

(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
16. Juni 2011 (16.06.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/069769 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 5/323 (2006.01) **H01S 5/40** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/067271

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. November 2010 (11.11.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 054 564.6
11. Dezember 2009 (11.12.2009) 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): **STRASSBURG, Martin** [DE/DE]; Lutherstraße 1, 93105 Tegernheim (DE).
LELL, Alfred [DE/DE]; Virchowstraße 19, 93142 Maxhütte-Haidhof (DE).

(74) Anwalt: **PAUL, Benjamin**; OSRAM GmbH, Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(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, RO, RS, RU, 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.

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

(54) Title: LASER DIODE ASSEMBLY AND METHOD FOR PRODUCING A LASER DIODE ASSEMBLY

(54) Bezeichnung : LASERDIODENANORDNUNG UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER LASERDIODENANORDNUNG

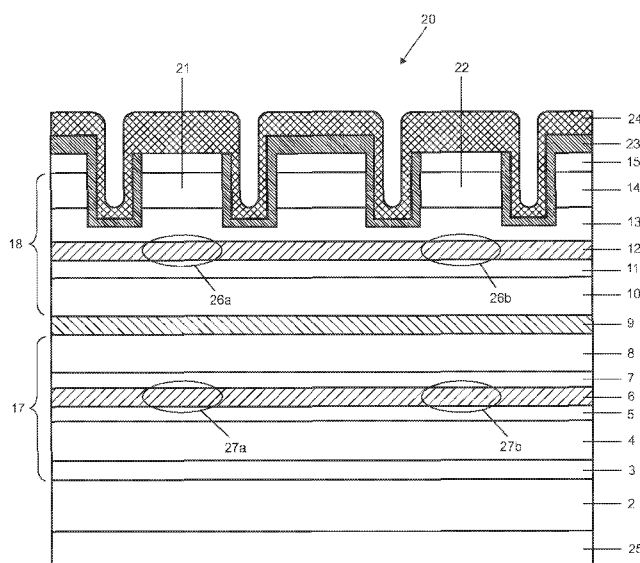


FIG 5

(57) Abstract: The invention relates to a laser diode assembly having a semiconductor substrate (2; 101; 201; 301; 72), at least two laser stacks (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) each having one active zone (6, 12; 105, 109, 113; 207, 213; 307, 311; 76, 82, 88) and at least one translucent ohmic contact (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85). According to the invention, the laser stacks (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) and the translucent ohmic contact (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85) are grown up monolithically on the semiconductor substrate (2; 101; 201; 301; 72). The laser stacks (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) are electrically conductively connected to each other by means of the translucent ohmic contact (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85). The laser diodes (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) formed from the laser stacks (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) have a two-dimensional structure.

(57) Zusammenfassung: Es handelt sich um eine Laserdiodenanordnung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



mit - einem Halbleitersubstrat (2; 101; 201; 301; 72), - mindestens zwei Laserstapeln (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) mit jeweils einer aktiven Zone (6, 12; 105, 109, 113; 207, 213; 307, 311; 76, 82, 88) und - mindestens einem lichtdurchlässigen ohmschen Kontakt (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85). Die Laserstapel (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) und der lichtdurchlässige ohmsche Kontakt (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85) sind monolithisch auf das Halbleitersubstrat (2; 101; 201; 301; 72) aufgewachsen. Die Laserstapel (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) sind durch den lichtdurchlässigen ohmschen Kontakt (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85) elektrisch leitend miteinander verbunden. Die aus den Laserstapeln (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) gebildeten Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) weisen eine zwei-dimensionale Struktur auf.

LASERDIODENANORDNUNG UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER LASERDIODENANODNUNG

BESCHREIBUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft eine
Laserdiodenanordnung mit einem Halbleitersubstrat, mit
Laserstapeln und ohmschen Kontakten zwischen den
Laserstapeln. Darüber hinaus ist ein Verfahren zum
5 Herstellen einer Laserdiodenanordnung angegeben.

Aus dem Stand der Technik sind Laserdioden bekannt, die
Leistungsdichten von etwa $40000\text{KW}/\text{cm}^2$ und darüber hinaus
erreichen. Bei solch hohen Leistungsdichten besteht die
Gefahr eines irreparablen Schaden an der Laserfacette,
10 auch COD (Catastrophic optical damage) genannt. Bisher
wurde die Facettenbelastungsgrenze im Wesentlichen
dadurch verringert, dass die Breite des
lichtemittierenden Bereichs vergrößert wird oder
alternativ mehrere lichtemittierende Streifen
15 nebeneinander auf einem Laserbarren angeordnet werden
(sog. Laser-Array).

Es ist dabei oft problematisch, dass die eindimensionale
Verbreiterung der Emissionsfläche zu einer stark
asymmetrischen Laser-Emission führt, die nur mit Hilfe
20 aufwendiger Linsensysteme oder gar nicht mehr fokussiert
werden kann. Eine Bündelung zu einer hohen optischen
Ausgangsleistung ist damit nicht mehr uneingeschränkt
möglich. Zudem begrenzt hierbei das Etendu der
Laseremission die optischen Abbildungseigenschaften
25 empfindlich.

Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Laserdiodenanordnung bereitzustellen, mit dem die oben beschriebenen Nachteile gänzlich vermieden oder zumindest verringert werden.

- 5 Dieses Problem wird durch eine Laserdiodenanordnung und ein Verfahren zur Herstellung einer Laserdiodenanordnung gemäß den unabhängigen Patentansprüchen 1 bzw. 15 gelöst.

Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen der Laserdiodenanordnung bzw. des Verfahrens zur Herstellung
10 einer Laserdiodenanordnung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Beispielhafte Ausführungsformen

- Verschiedene Ausführungsformen weisen eine
15 Laserdiodenanordnung mit einem Halbleitersubstrat auf. Auf dem Halbleitersubstrat sind mindestens zwei Laserstapel mit jeweils einer aktiven Zone aufgebracht. Weiterhin sind lichtdurchlässige ohmsche Kontakte vorgesehen, um die Laserstapel elektrisch zu verbinden.
20 Die Laserstapel und der lichtdurchlässige ohmsche Kontakt sind monolithisch auf das Halbleitersubstrat aufgewachsen. Aus den Laserstapeln sind Laserdioden gebildet, die eine zweidimensionale Struktur aufweisen.

- Das Halbleitersubstrat kann ein III-V-
25 Verbindungshalbleitermaterial, insbesondere ein Nitridverbindungshalbleitermaterial wie GaN aufweisen.

Die aktiven Zonen können pn-Übergänge, Doppelheterostruktur, Mehrfach-Quantentopfstruktur (MQW),

Einfach-Quantentopfstruktur (SQW) sein.

Quantentopfstruktur bedeutet: Quantentöpfe (3-dim),
Quantendrähnte (2-dim) und Quantenpunkte (1-dim).

Die Stromeinprägung in den aktiven Bereich erfolgt durch
5 eine p-dotierte Schicht und durch eine n-dotierte
Schicht.

Wie oben beschrieben, kann die aktive Zone eine
Mehrfachquantentopfstruktur sein. Sie besteht aus
mehreren aktiven Schichten. Zwischen den aktiven
10 Schichten liegt jeweils eine Barrierschicht. Jeweils
eine weitere Barrierschicht geht der ersten aktiven
Schicht voraus und folgt der letzten aktiven Schicht in
Wachstumsrichtung nach. Die aktiven Schichten enthalten
oder bestehen aus InGa_N und sind zwischen etwa 0,8 nm und
15 etwa 10 nm dick. Die Barrierschichten zwischen den
Quantentopfstrukturen enthalten oder bestehen aus
 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$) und sind zwischen 1 und 20 nm
dick.

Das monolithische Wachstum bedeutet, dass die mehreren
20 Laserstapel auf demselben Wafer aufgewachsen sind.
Insbesondere werden keine Laserbarren übereinander
angebracht, z.B. durch Löten oder Kleben.

In der vorliegenden Erfindung werden die Schichtenfolgen
durch Molekularstrahlepitaxie oder metallorganischer
25 Gasphasenepitaxie oder Gasphasenepitaxie oder
Flüssigphasenepitaxie aufeinander aufgewachsen.

