht 40 hindurch geätzt, sodass diese einen Teil des Stegs 11 bildet und Seitenflächen der aktiven Schicht 40 Teile der Seitenflächen des Steges 11 bilden. Die aktive Schicht 40 weist dabei im gezeigten Ausführungsbeispiel InGaN auf. Dieses wird in einem weiteren Verfahrensschritt gemäß Figur 9C mittels eines nasschemischen Ätzprozesses seitlich unterätzt, sodass der Steg 11 im Bereich der aktiven Schicht 40 eine geringere

vertikale Stegbreite 113' im Vergleich zur vertikalen Stegbreite 113 der übrigen Bereiche des Stegs 111 aufweist. Damit weist die vertikale Stegbreite 113, 113' im Bereich der aktiven Schicht 40 und damit im aktiven Bereich eine
5 Einschnürung 62 auf.

Im Ausführungsbeispiel gemäß der Figuren 10A bis 10C wird der Steg 11 mit einer im Vergleich zum Ausführungsbeispiel der Figuren 9A bis 9C geringeren Steghöhe hergestellt, sodass die
10 aktive Schicht 40 nicht durch den Steg 11 freigelegt wird. Über der aktiven Schicht 40 ist eine funktionale Schicht 46 in der Halbleiterschichtenfolge 10 vorhanden, die zumindest eine InGaN-Schicht oder auch mehrere InGaN-Schichten aufweist, die einen gleichen oder, wie im vorliegenden
15 Ausführungsbeispiel, unterschiedlichen In-Gehalt aufweisen. Durch einen nasschemischen Ätzschritt gemäß Figur 10C wird die Schicht 46 seitlich unterätzt. Durch die unterschiedlichen In-Gehalte der Schichten der funktionalen Schicht 46 ergeben sich unterschiedliche Ätzraten, wodurch
20 der Steg 11 mit einem Unterschnitt und damit mit einer sich zur aktiven Schicht 40 hin verzüngenden vertikalen Stegbreite 113, 113' in Form einer Einschnürung 62 ausbildet.

Anschließend an die in den Figuren 9C und 10C gezeigten
25 nasschemischen Ätzschritte wird in beiden Verfahren die Hartmaske 7 entfernt. Auf dem Steg 11 wird anschließend eine Elektrode (nicht gezeigt) aufgebracht. Weiterhin ist es auch möglich, dass neben dem jeweils hergestellten Steg 11 eine Passivierung, beispielsweise auch eine variierende
30 Passivierung gemäß den vorangegangenen Ausführungsbeispielen, angeordnet wird.

Durch die Verbindung mit den Figuren 9A bis 10C gezeigten Verfahren ist es möglich, Strom- beziehungsweise Modenblenden als Modenfilterstruktur 6 durch eine Kombination von nasschemischen und trockenchemischen Ätzverfahren

5 herzustellen. Dadurch, dass in beiden Ausführungsbeispielen ein oberer Teil des Steges breiter ist als ein für die Wellenführung relevanterer unterer Teil, kann eine größere Kontaktfläche zu einer Elektrode, die auf dem Steg aufgebracht wird (nicht gezeigt), erzeugt werden. Dadurch

10 kann die Betriebsspannung der Laserlichtquellen verringert werden, wodurch die Effizienz steigt. Dies kann insbesondere für Laserlichtquellen mit Halbleiterschichtenfolgen 10 basierend auf einem GaN-Materialsystem von großer Bedeutung sein, da bei diesem Materialsystem die Kontaktwiderstände,

15 insbesondere p-dotierten Schichten, vergleichsweise hoch sind.

In den Figuren 11A bis 14B werden Verfahren zur Herstellung von Laserlichtquellen mit Modenfilterstrukturen 6 gezeigt,

20 bei denen die Modenfilterstrukturen 6 durch Modifikationen der Halbleiterschichtenmaterialien oder -abfolge der Halbleiterschichtenfolge 10 erzeugt werden.

Im Ausführungsbeispiel gemäß der Figuren 11A bis 11C wird wie

25 in den vorangegangenen Ausführungsbeispielen gemäß der Figuren 9A bis 10C eine Halbleiterschichtenfolge 10 bereitgestellt, die zusätzlich eine funktionale Schicht 47 über der aktiven Schicht 40 aufweist, die aluminiumhaltig ist. Nach der Herstellung des Stegs 11 durch ein

30 trockenchemisches Ätzverfahren in dem Verfahrensschritt gemäß Figur 11B, bei der die funktionale Schicht 47 als Teil des Stegs 11 freigelegt wird, werden in einem weiteren Verfahrensschritt durch einen Oxidierungsschritt die

freigelegten Seitenflächen der funktionalen Schicht 47 oxidiert, sodass die funktionale Schicht 47 an den Seitenflächen des Stegs 11 eine Oxidierung 471 aufweist, die als Modenfilterstruktur 6 und damit als Strom- oder
5 Modenblende dient.

In Verbindung mit den Figuren 12A bis 12C ist ein Verfahren zur Herstellung einer Laserlichtquelle gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel gezeigt, bei dem nach dem Bereitstellen
10 der Halbleiterschichtenfolge 10, dem Aufbringen der Hartmaske 7 (Figur 12A) und dem trockenchemischen Ätzen zur Ausbildung des Stegs 11 (Figur 12B) durch Implantation oder einen thermischen Prozess wie beispielsweise Diffusion in den Bereich der Halbleiterschichtenfolge 10 neben dem Steg 11
15 sowie zumindest teilweise auch unterhalb des Stegs 11 ein Material 65 eingebracht wird, das die Leitfähigkeit des Halbleitermaterials ändert und/oder Licht absorbierend ist. Dadurch kann mittels des eingebrachten Materials 65 eine Modenfilterstruktur 6 erzeugt werden, die als Strom- und/oder
20 Modenblende dient. Beispielsweise kann als Material 65 Silizium als Dotierstoff eingebracht werden, der die Leitfähigkeit der im gezeigten Ausführungsbeispiel oberhalb der aktiven Schicht ausgebildeten p-dotierten Halbleiterschichten ändern kann. Alternativ dazu kann
25 beispielsweise auch Wasserstoff eingebracht werden, um einen elektrisch isolierenden Bereich zu erzeugen. Durch Einbringen eines Licht absorbierenden Materials wie beispielsweise Germanium können optische Eigenschaften des modifizierten Bereichs der Halbleiterschichtenfolge 10 geändert werden.

30

Während gemäß dem Ausführungsbeispiel in Figur 12C das Material in einen Bereich oberhalb der aktiven Schicht 40 angebracht wird, ist es auch möglich, das Material 65 bis zur

aktiven Schicht oder sogar bis unterhalb der aktiven Schicht einzubringen, wie im Ausführungsbeispiel der Figur 12D gezeigt ist.

5 In den Figuren 13A bis 14B sind weitere Ausführungsbeispiele gezeigt, bei denen die Modenfilterstruktur 6 in der Halbleiterschichtenfolge 10 mittels Schädigung des Halbleitermaterials der Halbleiterschichtenfolge 10 in bestimmten Bereichen erzeugt wird.

10

Im Ausführungsbeispiel der Figuren 13A und 13B wird eine Halbleiterschichtenfolge 10 bereitgestellt, in der mit Hilfe eines Kurzpulslaserstrahls das Halbleitermaterial nachhaltig geschädigt, in dem Material verdampft wird. Ein derartiges
15 Verfahren kann auch als „stealth dicing“ bezeichnet werden. Insbesondere bei Verwendung eines Gruppe-III-V-Verbindungshalbleitermaterials, beispielsweise einem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial wie beispielsweise InGaN, kann durch einen fokussierten Laserstrahl insbesondere die Gruppe-
20 V-Komponente zumindest teilweise verdampft werden, wodurch eine geschädigte Struktur 66 erzeugt wird. Die Schädigung beziehungsweise die Erzeugung der geschädigten Struktur 66 kann dabei wie in Figur 13A gezeigt oberhalb der aktiven Schicht 40, im gezeigten Ausführungsbeispiel in einem p-dotierten Bereich, erfolgen. In einem weiteren
25 Verfahrensschritt gemäß Figur 13B wird der Steg 11 durch trockenchemisches Ätzen hergestellt, wobei die geschädigte Struktur 66 neben dem Steg 11 freigelegt wird.

30 Im Ausführungsbeispiel gemäß der Figuren 14A und 14B wird unterhalb der aktiven Schicht 40, im gezeigten Ausführungsbeispiel in einem n-dotierten Bereich der Halbleiterschichtenfolge 10, die geschädigte Struktur 66 als

Modenfilterstruktur 6 hergestellt. Dies kann, wie in den Figuren 14A und 14B gezeigt, nach dem Herstellen des Stegs erfolgen. Alternativ dazu können die Bereiche mit der geschädigten Struktur 66 auch vor dem Herstellen des Stegs 11 erzeugt werden.

Weiterhin ist es auch möglich, dass die geschädigte Struktur 66 bis in die aktive Schicht 40 hineinragt, entweder von der Seite oberhalb der aktiven Schicht 40 oder auch von Bereichen unterhalb der aktiven Schicht 40. Weiterhin ist es auch möglich, dass geschädigte Strukturen 66 oberhalb und unterhalb sowie weiterhin auch zusätzlich in der aktiven Schicht 40 erzeugt werden.

Zusätzlich zu den in Verbindung mit den Ausführungsbeispielen der Figuren gezeigten Modenfilterstrukturen können neben oder im Stegbereich noch weitere Ätzstrukturen vorhanden sein, die beispielsweise zusätzliche absorbierende Materialien enthalten können, um höhere Moden noch stärker zu unterdrücken.

In den Figuren 15A bis 15G sind weitere Ausführungsbeispiele für Laserlichtquellen mit Modenfilterstrukturen 6 gezeigt, die zusätzlich als Streulichtfilter wirken. Das Streulicht kann beispielsweise inkohärentes Licht, das zusätzlich zur kohärenten Grundmode im aktiven Bereich erzeugt wird, aufweisen. Das Streulicht kann weiterhin auch höhere Moden aufweisen, die beispielsweise getrieben durch das inkohärente Streulicht im Resonator anschwingen und geführt werden können. Durch eine Verringerung des Streulichts durch die als Streulichtfilter wirkenden Modenfilterstrukturen 6 können somit auch diese höheren Moden unterdrückt werden. Zusätzlich weisen die gezeigten Modenfilterstrukturen 6 in Verbindung

mit den vorherigen Ausführungsbeispielen beschriebene Merkmale auf, auf die im Folgenden daher nicht weiter eingegangen wird. Insbesondere können die in den vorherigen Ausführungsbeispielen gezeigten Modenfilterstrukturen 6
5 zusätzlich noch die in den Figuren 15A bis 15G gezeigten Streulichtfilterstrukturen 67 aufweisen.

Zumindest einige der vorab beschriebenen Laserlichtquellen mit Modenfilterstrukturen 6 basieren darauf, dass höhere
10 Moden größere Verluste erfahren als die Grundmode und dadurch gedämpft werden. Diese Verluste können beispielsweise Streuverluste sein. Das kann bedeuten, dass Streulicht in den wellenleitenden Schichten der Halbleiterschichtenfolge 10 neben dem Steg 11 geführt wird und schließlich an der
15 Strahlungsauskopplungsfläche 12 austritt, was zu Störungen im Fernfeld führt. Die Modenfilterstrukturen 6 gemäß den Ausführungsbeispielen in den Figuren 15A bis 15G weisen daher zusätzliche als Streulichtfilter wirkende Strukturen 67 neben dem Steg 11 auf. In Figur 15A ist dabei eine beispielhafte
20 Schnittdarstellung durch eine Laserlichtquelle im Bereich der Streulichtfilterstruktur 67 gezeigt, während die Figuren 15B bis 15G Aufsichten auf die Halbleiterschichtenfolge 10 und den Steg 11 zeigen.

25 Diese Streulichtfilterstruktur 67 kann sich, wie in den Figuren 15B bis 15G gezeigt ist, an verschiedenen Positionen entlang des Stegs 11 befinden, wird aber bevorzugt nahe der Strahlungsauskopplungsfläche 12 angeordnet. Dabei weist die Streulichtfilterstruktur 67 beispielsweise einen Abstand von
30 weniger als 300 μm , bevorzugt von weniger als 100 μm und besonders bevorzugt von weniger als 50 μm von der Strahlungsauskopplungsfläche 12 auf.

Die Streulichtfilterstruktur 67 kann beispielsweise eine Vertiefung, beispielsweise ein Ätzgraben, aufweisen oder sein, wie in Figur 15A gezeigt ist, der bis in die wellenleitenden Schichten der Halbleiterschichtenfolge 10 hinein und besonders bevorzugt durch die aktive Schicht 40 hindurch und besonders bevorzugt bis in eine unterhalb der aktiven Schicht 40 liegenden Mantelschicht, beispielsweise eine n-dotierte Mantelschicht, hinein ragt beziehungsweise hinein geätzt ist. Bevorzugte Tiefen betragen zwischen 1 nm und 10000 nm und besonders bevorzugt zwischen 100 nm und 2000nm tiefer als die aktive Schicht 40, wobei die Grenzen jeweils eingeschlossen sind.

Die Streulichtfilterstrukturen 67 weisen einen Abstand 114 von 0 μm bis 20 μm , bevorzugt von 0 μm bis 6 μm und besonders bevorzugt von 1 μm bis 3 μm vom Steg 11 auf. Die Länge 115 der Streulichtfilterstruktur 67 beträgt zwischen 0,1 μm und 500 μm , bevorzugt zwischen 1 μm und 100 μm und besonders bevorzugt zwischen 3 μm und 30 μm , wobei die Grenzen jeweils eingeschlossen sind. Die Streulichtfilterstrukturen 67 sind zumindest auf einer Seite, bevorzugt aber auf beiden Seiten des Stegs 11 angeordnet und verschiedene Formen haben, von denen einige rein beispielhaft in den Figuren 15B bis 15G gezeigt sind. Bevorzugt sind die Streulichtfilterstrukturen 67 so ausgebildet, dass Streulicht vom Steg weggestreut oder absorbiert wird. Die Streulichtfilterstrukturen 67 können dazu bevorzugt von einer Passivierungsschicht bedeckt und/oder mit absorbierenden Materialien gefüllt sein.

Die in den einzelnen Figuren gezeigten Ausführungsbeispiele für Laserlichtquellen mit Modenfilterstrukturen können insbesondere auch miteinander kombiniert werden. Besonders bevorzugte Kombinationen von Modenfilterstrukturen können

eine unterschiedliche Stegbreite, also eine variierende horizontale und/oder vertikale Stegbreite, in Kombination mit einer variierenden Steghöhe und/oder in Kombination mit einer variierenden Passivierung entlang des Stegs und/oder eine
5 Kombination der letztgenannten beiden Merkmale sein.
Weiterhin kann besonders vorteilhaft eine Kombination zumindest eines der genannten Merkmale für die Modenfilterstruktur mit einer gekrümmten Stegerstreckungsrichtung sein. Die genannten Merkmale, also
10 insbesondere zumindest eines oder mehrere der genannten Merkmale für die Modenfilterstruktur, können auch besonders vorteilhaft in Kombination mit oxidierten Teilbereichen zumindest einer Stegseitenfläche und/oder mit in die an den Steg angrenzende funktionale Schicht eingebrachten
15 Materialien und/oder mit geschädigten Bereichen zumindest einer funktionalen Schicht sein. Durch die Kombinationen der verschiedenen Ausführungsbeispiele und Merkmale der Modenfilterstruktur können die Vorteile der einzelnen Varianten miteinander kombiniert werden, während Nachteile,
20 die die einzelnen Varianten haben können, durch eben solche Kombinationen und andere zusätzliche Merkmale der Modenfilterstruktur kompensiert werden können.

Dadurch kann es möglich sein, dass durch die
25 unterschiedlichen Designs und technologischen Realisierungsmöglichkeiten der Modenfilterstruktur die Ausgangsleistung im optischen Monomodens-Betrieb gesteigert werden kann, ohne dass andere Laserparameter in unerwünschter Weise beeinträchtigt würden.

30

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von

Merkmale, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Laserlichtquelle mit einer Stegwellenleiterstruktur,
aufweisend
5 eine Halbleiterschichtenfolge (10) mit einer Mehrzahl
von funktionalen Schichten (4) und einem aktiven Bereich
(45), der geeignet ist, im Betrieb Laserlicht zu
erzeugen,
wobei zumindest eine der funktionalen Schichten (4) als
10 Steg (11) der Stegwellenleiterstruktur ausgebildet ist
und
wobei die Halbleiterschichtenfolge (10) eine
Modenfilterstruktur (6) aufweist, die als Teil des Stegs
(11) und/oder entlang einer Haupterstreckungsebene der
15 funktionalen Schichten (4) neben dem Steg (11) und/oder
senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene der
funktionalen Schichten (4) unterhalb des Stegs (11)
ausgebildet ist.
- 20 2. Laserlichtquelle nach dem vorherigen Anspruch, wobei der
Steg (11) als Modenfilterstruktur (6) eine variierende
Steghöhe (110, 110', 110'') senkrecht zur
Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten (4)
aufweist.
- 25 3. Laserlichtquelle nach Anspruch 2, wobei die Steghöhe
(110, 110', 110'') entlang einer
Stegerstreckungsrichtung (AA) variiert.
- 30 4. Laserlichtquelle nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Steg
(11) durch zwei entlang der Stegerstreckungsrichtung
(AA) verlaufende Stegseitenflächen (111, 112) begrenzt
ist und die Stegseitenflächen (111, 112) zumindest

teilweise unterschiedliche Steghöhen (110, 110')
aufweisen.

5. Laserlichtquelle nach einem der vorherigen Ansprüche,
5 wobei neben dem Steg (11) als Modenfilterstruktur (6)
eine Passivierung (63, 64) angeordnet ist, die entlang
einer Stegerstreckungsrichtung (AA) variiert.
6. Laserlichtquelle nach Anspruch 5, wobei der Steg (11)
10 durch zwei entlang der Stegerstreckungsrichtung (AA)
verlaufende Stegseitenflächen (111, 112) begrenzt ist
und neben dem Steg (11) als Modenfilterstruktur (6) an
den zwei Stegflächenseiten (111, 112) unterschiedliche
Passivierungen (63, 64) angeordnet sind.
- 15 7. Laserlichtquelle nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Steg (11) durch zwei entlang der
Stegerstreckungsrichtung (AA) verlaufende
Stegseitenflächen begrenzt ist und als
20 Modenfilterstruktur (6) eine Oxidierung (471) zumindest
eines Teilbereichs einer Stegseitenfläche aufweist.
8. Laserlichtquelle nach Anspruch 7, wobei der Steg (11)
eine Aluminium enthaltende funktionale Schicht (47)
25 aufweist, die an zumindest einer Seitenfläche oxidiert
ist.
9. Laserlichtquelle nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Halbleiterschichtenfolge (10) zumindest eine
30 funktionale Schicht als Modenfilterstruktur (6)
aufweist, die neben dem Steg (11) und/oder unterhalb des
Stegs (11) zumindest teilweise eine geschädigte Struktur
(66) aufweist.

10. Laserlichtquelle nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Steg (11) an eine funktionale Schicht der
Halbleiterschichtenfolge (10) angrenzt, die als
5 Modenfilterstruktur (6) ein die Leitfähigkeit änderndes
und/oder Licht absorbierendes Material (65) aufweist.
11. Laserlichtquelle nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Steg (11) als Modenfilterstruktur (6) parallel
10 zur Haupterstreckungsebene der funktionalen Schichten
(4) und senkrecht zu einer Stegerstreckungsrichtung (AA)
eine variierende horizontale Stegbreite (113, 113',
113'') und/oder senkrecht zur Haupterstreckungsebene der
funktionalen Schichten (4) und senkrecht zur
15 Stegerstreckungsrichtung (AA) eine variierende vertikale
Stegbreite (113, 113') aufweist.
12. Laserlichtquelle nach Anspruch 11, wobei die horizontale
Stegbreite (113, 113', 113'') zumindest eine Verdickung
20 (61) und/oder Einschnürung (62) aufweist.
13. Laserlichtquelle nach Anspruch 11 oder 12, wobei die
vertikale Stegbreite (113, 113') eine Einschnürung (62),
insbesondere eine Einschnürung (62) des aktiven Bereichs
25 (45), aufweist.
14. Laserlichtquelle nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Modenfilterstruktur (6) neben dem Steg (11)
zumindest eine Streulichtfilterstruktur (67) aufweist,
30 die eine Vertiefung in der Halbleiterschichtenfolge (10)
aufweist.