Das monolithische Wachstum der Laserstapel ist
vorteilhaft, da dadurch besonders kleine Abstände der
Laserdioden realisiert werden können. Ohne monolithisches

Wachstum wären Anordnungen aus Laserdioden auf einen vertikalen Mindestabstand der Laserdioden voneinander von etwa 100 μm beschränkt. Dieser Mindestabstand rührt von der minimal zu verarbeitenden Dicke der

- 5 Laserdiodenstrukturen her. Dieser hohe Abstand der vertikal übereinander angeordneten Laserdiodenstrukturen begrenzt die maximal erreichbare optische Leistungsdichte und auch das Etendu.

- Der lichtdurchlässig ohmsche Kontakt ist besonders
10 vorteilhaft für Oberflächen emittierende Laser Emitter (VCSEL Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser). Der lichtdurchlässige ohmsche Kontakt ist bei lateraler Lichtausbreitung in einem Lasermedium unvermeidlich. Der lichtdurchlässige ohmsche Kontakt weist im Bereich der
15 Laserwellenlänge nur eine geringe optische Absorption auf. Die Laserstrahlung wird vorteilhafter Weise vor dem Austritt aus der Laserdiodenanordnung kaum geschwächt.

- In einer bevorzugten Ausführungsform der Laserdiodenanordnung weist der lichtdurchlässige ohmsche
20 Kontakt Indiumzinnoxid, ITO (engl.:indium tin oxid), auf. ITO ist ein halbleitender im sichtbaren Licht weitgehend transparenter Stoff. Es ist ein Mischoxid, beispielsweise aus 90% Indium(III)-oxid (In_2O_3) und 10% Zinn(IV)-oxid (SnO_2).

- 25 In einer bevorzugten Ausführungsform der Laserdiodenanordnung können die lichtdurchlässigen ohmschen Kontakte durch einen monolithischen Prozess als Tunnelodiode realisiert sein. Der Tunnelübergang wird während des epitaktischen Wachstums der Laserstrukturen
30 mit abgeschieden. Er dient der elektrischen Verbindung.

Der Tunnelübergang umfasst zwei hochdotierte Schichten unterschiedlichen Leitungstyps (n- bzw. p-leitend). Die hochdotierte n-Typ-Schicht weist eine Dotierung von größer $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, vorzugsweise von etwa $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und besonders bevorzugt von größer $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ auf. Die hochdotierte p-Typ-Schicht weist eine Dotierung von größer $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, vorzugsweise von etwa $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und besonders bevorzugt von größer $1,5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ auf. Diese zwei Schichten sind durch mindestens eine bevorzugt undotierte Zwischenschicht, z.B. aus AlGaIn voneinander getrennt. Die Laserdioden werden durch die Tunnelübergänge elektrisch in Reihe geschaltet. Der Tunnelübergang bzw. die Tunnelübergänge bilden besonders geringe Potentialbarrieren. Dies erleichtert das Tunneln von Ladungsträgern zwischen Quantentöpfen. Als Folge werden die Ladungsträger homogener auf die einzelnen Quantentöpfe verteilt. Auch wird durch die Tunnelübergänge erreicht, dass weniger nichtstrahlende Rekombinationen zwischen Elektronen und Löchern in den aktiven Zonen erfolgen.

In Wachstumsrichtung kann sich zum Beispiel folgende Schichtenfolge im Tunnelübergang ergeben:

- p-Typ-Schichten, z.B. p-Mantelschicht
- hochdotierte p-Schicht, bevorzugt aus ternärer Verbindung, besonders bevorzugt aus InGaIn
- Diffusionsbarriere, möglichst dünn, bevorzugt quaternär, z.B. AlInGaIn
- hochdotierte n-Schicht, bevorzugt aus ternärer Verbindung, besonders bevorzugt aus InGaIn
- n-Typ-Schichten, z.B. n-Mantelschicht

Im Anschluss daran folgt mindestens eine aktive Zone.

Die oben genannte dünne Diffusionsbarriere hat die Aufgabe, die Dotieratome der jeweiligen Schichten zu trennen.

- Die hochdotierten p-Typ- und/oder hochdotierten n-Typ-Schichten können als Übergitter ausgelegt sein. Die Bandlücke ist im Bereich der Diffusionsbarriere geringer als im Bereich der p-Typ- und n-Typ Schichten. Besonders bevorzugt ist die Bandlücke geringer als die der hochdotierten p-Typ- und n-Typ-Schichten.
- 10 Der Abstand zwischen den Bereichen hoher Ladungsträgerdichten (Elektronen und Löcher) sind gering: Der Tunnelübergang hat einen besonders geringen elektrischen Widerstand. Es kann zugleich eine hohe Ladungsträgerdichte und eine hohe
- 15 Tunnelwahrscheinlichkeit erzielt werden. Dadurch wird die Stromaufweitung verbessert. Dies ergibt eine gute laterale Stromverteilung und Stromeinkopplung (=Einkopplung von Ladungsträger) in die Halbleiterschichtenfolge. Dadurch wird die Effizienz des
- 20 Bauteils erhöht und eine lokale Erwärmung durch einen zu großen Stromfluss in der Halbleiterschichtenfolge vermieden.

In einer bevorzugten Ausführungsform können tiefe Störstellen (midgap states) in der Zwischenschicht (kann aus einer einheitlichen Substanz oder aus: n-Barriere und Mittelschicht und p-Barriere bestehen) hervorgerufen werden. Die tiefen Störstellen des Tunnelübergangs können durch Fremdatome hervorgerufen werden.

Im Gegensatz zu den üblichen Dotierstoffen (Si, Mg) haben derartige Fremdatome den Vorteil, dass sie elektronische

30

Zustände erzeugen, die energetisch etwa in der Mitte der Bandlücke der Zwischenschicht angeordnet sind.

Diese Störstellen erleichtern den Ladungsträgern das Durchtunneln der Zwischenschicht. Dadurch ist die

- 5 Effizienz des Tunnelübergangs gegenüber einem Tunnelübergang ohne gezielt eingebrachte Störstellen verbessert.

Beim Halbleiterkörper ohne Tunnelübergang müssen die Ladungsträger beim Übergang von der n-leitenden

- 10 Einschlussschicht in die aktive Zone bzw. von der p-dotierten Einschlussschicht in die aktive Zone hohe energetische Potentialbarrieren überwinden. Bei HL-Körper mit Tunnelübergang treten solche Potentialbarrieren nicht oder kaum auf.

- 15 Die Gefahr einer nicht strahlenden Rekombination von Ladungsträgern ist verringert, was besonders bei hohen Betriebsströmen, d.h. bei hohen Ladungsträgerkonzentrationen, die Effizienz erhöht.

Bei Halbleiterkörpern mit Mehrfachquantentopfstruktur und

- 20 Tunnelübergang tragen mehrere aktive Schichten zur Strahlungsemission bei.

Der Tunnelübergang ermöglicht es, die beiden gegenüberliegenden Kontakte des Halbleiterchips aus n-leitendem Halbleitermaterial herzustellen. Damit kann das

- 25 Problem der geringen p-Leitfähigkeit von Nitrid-Verbindungs-Halbleitern umgangen werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Laserdiodenanordnung sind die Laserdioden vertikal zum Halbleitersubstrat gestapelt. Durch einen monolithischen

Wachstumsprozess kann erreicht werden, dass der vertikale Abstand zwischen den Laserdioden kleiner als etwa 20 μm ist. Bevorzugt ist der vertikale Abstand kleiner als etwa 5 μm und besonders bevorzugt kleiner als etwa 1 μm .