15. Laserlichtquelle nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Steg (11) als Modenfilterstruktur (6) eine gekrümmte Stegerstreckungsrichtung (AA, AA', AA'') aufweist.

FIG 1A

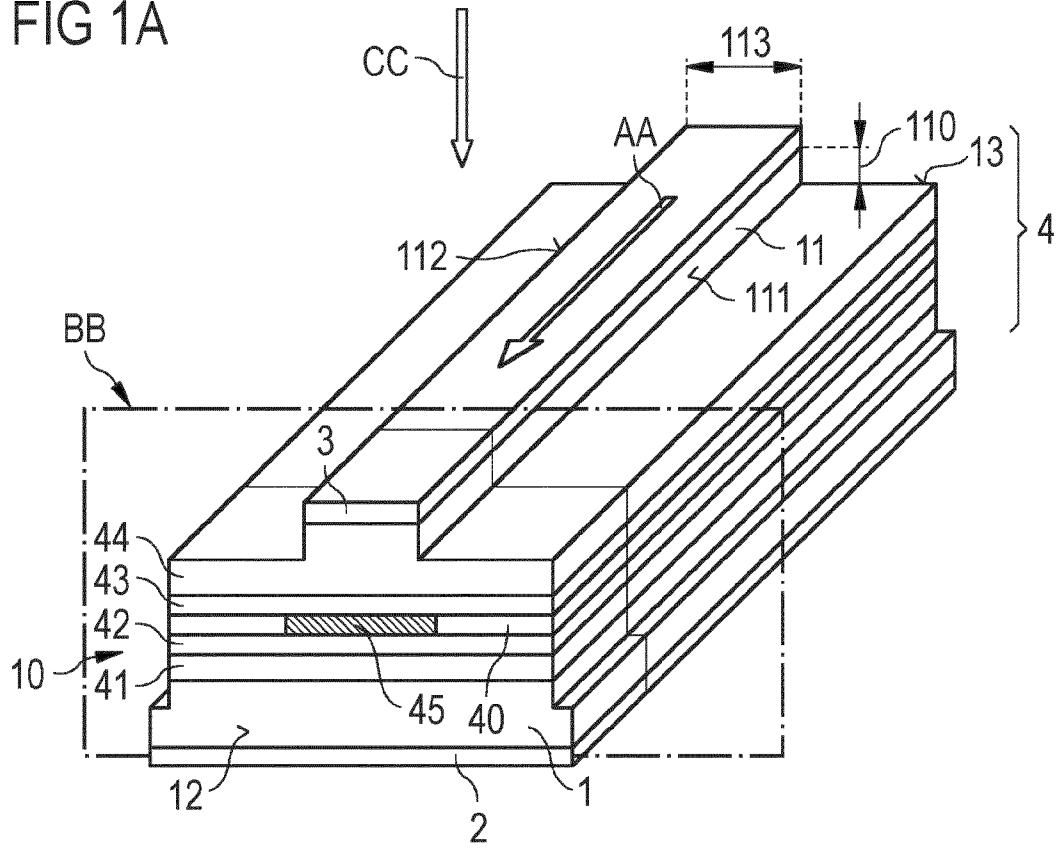


FIG 1B

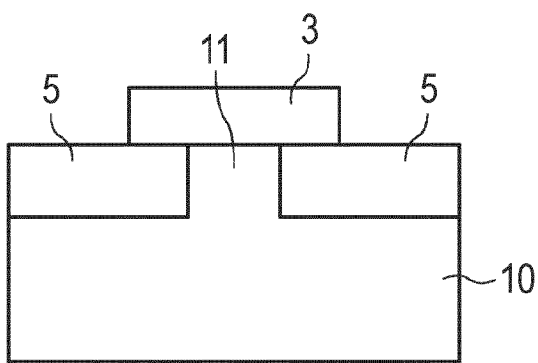


FIG 1C

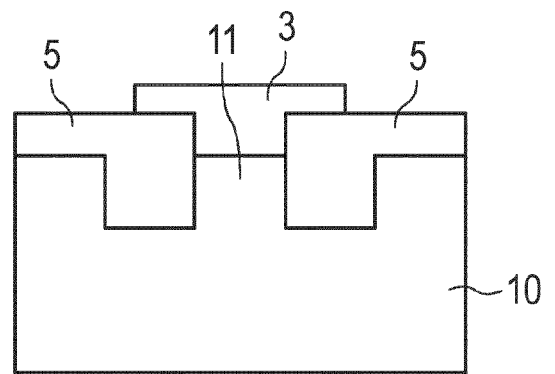


FIG 2A

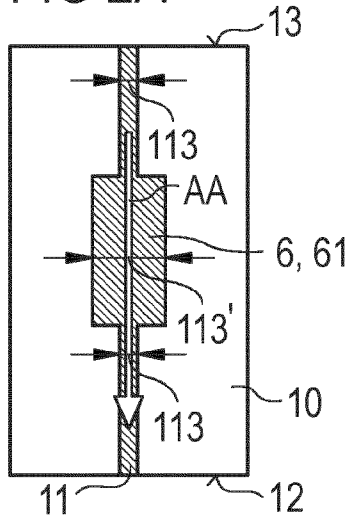


FIG 2B

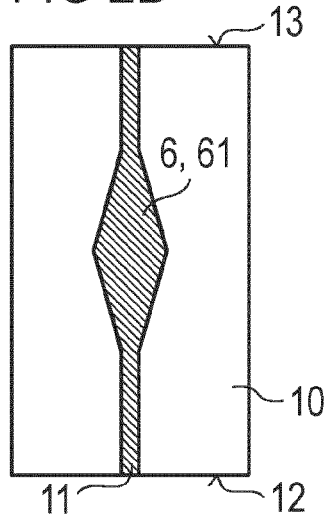


FIG 2C

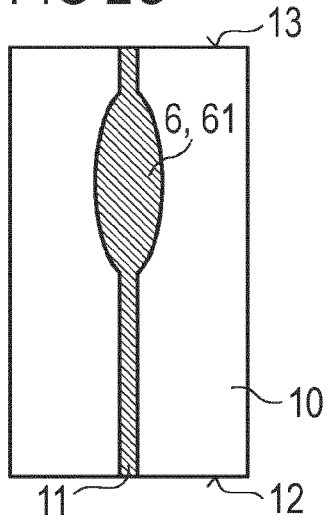


FIG 2D

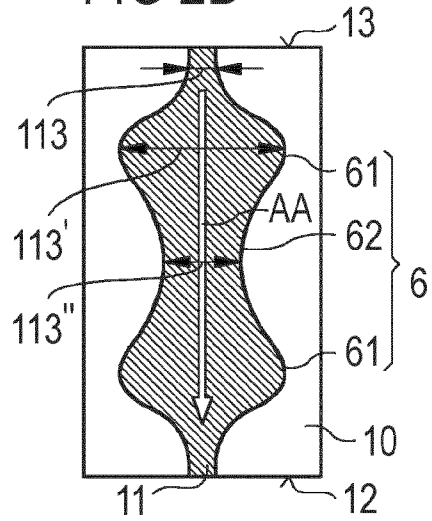


FIG 2E