- 5 Durch den Einsatz von lichtdurchlässigen Tunnelndioden, lassen sich vertikale Abstände zwischen Laserdioden erzielen, die kleiner als die Wellenlänge des von den Laserdioden emittierten Lichtes sind. Um dies zu erreichen weisen die Tunnelndioden Dicken von weniger als
- 10 50 nm, bevorzugt zwischen 30nm und 5 nm, auf. Vertikale Abstände zwischen Laserdioden von weniger als 100 nm sind erreichbar. Mit anderen Worten ist der vertikale Abstand der Laserdioden deutlich kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts (380 nm bis 780 nm). Die Wellenfelder
- 15 der Strahlung aus zwei durch eine Tunnelschicht getrennten Laserdioden können in die Tunnelschicht eindringen. Die Strahlung von mehreren aktiven Zonen kann somit gekoppelt werden. Zur Vermeidung von Absorptionsverlusten in der Tunnelschicht muss die Dicke
- 20 der Tunnelschicht möglichst klein sein und das Material der Tunnelschicht die von den Laserdioden emittierte elektromagnetische Strahlung möglichst wenig absorbieren. Da das Licht einen Laserresonator typischerweise 2 bis 10-Mal durchläuft, durchläuft das Licht bei einer
- 25 maximalen Länge des Laserresonators von etwa 2 mm eine Strecke von bis zu 20 mm. Ein nutzbares Ausgangssignal ist deshalb nur erreichbar, wenn die Absorptionsverluste in der Tunnelschicht minimal sind, vorzugsweise verschwinden.
- 30 Eine lichtdurchlässige Tunnelschicht bedeutet qualitativ, dass weniger Laserstrahlung in der Tunnelschicht

absorbiert wird, als in den aktiven Zonen durch induzierte Emission erzeugt wird. Die Absorption ist proportional zu

$$\exp(-\alpha d)$$

- 5 α ist der Absorptionskoeffizient eines Mediums und d die Weglänge, die die Laserstrahlung in dem Medium zurücklegt. In den Laserlicht verstärkenden aktiven Zonen ist der Absorptionskoeffizient α negativ. Anders ausgedrückt handelt es sich um einen Verstärkungsfaktor.
- 10 Der Verstärkungsfaktor wird auch als g_0 -Faktor bezeichnet. In den Laserlicht absorbierenden Tunnelschichten ist der Absorptionskoeffizient α_T positiv. Dabei können verschiedene aktive Zonen i verschiedene negative Absorptionskoeffizienten α_i
- 15 aufweisen. Der Verstärkungsfaktor g_0 entspricht dem Betrag von α_i . Die aktiven Zonen i sind monolithisch gestapelt. Um eine lichtdurchlässige Tunnelschicht zu erreichen, muss der Betrag des kleinsten Verstärkungsfaktors $\alpha_{\min}$ aus allen aktiven Zonen i
- 20 größer sein als der Betrag des Absorptionskoeffizienten der Tunnelschichten α_T . Die Lichtdurchlässigkeit der Tunnelschicht kann wie folgt definiert werden:

$$|\alpha_{\min}| > |\alpha_T|.$$

Bevorzugt ist $|\alpha_{\min}| > 10 \times |\alpha_T|.$

- 25 Besonders bevorzugt ist $|\alpha_{\min}| > 100 \times |\alpha_T|.$

Beispielsweise seien einige Zahlenwerte für den Verstärkungsfaktor g_0 in InGaN Lasern angegeben. Der Verstärkungsfaktor g_0 ist stark von der Wellenlänge des Laserlichts abhängig. Bei einer Wellenlänge von über 500

nm liegt g_0 bei etwa 300/cm. Bei kürzeren Wellenlängen kann g_0 auch über 1000/cm betragen.

Um eine lichtdurchlässige Tunnelschicht gemäß obigen Bedingungen zu erreichen, muss die Energielücke der

5 Tunnelschicht so gewählt werden, dass sie größer ist als die Energie der von den Laserdioden emittierten Strahlung. Bei InGaN-Verbindungshalbleitern kann die Energie über den Indiumgehalt eingestellt werden. Je größer der Indiumgehalt ist, desto kleiner wird die

10 Energielücke (Bandkantenenergie). Beispielsweise bei einem Indiumgehalt von 22% und einem Galliumgehalt von 78% in der aktiven Zone emittieren die Laserdioden im blauen Spektralbereich bei etwa 466 nm. Damit das blaue Licht, das im Laserresonator umläuft, nicht in der

15 Tunnelodiode absorbiert wird, muss der Indiumgehalt im InGaN-Material der Tunnelodiode kleiner als 22% sein. Als Materialien für die lichtdurchlässige Tunnelodiode eignen sich neben InGaN folgende ternäre bzw. quaternäre Materialsysteme mit hexagonaler Kristallstruktur: AlGaIn,

20 AlInN, AlInGaIn ((Al, Ga, In)N). Auch BorNitrid-Verbindungen ((Al, Ga, In, B)N) eignet sich für Tunnelschichten, jedoch muss hier der Borgehalt so gewählt werden, dass die kristalline Integrität der Tunnelodiode gewahrt bleibt. Auch durch den Einsatz von

25 Aluminium kann die Energielücke obiger Materialsysteme eingestellt werden. Je höher der Aluminiumgehalt desto größer ist die Energielücke. In besonders vorteilhafter Weise wird ein möglichst hoher Indiumgehalt gewählt um möglichst viele freie Ladungsträger zur Verfügung zu

30 stellen. Mit zunehmendem Indiumgehalt erhöht sich auch die Menge des in die Kristallschicht einbaubaren

- Dotierstoffs. Als Dotierstoff eignen sich beispielsweise Magnesium und Silizium. Je mehr Dotierstoff eingebracht ist, desto mehr Ladungsträger stehen zur Verfügung. Dies gilt jedoch nur, wenn der Dotierstoff auf einem
- 5 Gitterplatz eingebaut ist. Durch ein Absenken der Bandlücke (z.B. durch Erhöhen der Indiumkonzentration) reduziert sich zudem die Bindungsenergie der Dotierstoffe. Dadurch erhöht sich nochmals die Anzahl freier Ladungsträger. Durch einen hohen Indiumgehalt wäre
- 10 jedoch die Energielücke in der Tunnelndiode so gering, dass Laserstrahlung in der Tunnelndiode absorbiert werden würde. Durch Einsatz von z.B. Aluminium kann die Energielücke so weit vergrößert werden, dass doch keine Absorption auftritt.
- 15 Alternativ zur Einstellung der Ladungsträgerkonzentration und der Größe der Energielücke durch geeignete Wahl der Indium- bzw. Aluminium Konzentration im Material der Tunnelschicht können Mehrfachschichten insbesondere sogenannte Übergitter verwendet werden. Beispielsweise
- 20 können InN- und GaN-Schichten verwendet werden. Die Schichten sind so dünn, vorzugsweise kleiner als 3 nm, dass eine elektronische Kopplung zwischen den Schichten stattfindet. Dies ermöglicht es, dass einzelne Schichten einen höheren Indiumgehalt und damit mehr freie
- 25 Ladungsträger aufweisen, ohne dass es zu Absorptionsverlusten in der Tunnelschicht kommt. Im Beispiel von Oben dürften einige Schichten einen Indiumgehalt von mehr als 22% aufweisen, wenn insgesamt die über die gesamte Tunnelschicht gemittelte
- 30 Indiumkonzentration kleiner als 22% ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Laserdioden horizontal, oder mit anderen Worten parallel, zum Halbleitersubstrat angeordnet. Durch einen monolithischen Wachstumsprozess kann erreicht werden, dass der

5 horizontale Abstand zwischen den Laserdioden kleiner als etwa 100 μm ist. Bevorzugt ist der horizontale Abstand kleiner als etwa 20 μm und besonders bevorzugt kleiner als 5 μm .

Die kleinen Abstände der monolithisch gewachsenen

10 Laserdioden, die in der Größenordnung der Emissionswellenlänge der elektromagnetischen Strahlung liegen, sind besonders vorteilhaft, da dadurch das Licht aus verschiedenen Laserdioden zeitlich und räumlich kohärent zueinander emittiert werden kann. Die einzelnen

15 Laserdioden sind so dicht nebeneinander platziert, dass sich die Wellenfelder überlappen. Unterhalb eines Abstandes der Laserdioden von etwa 15 μm ist dies möglich. In diesem Fall erfolgt eine Phasenkopplung der Einzelemissionen, so dass eine kohärente Strahlung

20 ähnlich einem Einzellaser ausgesendet wird. Dadurch ergeben sich weitere Freiheitsgrade und Möglichkeiten für die Wechselwirkung zwischen den Lichtwellen, die von den einzelnen Laserdioden der zweidimensionalen Struktur emittiert werden. Als Wechselwirkung kommen

25 Modenausbildung, Modenverstärkung und Modenunterdrückung in Betracht.

Vorteilhafte Eigenschaften der vorliegenden monolithischen, zweidimensionalen Laserdiodenstruktur sind die extrem hohe optische Leistungsdichte, bei

30 gleichzeitig verringerter Belastung der Facetten sowie die geometrischen Eigenschaften der Emissionsfläche, in

Form einer zweidimensionalen Ausdehnung. Dies ermöglicht die Verwendung weniger komplizierter optischer Abbildungssysteme, d.h. zum Beispiel eine einfache Linse oder ein einfaches Linsensystem. Zudem ergeben sich
5 bessere Abbildungseigenschaften. Die Abstrahlung erfolgt aus einer weitgehend zentrisch abstrahlenden Laserlichtquelle mit einem Aspekt-Verhältnis nahe 1. Daraus ergeben sich Vorteile im Abbildungsverhalten. Besonders vorteilhaft kann die vorliegende Erfindung zur
10 Erzeugung extremer Leuchtdichten eingesetzt werden.