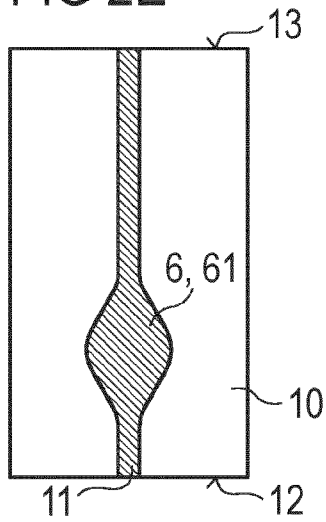


FIG 2F

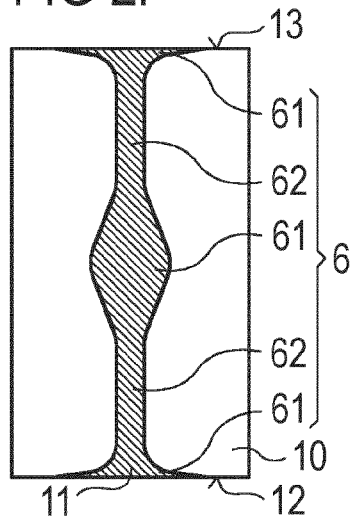


FIG 2G

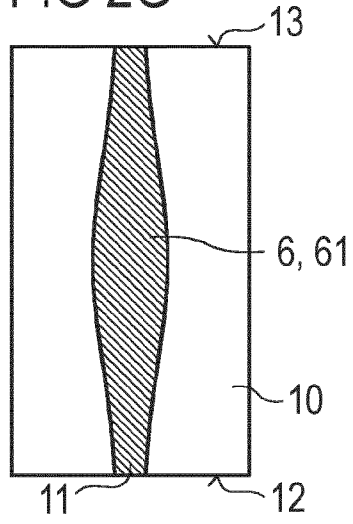


FIG 2H

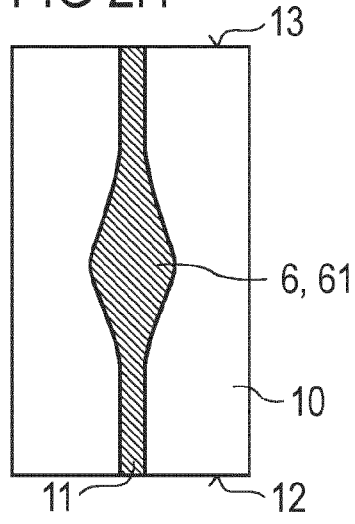


FIG 2I

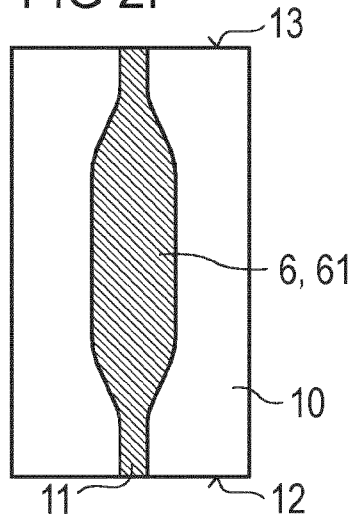


FIG 2J

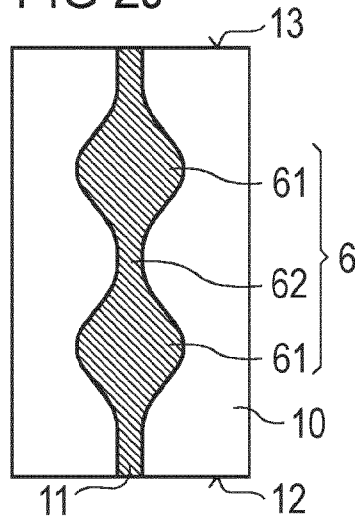


FIG 2K

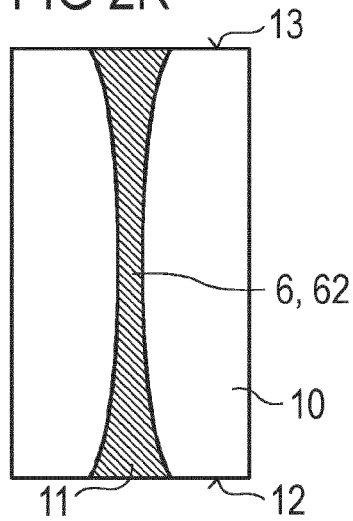


FIG 2L

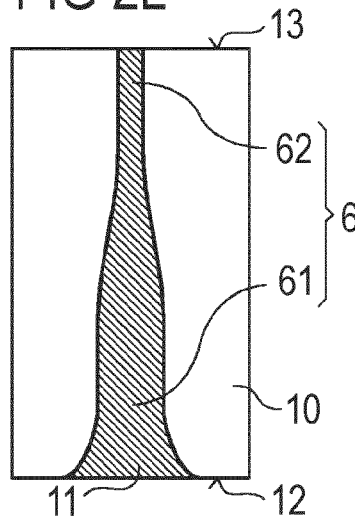


FIG 2M

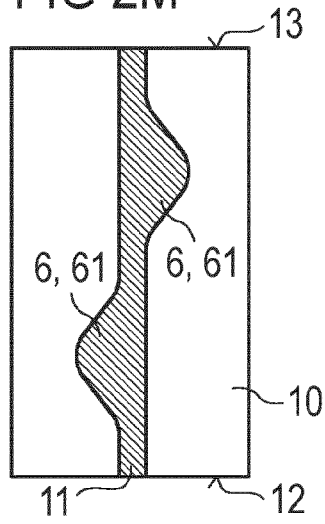


FIG 2N

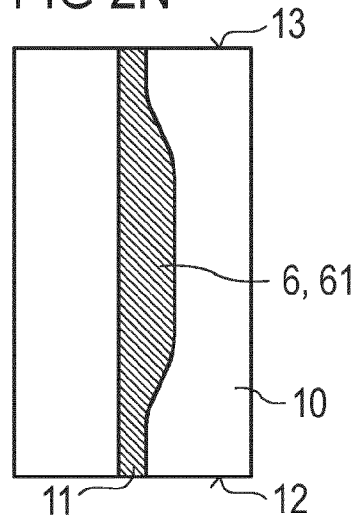


FIG 3A

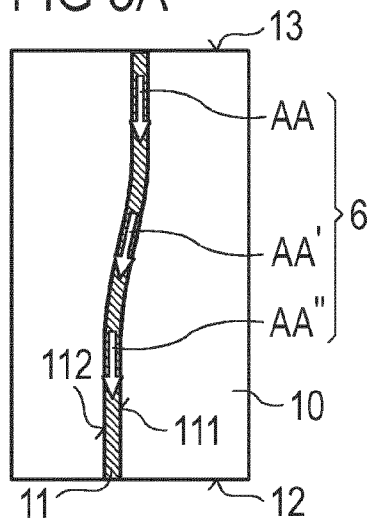


FIG 3B