Weiterhin vorteilhaft sind die geringen Herstellungskosten (Epitaxie, Prozessierung und Packaging) für die monolithisch integrierten zweidimensionalen Laserdiodenanordnungen im Vergleich zum
15 Aufbau von herkömmlichen Laserarrays mit gleich starker Emission.

In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist die dem Halbleitersubstrat zugewandte Schicht, die an die aktive Zone angrenzt, ein n-Wellenleiter und die vom
20 Halbleitersubstrat abgewandte Schicht, die an die aktive Zone angrenzt, ein p-Wellenleiter. Mit anderen Worten folgt in Wachstumsrichtung auf das Substrat eine n-Schicht, darauf eine aktive Zone und darauf wiederum eine p-Schicht. Diese Reihenfolge wird auch als herkömmliche
25 Polarität bezeichnet. Das Aufbringen der Schichtenfolge kann mehrfach wiederholt werden. Vorteilhaft ist es, dass mit dieser Epitaxiestruktur besonders kleine Abstände zwischen den Laserdioden realisiert werden können. Monolithisch gewachsene Bauteile mit obiger
30 Schichtenfolge können bei hohen Spannungen aber niedrigem Ansteuerungsstrom betrieben werden. Es tritt jedoch der

unerwünschte quantenconfined Stark-Effekt auf, der den Verlauf des Leitungs- und Valenzbandes verzerrt. Dadurch entsteht ein schlechter Überlapp der Wellenfunktionen der Ladungsträger in den laseraktiven Zonen. Daraus folgt
5 eine hohe Wahrscheinlichkeit für nichtstrahlende Rekombination.

Vorteilhafter Weise ist die dem Halbleitersubstrat zugewandte Schicht, die an die aktive Zone angrenzt, ein p-Wellenleiter und die vom Halbleitersubstrat abgewandte
10 Schicht, die an die aktive Zone angrenzt, ein n-Wellenleiter. Mit anderen Worten folgt in Wachstumsrichtung auf das Substrat eine p-Schicht, darauf eine aktive Zone und wiederum darauf eine n-Schicht. In diesem Zusammenhang spricht man auch von invertierter
15 Polarität oder polaritätsinvertierte Laserdiode (PILD). Die Laserdiodenanordnung mit obiger Schichtenfolge kann bei hohen Spannungen und niedrigem Ansteuerungsstrom betrieben werden. Das bei invertierter Polarität auftretende interne piezoelektrische Feld, das
20 insbesondere in Kristallen mit einer polaren Struktur (z.B. Wurzit-Struktur) wie GaN auftritt, kompensiert zumindest teilweise andere Felder, insbesondere auch externe Felder. Dadurch wird die Ladungsträgerinjektion in die aktive Zone verbessert; es können mehr
25 Ladungsträger in der aktiven Zone eingefangen werden. Die interne Quanteneffizienz ist nur noch geringfügig von der Stromdichte abhängig. Weiter wird durch die im Vergleich zu n-Schichten geringere Querleitfähigkeit der p-Schichten die ungewollte laterale Stromaufweitung
30 deutlich reduziert. Die elektrischen Verluste sind reduziert. Die geringere Querleitfähigkeit der p-

Schichten erklärt sich wie folgt: Im Vergleich zu n-Schichten ist die p-Schicht hochohmig. Die p-Schicht wird mit Mg-Atomen (Akzeptor) dotiert und die n-Schicht wird mit Si-Atomen (Donator) dotiert. Bei einer Dotierung

5 durch Mg-Atomen mit 10^{20} cm^{-3} ergibt sich eine Löcherkonzentration von nur $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Die Mg-Atome und die Si-Atome werden durch thermische Anregung oder durch einen Elektronenstrahl oder durch Mikrowellenanregung aktiviert. Die Mg-Akzeptoren weisen eine sehr hohe

10 Bindungsenergie von 165 meV auf. Die Si-Donatoren sind nur mit einer Energie von 50 meV gebunden.

Die laterale Stromaufweitung führt zu einer undefinierten Strom- und Leistungsabhängigen Verbreiterung der Strominjektion. Die Folge ist eine unkontrollierte

15 Verbreiterung der Leuchtflecke und damit eine verringerte Leuchtdichte. Der Betriebsstrom muss erhöht werden, da ansonsten am Rande des undefinierten, stromverbreiterten Bereichs keine Besetzungsinversion erreicht wird.

Die monolithisch gestapelten Laserdioden führen zu

20 Laserbarren geringer Bauhöhe. Dies ermöglicht eine bessere Aktivierung der p-Schichten. Die Aktivierung mit Magnesium in den Halbleitersystemen AlN, InN und GaN und anderen Breitbandhalbleitern hängt stark vom Grad des ausgetriebenen Wasserstoffs ab. Der Wasserstoff kann kaum

25 durch n-Schichten diffundieren. Die Verbindung von gestapelten Laserdioden und Laserbarren geringer Bauhöhe ergibt die Möglichkeit, den Wasserstoff zur Seite hin auszutreiben. Dadurch wird der Aktivierungsgrad der p-Schichten drastisch erhöht. Dies führt zu einer Reduktion

30 der ohmschen Verluste in den vertikal gestapelten Laserdioden und damit zu verbesserten

Betriebsbedingungen. Mit anderen Worten erfolgt die Aktivierung von verdeckten p-Schichten indem der Wasserstoff durch laterale Diffusion und Verdampfung durch Seitenflächen der Laserbarren entfernt wird.

- 5 Insbesondere muss der Wasserstoff nicht durch die obere n-Typ Deckschicht entfernt werden.

- In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist die Laserdiodenanordnung Laserstege auf, die zur Führung der Laserstrahlung dienen. Dabei ist der aktive Bereich
- 10 lateral durch Brechungsindexsprünge auf einen Streifen begrenzt. Dies nennt man Indexführung. Die optische Welle wird in einem Wellenleiter geführt und kann nur darin die induzierte Emission anregen. Die Ausbildung des Wellenleiters kann durch unterschiedliche Schichtdicken
- 15 und/oder Schichtfolgen erfolgen. Dabei ergeben sich innerhalb und außerhalb des Streifens verschiedene effektive Brechungsindices. Mantelschichten und Wellenleiter bilden quasi eine Stufenindexfaser. Zur Verbesserung des elektrischen Confinements wird der
- 20 Kontakt zusätzlich als Streifen ausgebildet. In einer Weiterbildung des Verfahrens werden Laserstege gebildet, die über eine Indexführung die Laserstrahlung besonders gut leiten. Vorteilhaft sind die begrenzte laterale Diffusion der Ladungsträger und der daraus resultierende
- 25 niedrige Schwellstrom.

- Laserlicht kann sich auch gewinngeführt ausbreiten. Dabei ist die aktive Zone lateral durch die Ladungsträgerinjektion auf einen Streifen begrenzt (z.B. Oxidstreifenlaser). Der Kontakt wird durch ein Fenster in
- 30 einem isolierenden Oxid an das p-leitende Halbleitermaterial herangeführt. In einer ganzflächigen

aktiven Schicht entsteht lateral ein der Stromdichte proportionales Verstärkungsprofil, mit dem eine Erniedrigung des Brechungsindex verbunden ist. Im Bereich größter Verstärkung, d.h. höchster stimulierter Emission, wird der Brechungsindex als Folge verringerter Ladungsträgerkonzentration etwas angehoben, so dass die optische Welle durch diesen strominduzierten Wellenleiter auf das Gebiet größter Verstärkung konzentriert wird. Dies nennt man auch aktive Wellenführung. Mit anderen Worten erfolgt die räumliche Begrenzung des Strompfades durch Oxidfenster. Besonders vorteilhaft bei Gewinn geführten Lasern ist die einfache Herstellbarkeit, die hohen optischen Leistungen und das Anschwingen vieler Moden.