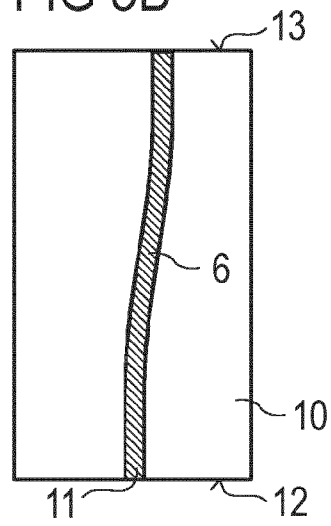


FIG 3C

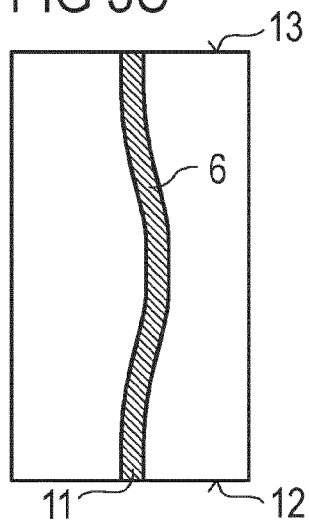


FIG 3D

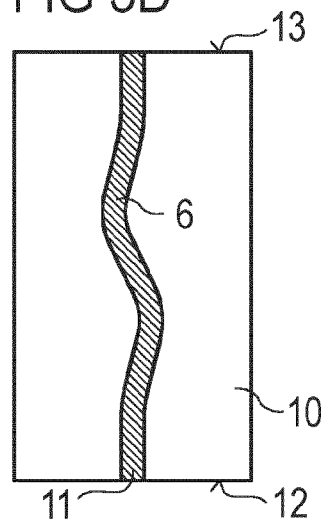


FIG 3E

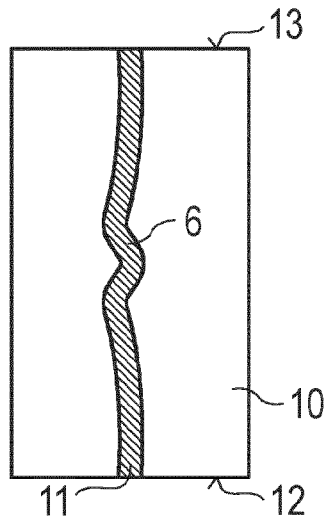


FIG 3F

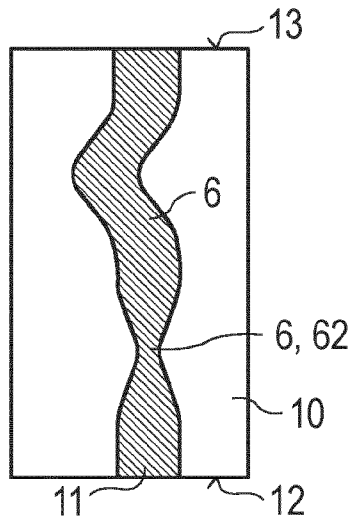


FIG 3G

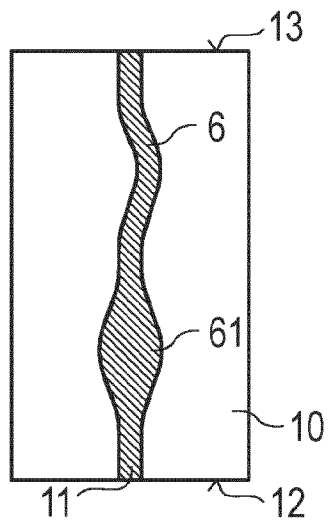


FIG 3H

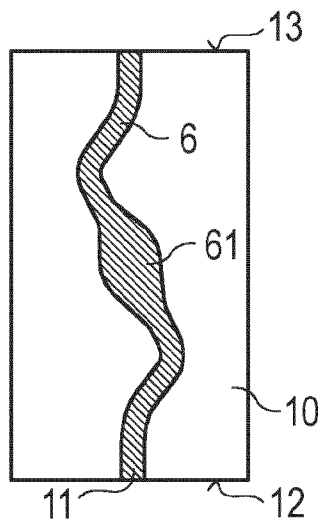


FIG 3I

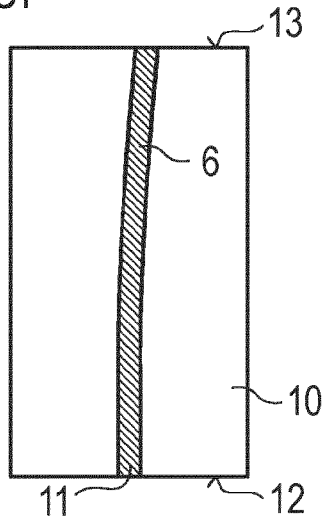


FIG 3J

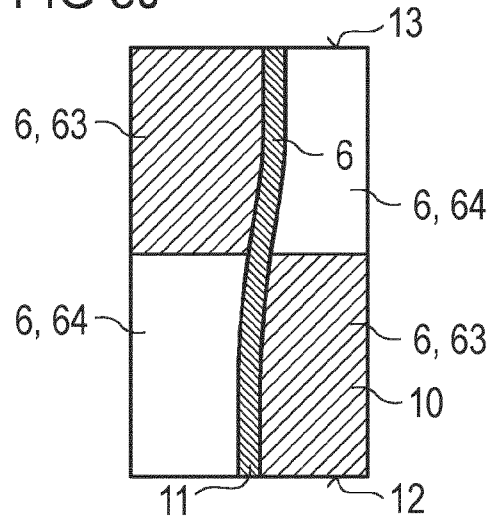


FIG 3K

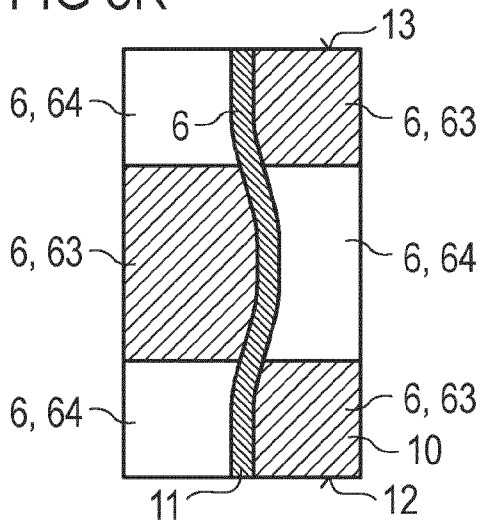


FIG 3L

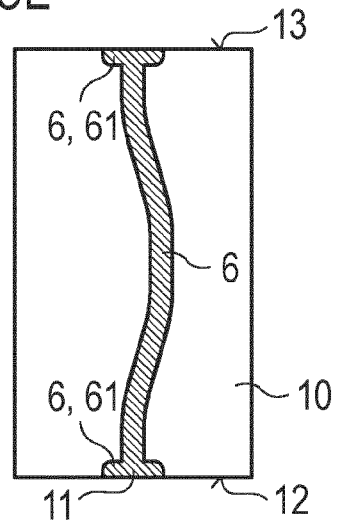


FIG 3M