Die Vorteile von indexgeführten Laserdioden im Vergleich zu gewinngeführten Laserdioden sind der im Allgemeinen niedrigere Schwellenstrom.

Über die Breite der Laserstege kann gesteuert werden, ob nur eine transversale Mode anschwingt (Stegbreiten von kleiner etwa 2 μm) oder ob ein Multimodebetrieb erfolgt.

In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist die Laserdiodenanordnung Laserdioden auf, die elektromagnetische Strahlung in zumindest teilweise voneinander verschiedenen Wellenlängenbereichen emittieren. Durch Variation einer Indiumkonzentration in den aktiven Zonen kann mindestens eine erste Laserdiode elektromagnetische Strahlung im blauen bis UV-Spektralbereich und mindestens eine zweite Laserdiode elektromagnetische Strahlung im grünen bis gelben Spektralbereich emittieren.

In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung kann mindestens eine erste Laserdiode elektromagnetische Strahlung im blauen bis UV-Spektralbereich, mindestens eine zweite Laserdiode elektromagnetische Strahlung im
5 grünen bis gelben Spektralbereich emittieren und mindestens eine dritte Laserdiode elektromagnetische Strahlung im roten Spektralbereich emittieren.

Die aktive Zone mit dem geringsten Indiumgehalt ist als erstes auf das Substrat aufgewachsen. Die aktive Zone mit
10 dem höchsten Indiumgehalt als letztes aufgewachsen.

In der Ausführungsform mit roten, grünen und blauen Laserdioden ergibt sich folgende Reihenfolge für das Aufwachsen: Zunächst wird die aktive Zone aus der die blaue Laserdiode hervorgeht auf das Substrat
15 aufgewachsen. Anschließend wird die aktive Zone aus der die grüne Laserdiode hervorgeht aufgewachsen. Abschließend wird die aktive Zone aus der die rote Laserdiode hervorgeht aufgewachsen.

Vorteilhaft können auch mehrere aktive Zonen eines
20 Indiumgehalts monolithisch übereinander gestapelt sein. Zum Beispiel eine aktive Zone für Emission von blauem Licht, zwei aktive Zonen für die Emission von grünem Licht und eine aktive Zone für die Emission von rotem Licht.

25 Im Folgenden seien Laserdioden betrachtet, die auf dem Materialsystem InGaAlN basieren. Erfindungsgemäß weisen Laserdioden, die im UV-Bereich emittieren, eine Indiumkonzentrationen in der aktiven Zone zwischen etwa 5% bis etwa 10% auf. Für eine Emission im blauen Bereich
30 muss die Indiumkonzentration in der aktiven Zone zwischen

etwa 15% bis etwa 25% betragen. Im grünen Bereich beträgt die Indiumkonzentration in der aktiven Zone zwischen etwa 25% bis etwa 35%. Im gelben Bereich liegt die Indiumkonzentration in der aktiven Zone zwischen etwa 35%
5 bis etwa 45%. Im roten Bereich ist die Indiumkonzentration der aktiven Zone größer als etwa 45%, vorzugsweise zwischen 45% und 60%. Diese monolithische Integration von Laserdioden, die in Kombination das gesamte sichtbare Spektrum abdecken, ist besonders
10 vorteilhaft für Anwendungen, bei denen Laserstrahlung verschiedener Wellenlängen auf kleinstem Raum notwendig ist.

Die Erfindung beansprucht ein Verfahren zur Herstellung einer Laserdiodenanordnung mit den Schritten:

- 15 - Bereitstellen eines Halbleitersubstrats,
- epitaktisches Aufwachsen einer Halbleiterschichtenfolge, dabei
 - Bilden mindestens zweier Laserstapeln mit jeweils einer aktiven Zone und
- 20 -- Bilden mindestens eines ohmschen Kontaktes, wobei die Laserstapel und der ohmsche Kontakt monolithisch auf das Halbleitersubstrat aufgewachsen werden, wobei die Laserstapel durch den ohmschen Kontakt elektrisch leitend miteinander verbunden werden und wobei aus den
25 Laserstapeln gebildete Laserdioden eine zwei-dimensionale Struktur bilden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Verschiedene Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Lösung werden im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert.

- 5 Figur 1 zeigt eine erste Epitaxiestruktur;
- Figur 2 zeigt eine zweite Epitaxiestruktur;
- Figur 3 zeigt eine dritte Epitaxiestruktur;
- Figur 4 zeigt eine vierte Epitaxiestruktur;
- 10 Figur 5 zeigt eine erste Chipstruktur basierend auf der
 ersten Epitaxiestruktur aus Figur 1;
- Figur 6 zeigt eine zweite Chipstruktur basierend auf
 der ersten Epitaxiestruktur aus Figur 1;
- Figur 7a zeigt eine dritte Chipstruktur basierend auf
 der ersten Epitaxiestruktur aus Figur 1;
- 15 Figur 7b zeigt die dritte Chipstruktur aus Figur 7a in
 einer dreidimensionalen Ansicht basierend auf
 der ersten Epitaxiestruktur aus Figur 1;
- Figur 8 zeigt eine vierte Chipstruktur basierend auf
 der ersten Epitaxiestruktur aus Figur 1;
- 20 Figur 9 zeigt eine fünfte Chipstruktur;
- Figur 10a zeigt schematisch die Emissionslinie einer
 einzelnen Laserdiode und

Figur 10b zeigt schematisch mehrere Emissionslinien mit einer rechteckigen Einhüllenden.

Figur 10c zeigt schematisch mehrere Emissionslinien mit einer gaußförmigen Einhüllenden.

AUSFÜHRUNGSBEISPIELE DES OPTOELEKTRONISCHEN BAUELEMENTS

5

Gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Figuren und die Größenverhältnisse der in den Figuren dargestellten Elemente untereinander sind nicht als
10 maßstäblich zu betrachten. Vielmehr können einzelne Elemente zur besseren Darstellbarkeit und zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

Figur 1 zeigt eine Epitaxiestruktur bei der die Tunnelodiode 9 außerhalb der Mantelschichten angeordnet
15 ist. Es handelt sich um eine Schichtenfolge mit herkömmlicher Polarität. Herkömmliche Polarität bedeutet, dass die p-Schichten 7, 8; 13, 14 jeweils auf die dem Halbleitersubstrat 2 abgewandten Seiten der beiden aktiven Zonen 6, 12 folgen. Mit anderen Worten werden die
20 p-Schichten 7, 8; 13, 14 nach der aktiven Zone 6, 12 aufgewachsen. Auf das n-dotierte Halbleitersubstrat 2 folgt in Wachstumsrichtung eine Bufferschicht 3, eine erste n-Mantelschicht 4, ein erster n-Wellenleiter 5 eine erste aktive Zone 6, ein erster p-Wellenleiter 7, eine
25 erste p-Mantelschicht 8, eine Tunnelodiode 9, eine zweite n-Mantelschicht 10, ein zweiter n-Wellenleiter 11, eine zweite aktive Zone 12, ein zweiter p-Wellenleiter 13,

eine zweite p-Mantelschicht 14 und eine p-Kontaktschicht 15.

Ein erster Laserstapel 17 umfasst die erste n-Mantelschicht 4, den ersten n-Wellenleiter 5, die erste aktive Zone 6, den ersten p-Wellenleiter 7 und die erste p-Mantelschicht. Ein zweiter Laserstapel 18 umfasst die zweite n-Mantelschicht 10, den zweiten n-Wellenleiter 11, die zweite aktive Zone 12, den zweiten p-Wellenleiter 13 und die zweite p-Mantelschicht.

10 Herkömmliche Polarität bedeutet, dass bei den Laserdioden, die aus den Laserstapeln 17 und 18 gebildet werden, die p-Seiten an die Oberseiten, also auf den dem Halbleitersubstrat abgewandten Seiten, der aktiven Zonen 6 und 12 angrenzen.

15 Figur 2 zeigt eine Epitaxiestruktur bei der im Gegensatz zur Figur 1 die Tunnelndioden 107 und 111 innerhalb der Mantelschichten angeordnet sind. Es handelt sich wie schon in Figur 1 um eine Schichtenfolge mit herkömmlicher Polarität. Bei den Laserdioden, die aus den Laserstapeln 117, 118 und 119 gebildet werden, grenzen die p-Seiten an die Oberseiten der aktiven Zonen 105, 109 und 113 an. Auf das n-dotierte Substrat 101 folgt in Wachstumsrichtung eine Bufferschicht 102, eine n-Mantelschicht 103, ein erster n-Wellenleiter 104, eine erste aktive Zone 105, ein erster p-Wellenleiter 106, eine erste Tunnelndiode 107, ein zweiter n-Wellenleiter 108, eine zweite aktive Zone 109, ein zweiter p-Wellenleiter 110, eine zweite Tunnelndiode 111, ein dritter n-Wellenleiter 112, eine dritte aktive Zone 113,

ein dritter p-Wellenleiter 114, eine p-Mantelschicht 115, eine p-Kontaktschicht 116.

Ein erster Laserstapel 117 umfasst die n-Mantelschicht 103, den ersten n-Wellenleiter 104, die erste aktive Zone 105 und den ersten p-Wellenleiter 106. Ein zweiter Laserstapel 118 umfasst den zweiten n-Wellenleiter 108, die zweite aktive Zone 109 und den zweiten p-Wellenleiter 110. Ein dritter Laserstapel 119 umfasst den dritten n-Wellenleiter 112, die dritte aktive Zone 113, den dritten p-Wellenleiter 114 und die p-Mantelschicht 115.

Dadurch dass in Figur 2 die Tunnelndioden innerhalb der Mantelschichten angeordnet sind, sind die aktiven Zonen näher beieinander. Dies ermöglicht eine geringere Bauhöhe der Laserdiodenanordnung.

Figur 3 zeigt eine Epitaxiestruktur bei der die Tunnelndioden 204 und 210 außerhalb der Mantelschichten angeordnet sind. Es handelt sich um eine Schichtenfolge mit invertierter Polarität. Die dem Halbleitersubstrat 201 zugewandte Schicht, die an die aktive Zone 207, 213 angrenzt, ist ein p-Wellenleiter 206, 212. Die vom Halbleitersubstrat 201 abgewandte Schicht, die an die aktive Zone 207, 213 angrenzt, ist ein n-Wellenleiter 208, 214 ist. Die Schichtenfolge weist einen ersten Laserstapel 217 und einen zweiten Laserstapel 218 auf. Auf das Halbleitersubstrat 201 folgt in Wachstumsrichtung eine Bufferschicht 202, eine erste n-Mantelschicht 203, eine erste Tunnelndiode 204, eine erste p-Mantelschicht 205, ein erster p-Wellenleiter 206, eine erste aktive Zone 207, einer erster n-Wellenleiter 208, eine zweite n-Mantelschicht 209, eine zweite Tunnelndiode 210, eine

zweite p-Mantelschicht 211, ein zweiter p-Wellenleiter 212, eine zweite aktive Zone 213, ein zweiter n-Wellenleiter 214, eine dritte n-Mantelschicht 215 und darauf eine n-typ Kontaktschicht 216.

- 5 Figur 4 zeigt eine Epitaxiestruktur bei der die erste Tunnelndiode 304 außerhalb der Mantelschichten angeordnet ist und bei der die zweite Tunnelndiode 309 innerhalb der Mantelschichten angeordnet ist. Es handelt sich wie schon in Figur 3 um eine Schichtenfolge mit invertierter
- 10 Polarität. Die erste Tunnelndiode 304 ist zwingend notwendig, da das Substrat n-leitend ist. Die dem Halbleitersubstrat 301 zugewandte Schicht, die an die aktive Zone 307, 311 angrenzt, ist ein p-Wellenleiter 306, 310. Die vom Halbleitersubstrat 301 abgewandte
- 15 Schicht, die an die aktive Zone 307, 311 angrenzt ist ein n-Wellenleiter 308, 312.

- Auf das Halbleitersubstrat 301 folgt in Wachstumsrichtung eine Bufferschicht 302, eine erste n-Mantelschicht 303, eine erste Tunnelndiode 304, eine p-Mantelschicht 305, ein
- 20 erster p-Wellenleiter 306, eine erste aktive Zone 307, ein erster n-Wellenleiter 308, eine zweite Tunnelndiode 309, ein zweiter p-Wellenleiter 310, eine zweite aktive Zone 311, ein zweiter n-Wellenleiter 312, eine zweite n-Mantelschicht 313 und eine n-typ Kontaktschicht 314.

- 25 Die erste Tunnelndiode 304 ist notwendig, wenn das Halbleitersubstrat 301 vom n-Typ ist.

Die Schichtenfolge weist einen ersten Laserstapel 317 und einen zweiten Laserstapel 318 auf.

Figuren 5 bis 8 basieren auf der in Figur 1 dargestellten epitaktisch aufgewachsenen Schichtenfolge, also mit zwei aktiven Zonen 6 und 12 und mit einer Tunnelndiode 9, die außerhalb der Mantelschichten 8, 10 angeordnet sind.

- 5 Figur 5 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur 20 in einer zweidimensionalen Darstellung. Die Laserdiodenanordnung 20 weist ein Halbleitersubstrat 2, zwei Laserstapeln 17 und 18 mit jeweils einer aktiven Zone 6 und 12 und einem ohmschen Kontakt 9 auf. Die
- 10 Laserstapel 17 und 18 und der ohmsche Kontakt 9 sind monolithisch auf das Halbleitersubstrat 2 aufgewachsen. Die Laserstapel 17 und 18 sind durch den ohmschen Kontakt 9 elektrisch verbunden. Aus den Laserstapeln 17 und 18 gebildete Laserdioden 26a, 26b, 27a und 27b bilden eine
- 15 zweidimensionale Struktur. Die Laserdioden 26a, 26b, 27a und 27b sind vertikal zum Halbleitersubstrat 2 gestapelt. Der vertikale Abstand zwischen den Laserdioden 26a, 26b, 27a und 27b ist kleiner als etwa 20 μm , bevorzugt kleiner als etwa 5 μm und besonders bevorzugt kleiner als etwa 1
- 20 μm . Vorzugsweise ist der vertikale Abstand zwischen den Laserdioden 26a, 26b, 27a und 27b kleiner als die Wellenlänge des von den Laserdioden emittierten Lichtes. Der ohmsche Kontakt 9 ist als Tunnelndiode ausgebildet und lichtdurchlässig.
- 25 Weiters sind die Laserdioden 26a, 26b, 27a und 27b horizontal, also parallel, zum Halbleitersubstrat 2 angeordnet. Der horizontale Abstand zwischen den Laserdioden 26a, 26b, 27a und 27b ist kleiner als etwa 100 μm , bevorzugt kleiner als etwa 20 μm und besonders
- 30 bevorzugt kleiner als etwa 5 μm .

Auf der freiliegenden Seite des Halbleitersubstrats ist eine n-Kontakt-Metallisierung 25 aufgebracht.

Die Schichtenfolge p-Kontaktschicht 15, zweite p-Mantelschicht 14 und zweiter p-Wellenleiter 13 sind z.B. 5 durch Ätzen oder Lithografie strukturiert. Die Strukturierung wird möglichst knapp vor der zweiten aktiven Zone gestoppt, um zumindest eine teilweise Indexführung des Laserlichtes zu erreichen. Auf diese Schichten ist zumindest abschnittsweise eine Passivierung 10 23 aufgebracht. Oberhalb der Laserstege 21 und 22 ist die Passivierung 23 aus Kontaktierungsgründen geöffnet. Eine p-Kontakt-Metallisierung 24 ist darauf ganzflächig abgeschieden. Es bildet sich ein erster Lasersteg 21 und ein zweiter Lasersteg 22 aus. In der zweiten aktiven Zone 15 12 bilden sich zwei Laserdioden 26a und 26b aus, die das Laserlicht mittels einer Indexführung führen. Die zweite aktive Zone 12 wird lateral durch einen Brechungsindexsprung auf einen Streifen begrenzt. Der Brechungsindexsprung wird durch den Übergang zweite 20 aktive Zone 12, zweitem p-Wellenleiter 13 und Passivierung 23 erzeugt. In lateraler Richtung wird eine Doppelheterostruktur aufgebaut, so dass der aktive Streifen allseitig von Material mit kleinerem Brechungsindex umgeben ist. Die optische Welle wird in 25 einem Wellenleiter geführt und kann nur darin die induzierte Emission anregen. Zur Verbesserung des elektrischen Confinements wird der Kontakt als Streifen ausgebildet.