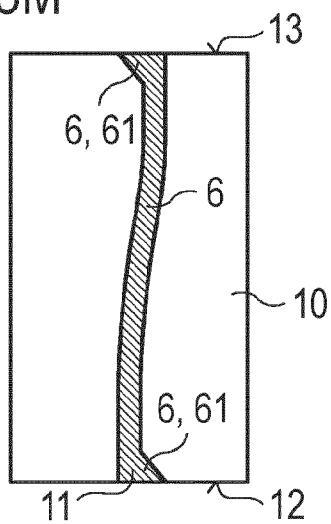


FIG 4A

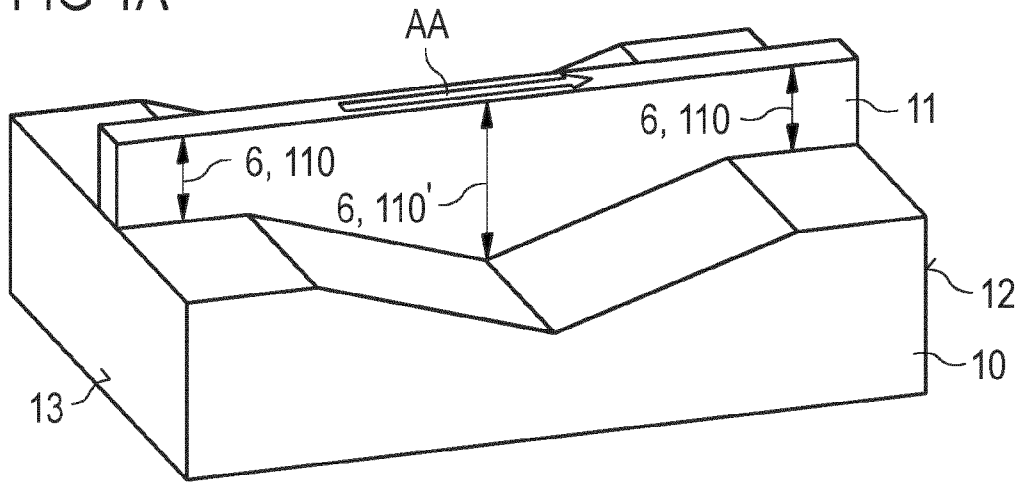


FIG 4B

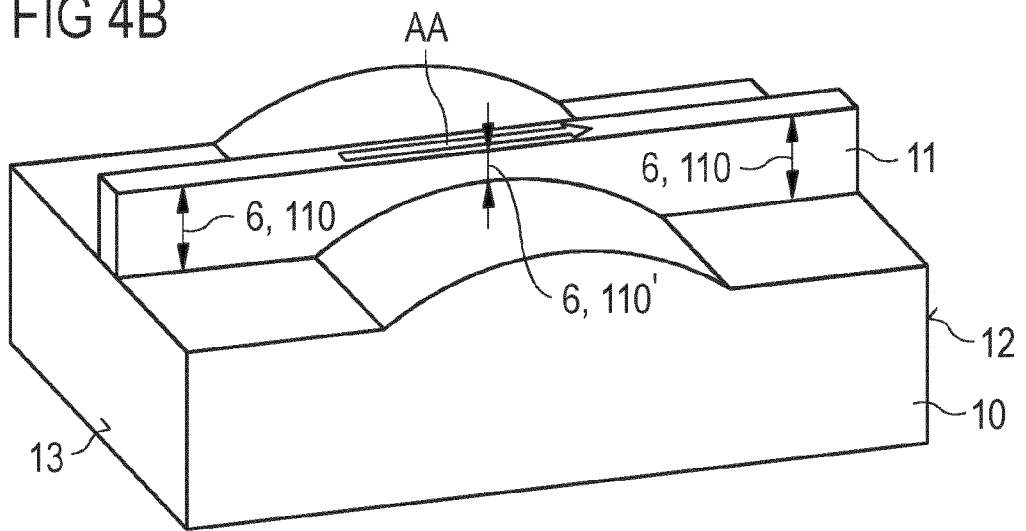


FIG 4C

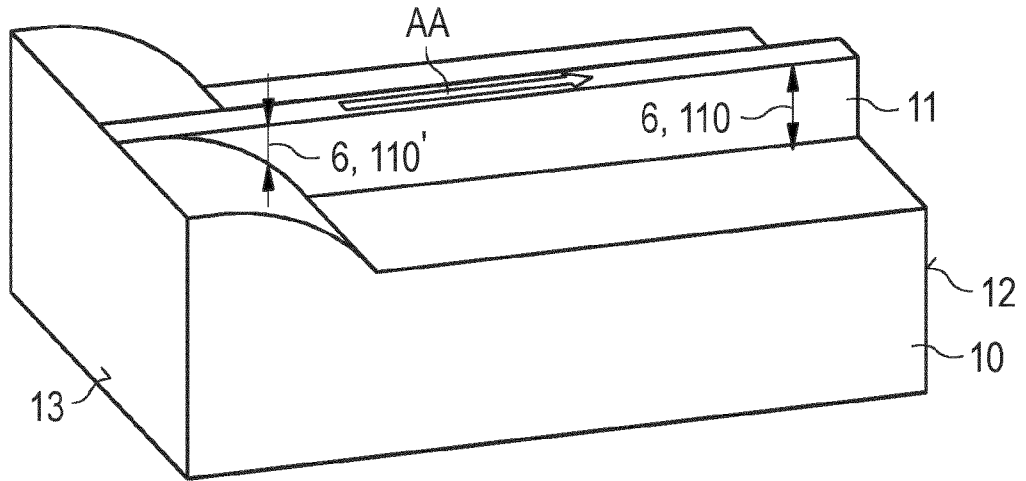


FIG 4D

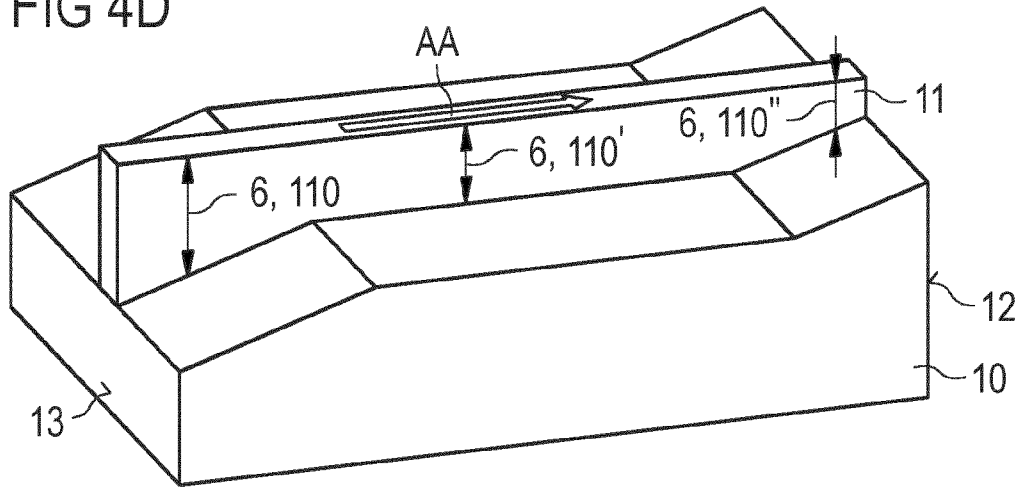


FIG 5A

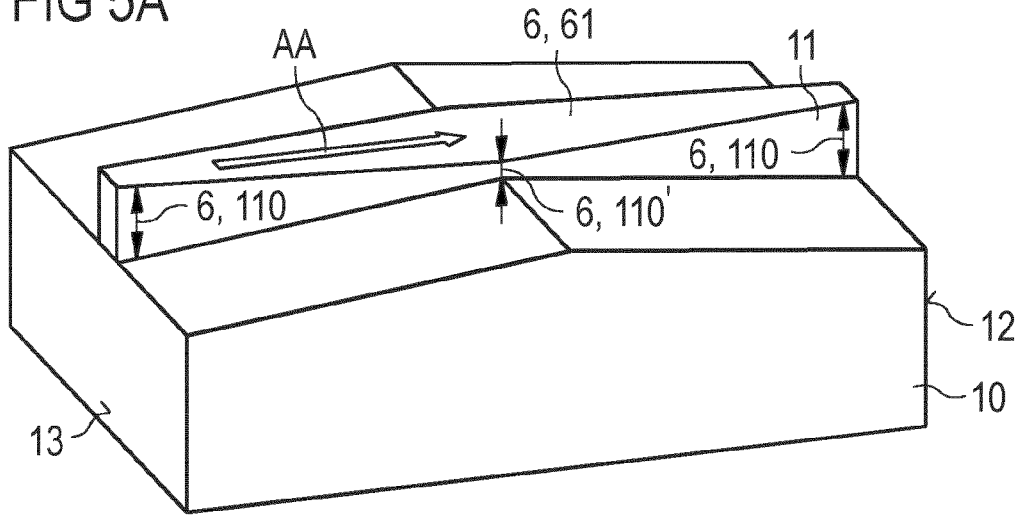


FIG 5B

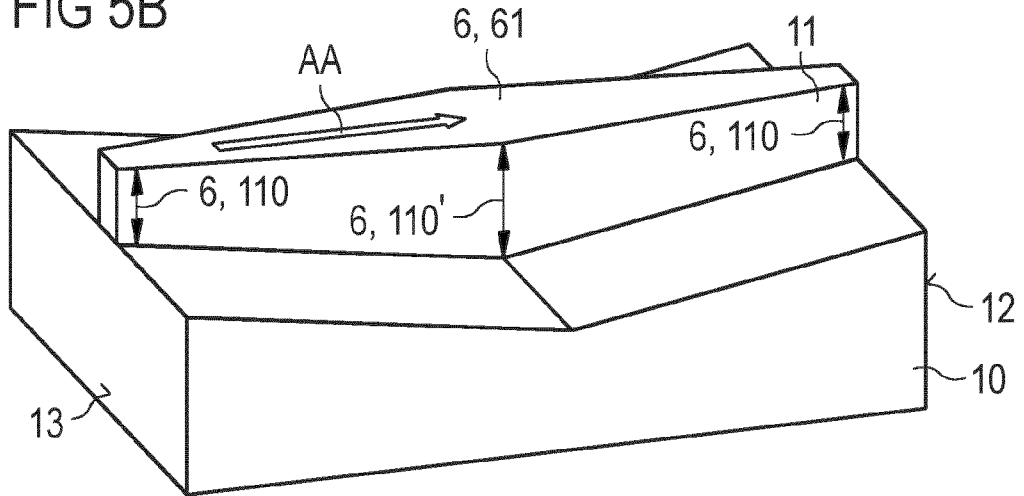


FIG 5C

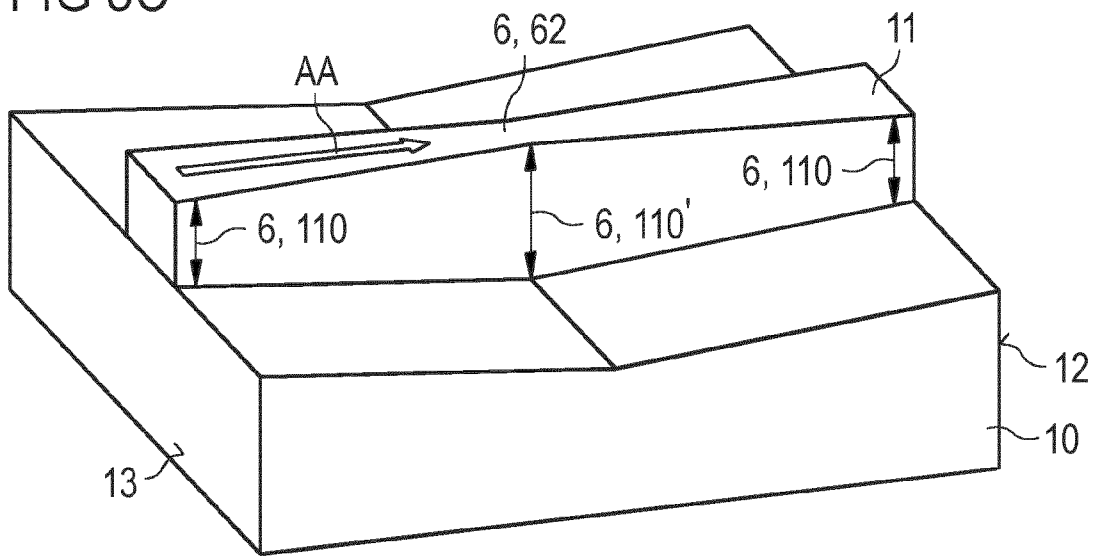


FIG 5D

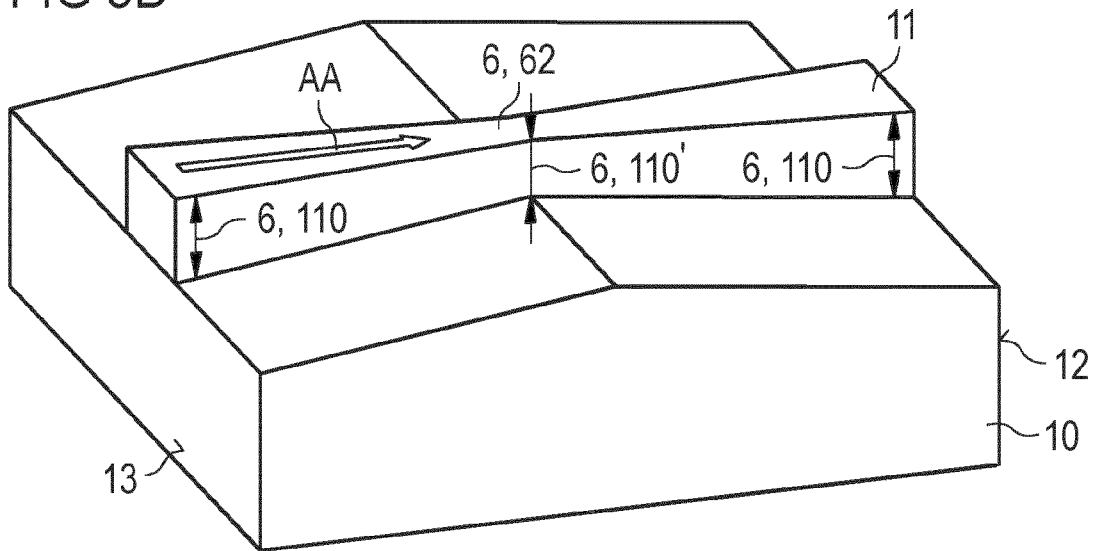


FIG 6

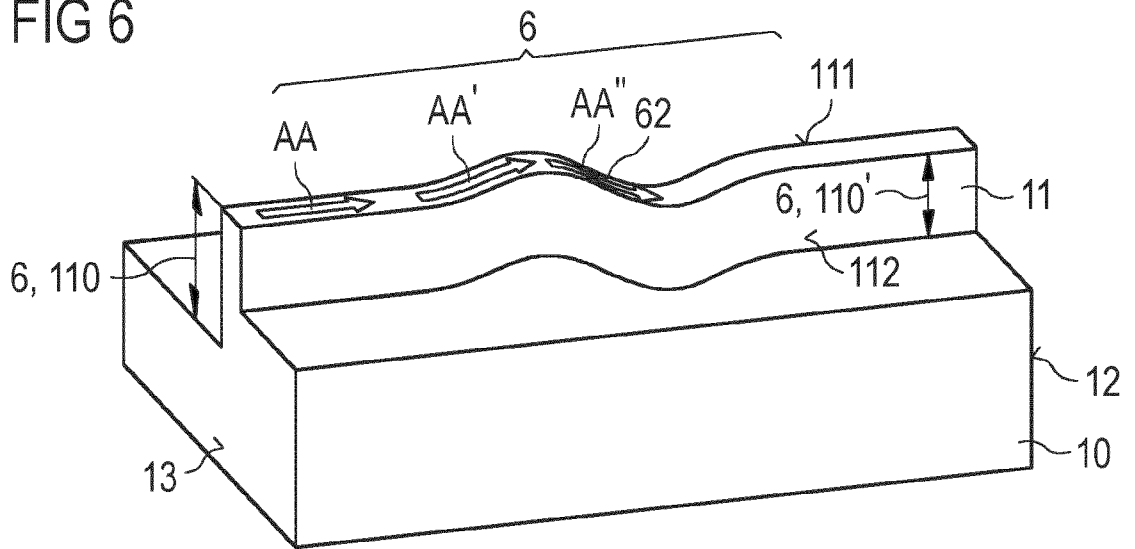


FIG 7

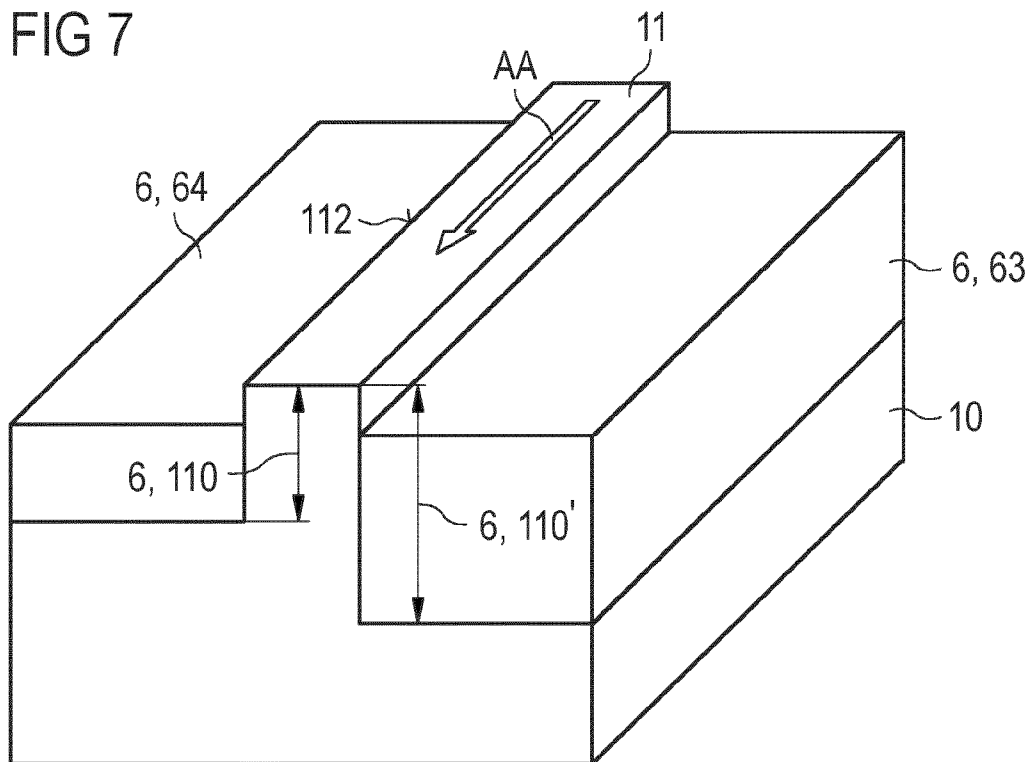