In der ersten aktiven Zone 6 werden zwei gewinngeführte 30 Laserdioden 27a und 27b gebildet, indem die aktive Zone 6 lateral durch die Ladungsträgerinjektion begrenzt ist. In

der ganzflächigen aktiven Zone 6 entsteht lateral ein der Stromdichte proportionales Verstärkungsprofil mit dem eine Erniedrigung des Brechungsindex verbunden ist. Im Bereich größter Verstärkung, d.h. höchster stimulierter

5 Emission, wird der Brechungsindex als Folge verringerter Ladungsträgerkonzentration etwas angehoben, so dass die optische Welle durch diesen strominduzierten Wellenleiter auf das Gebiet größter Verstärkung konzentriert wird. Vorteile gewinngeführter Laserdioden sind einfache

10 Herstellung und hohe optische Leistungen. Nachteilig sind unter anderem die hohen Schwellenströme, die aus der lateralen Diffusion der Ladungsträger resultieren.

An den Stellen, an denen die Laserdioden 26a, 26b, 27a und 27b markiert sind, sind auch die zugehörigen

15 Leuchtflecken der Laserdioden zu finden. Dies gilt auch für sämtliche folgende Figuren.

Figur 6 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur 30 in einer zweidimensionalen Darstellung. Wie schon in Figur 5 weist die Chipstruktur 30 zwei

20 Laserstege 21, 22 auf. In Abweichung von Figur 5 zeigt Figur 6 eine Chipstruktur bei der die Laserstege 21 und 22 von der p-Kontakt-Metallisierung 24 bis hin zum ersten n-Wellenleiter 5 reichen. Damit durchschneiden die Laserstege 21 und 22 insbesondere die zweite aktive Zone

25 12, die Tunneldiode 9 und die erste aktive Zone 6. Die dabei gebildeten Gräben ergeben elektrisch voneinander isolierte Teilschichten. Die Chipstruktur 30 weist eine erste indexgeführte Laserdiode 36a, eine zweite indexgeführte Laserdiode 36b, eine dritte indexgeführte

30 Laserdiode 37a und eine vierte indexgeführte Laserdiode 37b auf.

Die Chipstruktur 30 ermöglicht eine bessere Aktivierung der p-dotierten Schichten in Abhängigkeit vom Grad des ausgetriebenen Wasserstoffs. Die p-Leitfähigkeit erhöht sich. Durch den Aktivierungsschritt wird das

- 5 Ausdiffundieren unerwünschter Elemente, insbesondere Wasserstoff, die zusammen mit dem Dotierstoff (Magnesium) im Halbleitermaterial enthalten sind, aus den p-dotierten Bereichen begünstigt. Dadurch lassen sich Chipstrukturen 30 mit einer geringeren Vorwärtsspannung fertigen.
- 10 Durch die tiefe Ätzung der Chipstruktur 30 kann Wasserstoff besonders gut seitlich ausgetrieben werden.

Figur 7a zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur 40 in einer zweidimensionalen Darstellung. Abweichend von Figur 5 und 6 weist die Figur 7a eine

- 15 Chipstruktur 40 auf, bei der der Brechungsindexsprung weiter zu den Laserstegen 21, 22 nach außen verlagert ist, als dies bei Figur 5 und Figur 6 der Fall ist. Die Chipstruktur weist eine erste indexgeführte Laserdiode 46a und eine zweite indexgeführte Laserdiode 46b auf.
- 20 Darüber hinaus weist Figur 7a eine erste gewinngeführte Laserdiode 47a und eine zweite gewinngeführte Laserdiode 47b auf.

Figur 7b zeigt das Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur aus Figur 7a in einer dreidimensionalen Darstellung. Wie

- 25 schon in Figur 7a weist die Chipstruktur 40 eine erste indexgeführte Laserdiode 46a und eine zweite indexgeführte Laserdiode 46b auf. Zudem ist eine erste gewinngeführte Laserdiode 47a und eine zweite gewinngeführte Laserdiode 47b vorgesehen.

Die Laserdioden 46a, 46b, 47a und 47b und die zugehörigen Lichtflecke der Laserdioden sind nicht getrennt voneinander dargestellt. Genauer betrachtet weisen die Laserdioden 46a, 46b, 47a und 47b eine drei-dimensionale
5 Erstreckung auf, während die Lichtflecke nur eine zweidimensionale Erstreckung aufweisen.

Figur 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur 60 in einer zwei-dimensionalen Darstellung. Die Chipstruktur 60 weist ausschließlich gewinngeführte
10 Laserdioden 66a, 66b, 67a und 67b auf. Es tritt keinerlei Brechungsindexsprung auf. Solch eine Anordnung wird auch als Oxidstreifenlaser bezeichnet. Diese Anordnung ist einfach in der Herstellung und für hohe Ausgangsleistungen geeignet.

Figur 9a zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur 70a in einer zwei-dimensionalen Darstellung. Die Chipstruktur 70a weist ausschließlich gewinngeführte Laserdioden auf. Diese Anordnung ist einfach in der Herstellung und für hohe Ausgangsleistungen geeignet. Die
20 Chipstruktur stellt eine monolithisch gewachsene Lichtquelle dar, die gleichzeitig Licht im grünen oder gelben und im blauen Spektralbereich emittiert. Die Laserdioden 95a und 95b emittieren im grünen oder gelben Spektralbereich und die Laserdioden 96a und 96b
25 emittieren im blauen Spektralbereich.

Die Schichtenfolge des sechsten Ausführungsbeispiels stellt sich wie folgt dar: Ausgangsschicht ist das Halbleitersubstrat 72. Auf der Unterseite ist die n-Kontakt Metallisierung 71 aufgebracht. Auf die Oberseite
30 des Halbleitersubstrats 72 ist die Bufferschicht 73

aufgewachsen. Es folgen in Wachstumsrichtung eine erste n-Mantelschicht 74, ein erster n-Wellenleiter 75, eine erste aktive Zone 76 mit Emission von blauem Licht, ein erster p-Wellenleiter 77, eine erste p-Mantelschicht 78, 5 eine erste Tunnelodiode 79, eine zweite n-Mantelschicht 80, ein zweiter n-Wellenleiter 81, eine zweite aktive Zone 82 mit Emission von grünem oder gelbem Licht, eine zweiter p-Wellenleiter 83, eine zweite p-Mantelschicht 84, eine hochdotierte p-Kontaktschicht 91, eine 10 Passivierung 92 und abschließend eine p-Kontakt-Metallisierung 93.

Im vorliegend Ausführungsbeispiel, basierend auf dem einzigen Materialsystem InGaAlN, ist die Stapelreihenfolge der aktiven Zonen ausgehend vom 15 Halbleitersubstrat:

-Blau 76

-Grün oder Gelb 82

Durch eine Kombination von blauem und gelbem Laserlicht kann eine Weißlichtquelle erzeugt werden.

20 Alternativ kann eine beliebig andere Wellenlänge durch Emission verschiedener Laser-Wellenlängen erzeugt werden.

Figur 9b zeigt ein sechstes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur 70b in einer zwei-dimensionalen Darstellung. Die Chipstruktur 70b weist ausschließlich gewinngeführte 25 Laserdioden auf. Diese Anordnung ist einfach in der Herstellung und für hohe Ausgangsleistungen geeignet. Die Chipstruktur stellt eine monolithisch gewachsene Lichtquelle dar, die gleichzeitig Licht im Roten, Grünen und Blauen Spektralbereich emittiert. Die Laserdioden 94a 30 und 94b emittieren im roten Spektralbereich; die

Laserdioden 95a und 95b im grünen Spektralbereich und die Laserdioden 96a und 96b im blauen Spektralbereich.

Die Anordnung kann für die gleichzeitige Emission von Laserlicht in allen drei Primärfarben auf einem einzigen
5 InGaAlN-Materialsystem basieren. Alternativ kann die Anordnung für die gleichzeitige Emission von grünem und blauem Laserlicht auf dem Materialsystem (Al,In)GaN und für die Emission von rotem Laserlicht auf dem Materialsystem InGaAlP beruhen.