FIG 8A

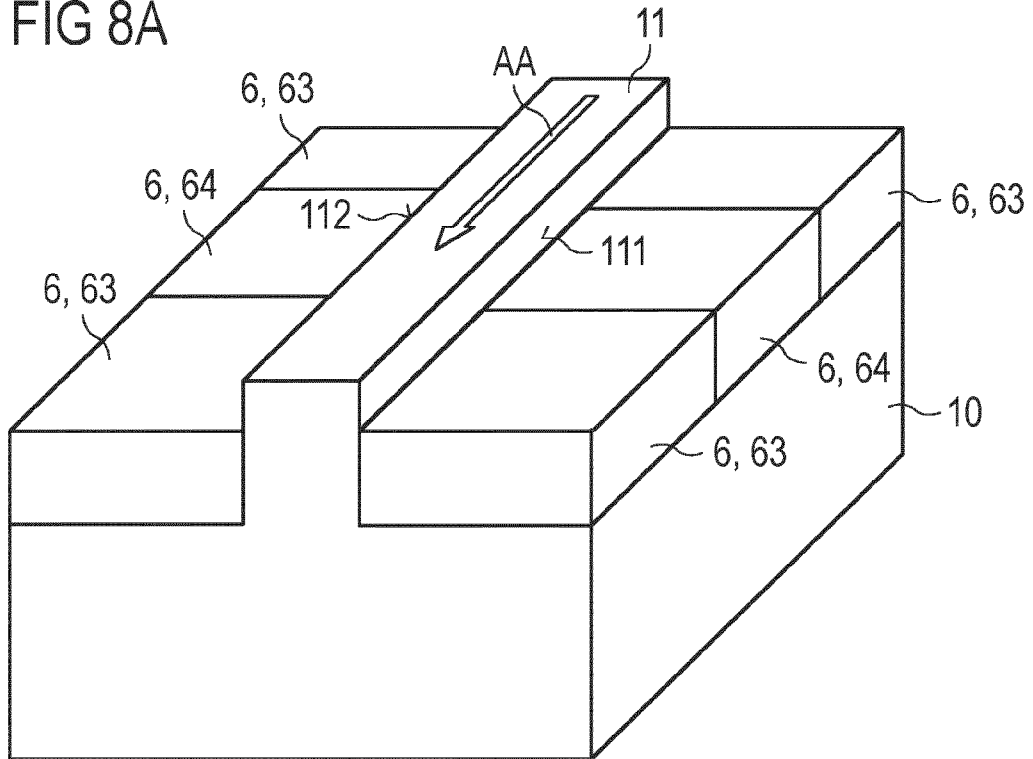


FIG 8B

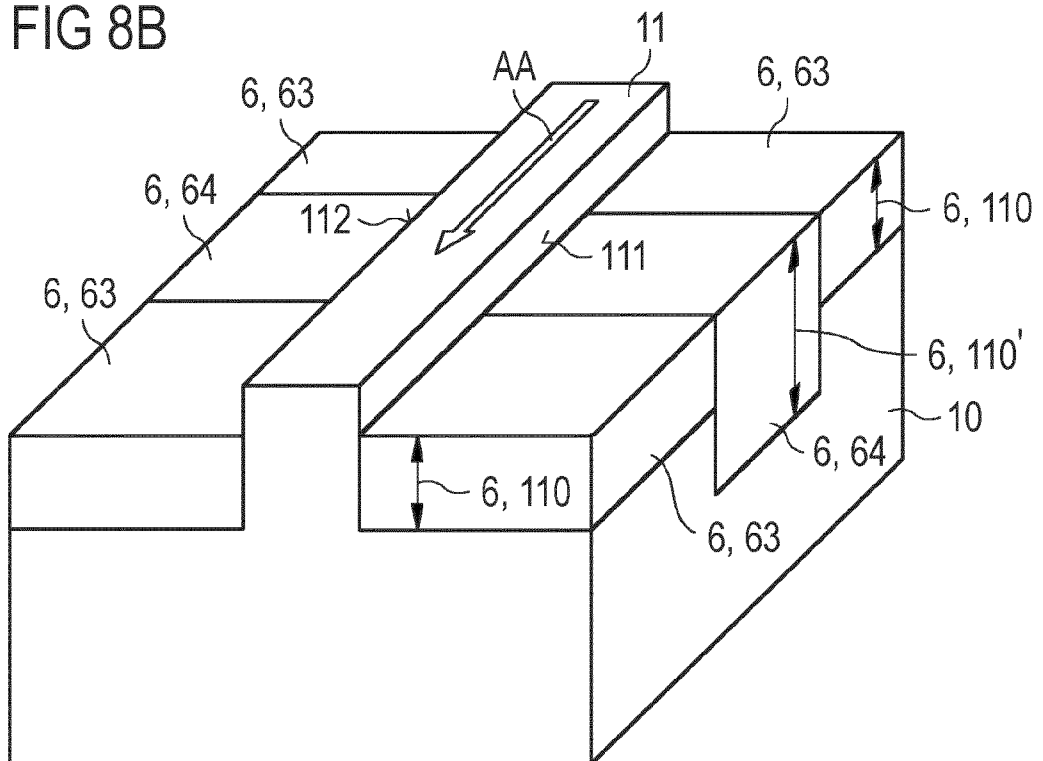


FIG 9A

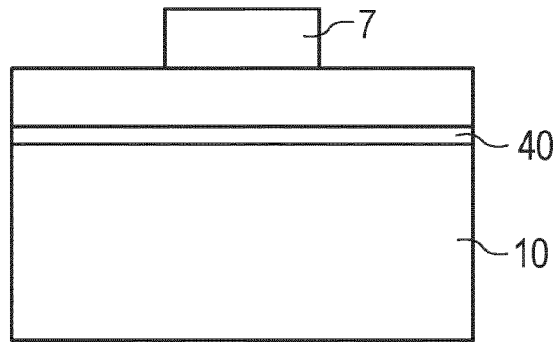


FIG 9B

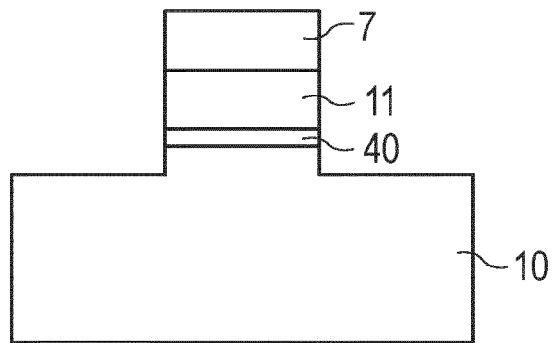


FIG 9C

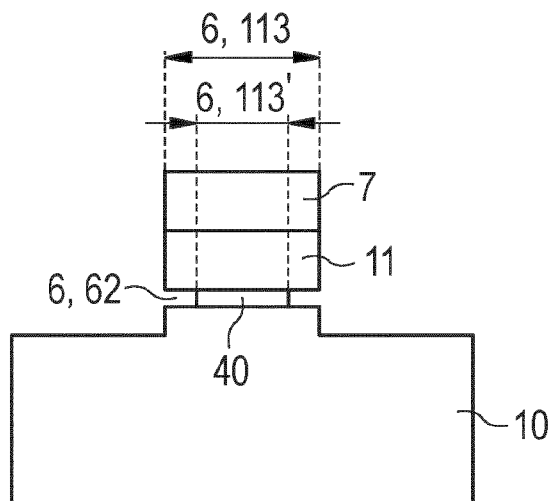


FIG 10A

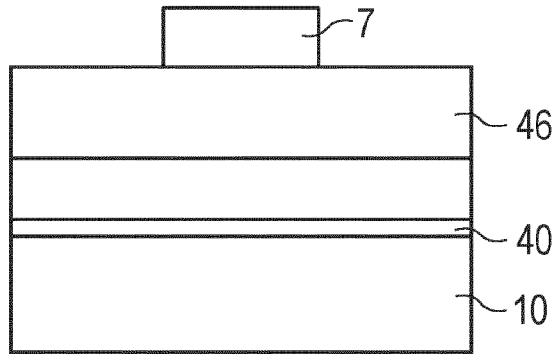


FIG 10B

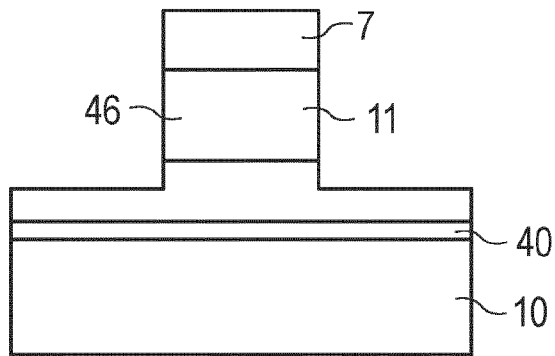


FIG 10C

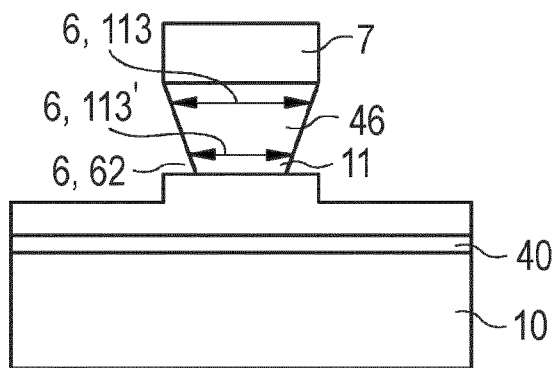


FIG 11A

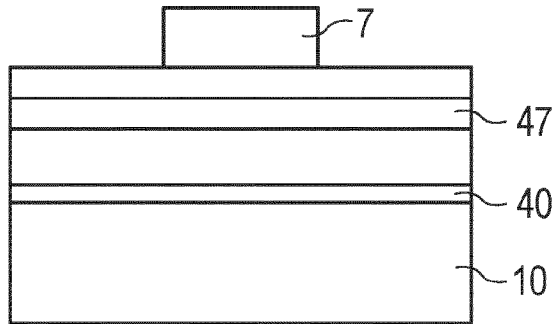


FIG 11B

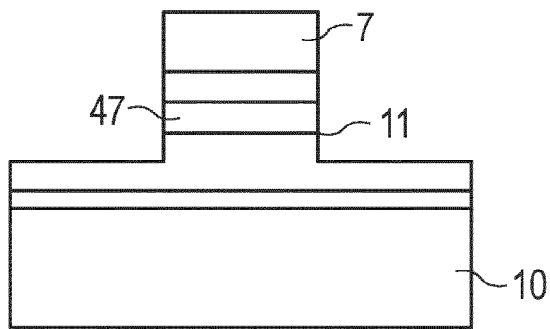
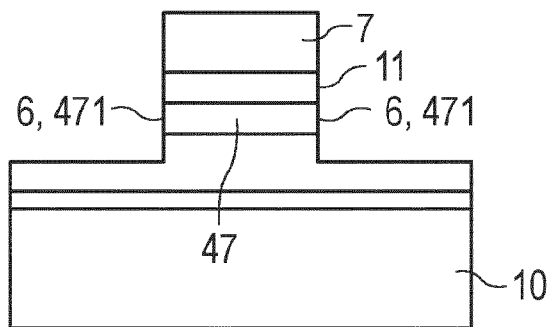


FIG 11C



16/19

FIG 12A

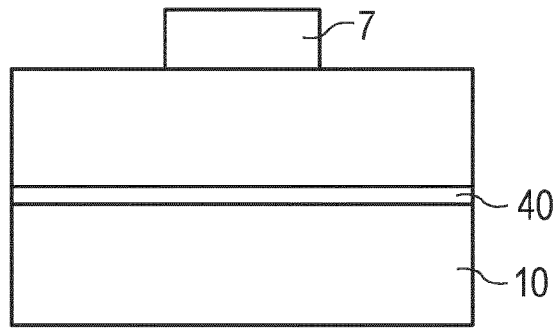


FIG 12B

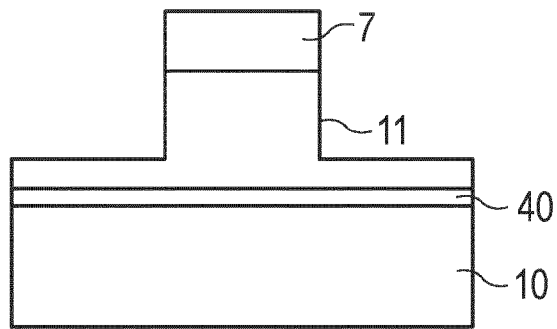


FIG 12C

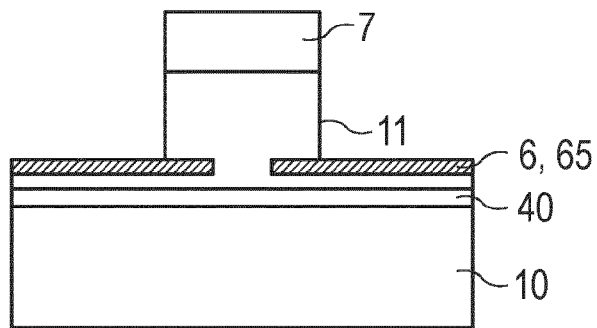
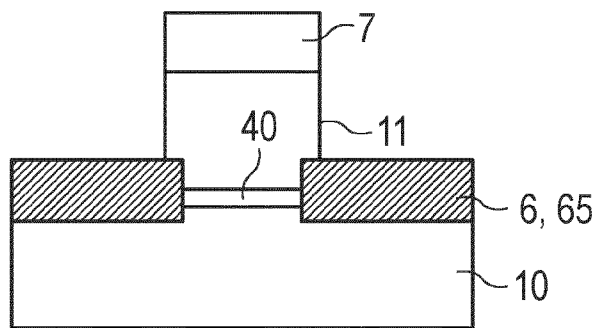


FIG 12D



17/19

FIG 13A

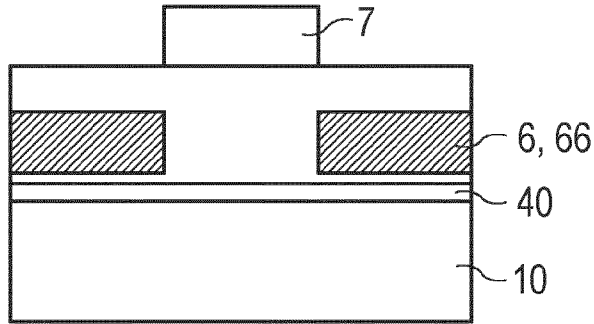


FIG 13B

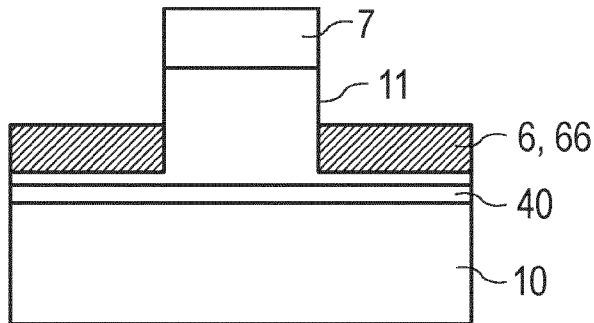


FIG 14A

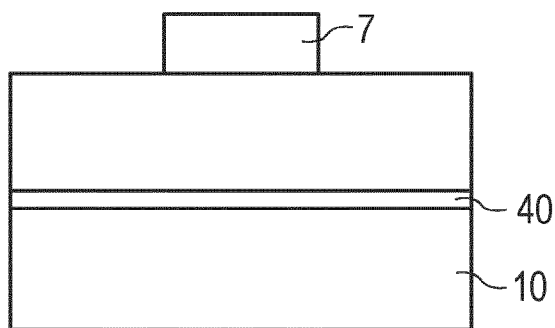


FIG 14B

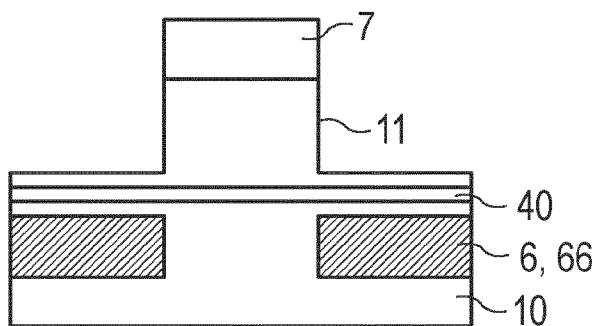


FIG 15A

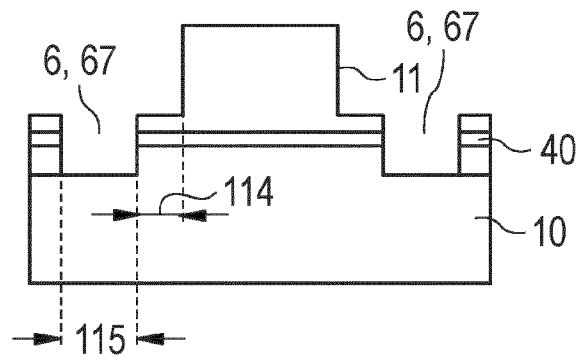


FIG 15B

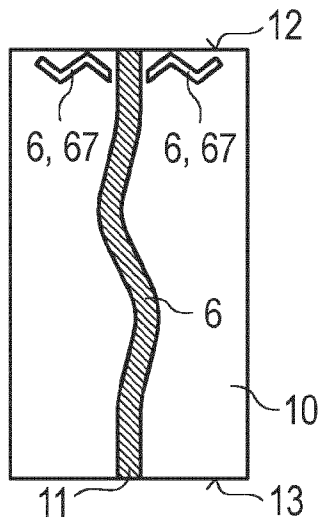


FIG 15C

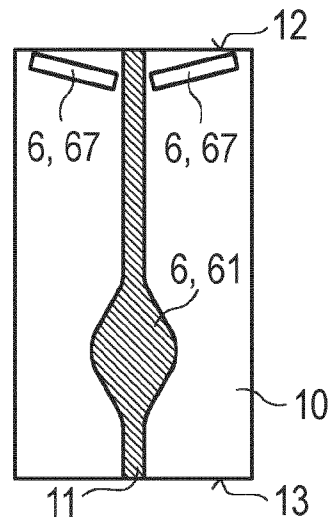


FIG 15D

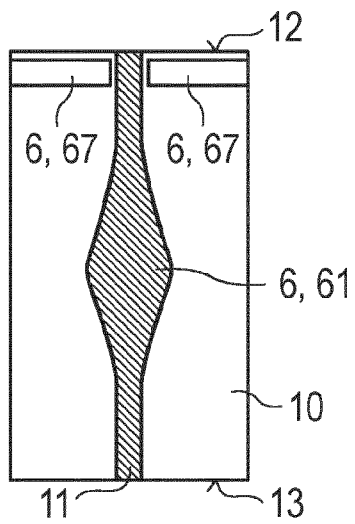


FIG 15E

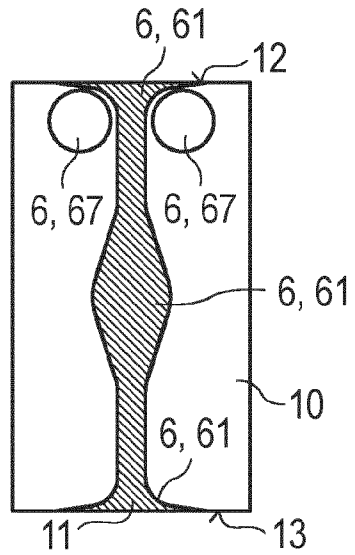


FIG 15F

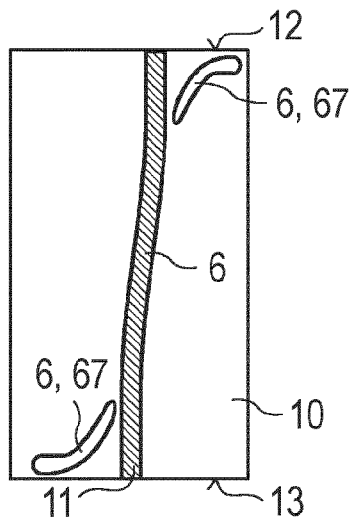


FIG 15G