10 Die Schichtenfolge des sechsten Ausführungsbeispiels stellt sich wie folgt dar: Ausgangsschicht ist das Halbleitersubstrat 72. Auf der Unterseite ist die n-Kontakt Metallisierung 71 aufgebracht. Auf die Oberseite des Halbleitersubstrats 72 ist die Bufferschicht 73
15 aufgewachsen. Es folgen in Wachstumsrichtung eine erste n-Mantelschicht 74, ein erster n-Wellenleiter 75, eine erste aktive Zone 76 mit Emission von blauem Licht, ein erster p-Wellenleiter 77, eine erste p-Mantelschicht 78, eine erste Tunnelodiode 79, eine zweite n-Mantelschicht
20 80, ein zweiter n-Wellenleiter 81, eine zweite aktive Zone 82 mit Emission von grünem Licht, eine zweiter p-Wellenleiter 83, eine zweite p-Mantelschicht 84, eine zweite Tunnelodiode 85, eine dritte n-Mantelschicht 86, ein dritter n-Wellenleiter 87, eine dritte aktive Zone 88
25 mit Emission von rotem Licht, ein dritter p-Wellenleiter 89, eine dritte p-Mantelschicht 90, eine dritte, hochdotierte p-Kontaktschicht 91, eine Passivierung 92 und abschließend eine p-Kontakt-Metallisierung 93.

Im vorliegend Ausführungsbeispiel, basierend auf dem
30 einzigen Materialsystem InGaAlN, ist die

Stapelreihenfolge der aktiven Zonen ausgehend vom Halbleitersubstrat:

-Blau 76

-Grün 82

5 -Rot 88

Diese Reihenfolge ist vorteilhaft, da dabei die indiumreichste und damit temperaturempfindlichste aktive Zone Rot 88 zuletzt aufgewachsen wird. Die Kombination von blauem, grünem und rotem Laserlicht kann zu einer
10 Weißlichtquelle kombiniert werden, die einen Lichtfleck mit extremer Leuchtdichte zur Verfügung stellt.

Laserdioden stellen Schlüsselkomponenten für die RGB-Laserprojektion dar, wobei die Laserwellenlängen typischerweise 600 bis 660nm für ROT, 430 bis 470nm für
15 BLAU und 510 bis 550nm für GRÜN betragen.

Laserbasierte RGB-Lichtquellen weisen viele Vorteile (hohe Effizienz, hohe Lebensdauer, hohe Focustiefe, kompakte Bauform) gegenüber herkömmlichen Projektionssystemen (Beamerlampe, LED-basierte
20 Projektoren) auf.

Eine derartige laserbasierte Lichtquelle hat wegen der geringen abstrahlenden Fläche und dem begrenzten Emissionswinkel eine um mehrere Größenordnungen höhere Leuchtdichte als herkömmliche LED-basierte Lichtquellen.

25 Figur 10 a zeigt Laserlicht 400, das aus einer Laserdiode stammt. Die Laserdiode weist eine aktive Zone auf. Jede aktive Zone weist einen oder mehrere Quantenwells auf. Vorzugsweise kommen pro aktiver Zone 2 bis 5 Quantenwells zum Einsatz. Die Quantenwells sind durch
30 Barrierschichten voneinander getrennt. Das von den

Quantenwells einer aktiven Zone emittierte Licht ist hochmonochromatisch. Infolge der hohen Kohärenz, die von der engen Wellenlängenverteilung von Laserdioden herrührt, neigen laserbasierte RotGrünBlau(RGB)-

5 Lichtquellen zu unerwünschten Interferenzerscheinungen in den Projektionsabbildungen. Diese Helligkeitsschwankungen zeigen sich als sogenannte „Speckle-Muster“. Das unerwünschte „Specklen“ beschränkt den Einsatz von Laserlichtquellen für Projektionszwecke. Das Speckle-

10 Muster zeigt sich als grob granuliertes Muster der Strahlintensität. Beispielsweise beträgt die Halbwertsbreite für monochromatisches blaues Licht bei etwa 450 nm 0,5 bis 1,5 nm. Um die Specklemuster zu verringern, müsste die emittierte Laserstrahlung eine

15 breitere Wellenlängenverteilung aufweisen als die typischen Werte im nm-Bereich oder darunter. Eine Möglichkeit das Specklen zu reduzieren wäre es, die Wellenlängenverteilung auf epitaktischem Weg über gezielte Inhomogenitäten in der aktiven Zone zu

20 verbreitern (z.B. durch erhöhte Wachstumstemperaturen). Allerdings führen diese Inhomogenitäten auch zu verstärkten Verlusten, einer verringerten Effizienz und damit verringerten Lebensdauer.

Figur 10 b zeigt die Emission von Laserlicht mit einer

25 größeren spektralen Breite als in Figur 10a. Das Laserlicht setzt sich zusammen aus Laserlicht, das aus fünf verschiedenen aktiven Zonen stammt, die über lichtdurchlässige Tunnelschichten miteinander verbunden sind. Der Indiumgehalt variiert zwischen den

30 verschiedenen aktiven Zonen. Die aktiven Zonen weisen in ihrer Emissionswellenlänge gezielt Unterschiede auf. In

Summe führt dies zu einer verbreiterten Wellenlängenverteilung des ausgesandten Lichtes. Zum Beispiel können 2 bis 20 verschiedene aktive Zonen mit gezielten Wellenlängenunterschieden zwischen 0,5nm und 20nm übereinander angeordnet sein. Bei gleichzeitigem Betrieb führt dies zu der gewünschten breiten Wellenlängenverteilung. Beispielsweise überlappen die Emissionslinien aus den verschiedenen aktiven Zonen derart, dass eine Einhüllende 401 bei einer mittleren Wellenlänge von 450 nm mit einer spektralen Breite von etwa 4 bis 20 nm erzeugt wird. Die Verwendung von lichtdurchlässigen Tunnelndioden ist hierfür zwingend notwendig. Das Laserlicht ist Specklefrei und ist daher besonders gut für die Laserprojektion geeignet. Dieses Verfahren kann mit jeder dieser Grundfarben (ROT-GRÜN-BLAU) erfolgen und somit zu einer Specklefreien Laser-Projektion führen. Die Einhüllende 401 weist eine Rechteckform auf. Das Rechteckprofil ergibt sich dadurch, dass alle aktiven Zonen die gleiche Effizienz aufweisen.

Figur 10c zeigt wie schon Figur 10b eine Laseremission mit einer größeren spektralen Breite als in Figur 10a. Das Laserlicht setzt sich zusammen aus Laserlicht, das aus fünf verschiedenen aktiven Zonen stammt, die über lichtdurchlässige Tunnelschichten miteinander verbunden sind. Im Unterschied zu Figur 10b ergibt sich für die Intensitätsverteilung in Abhängigkeit von der Wellenlänge eine näherungsweise gaußförmige Einhüllende. Die Gaußform kann erreicht werden, in dem die mittlere aktive Zone effizienter als die äußeren aktiven Zonen ist. Die Effizienz der aktiven Zonen kann über die Wachstumstemperatur eingestellt werden. Ist die

Wachstumstemperatur niedriger als die optimale Wachstumstemperatur, ist die entstehende Kristallqualität schlechter, die Effizienz der aktiven Zone ist reduziert. Ist die Wachstumstemperatur höher als die optimale Wachstumstemperatur, ist der Indiumgehalt über die Ausdehnung der Quantenwells uneinheitlich. Wiederum ist die Effizienz der aktiven Zone reduziert.

Die Laserdiodenanordnung und das Verfahren zum Herstellen einer Laserdiodenanordnung wurden zur Veranschaulichung des zugrundeliegenden Gedankens anhand einiger Ausführungsbeispiele beschrieben. Die Ausführungsbeispiele sind dabei nicht auf bestimmte Merkmalskombinationen beschränkt. Auch wenn einige Merkmale und Ausgestaltungen nur im Zusammenhang mit einem besonderen Ausführungsbeispiel oder einzelnen Ausführungsbeispielen beschrieben wurden, können sie jeweils mit anderen Merkmalen aus anderen Ausführungsbeispielen kombiniert werden. Es ist ebenso denkbar, in Ausführungsbeispielen einzelne dargestellte Merkmale oder besondere Ausgestaltungen wegzulassen oder hinzuzufügen, soweit die allgemeine technische Lehre realisiert bleibt.

Auch wenn die Schritte des Verfahrens zum Herstellen einer Laserdiodenanordnung in einer bestimmten Reihenfolge beschrieben sind, so ist es selbstverständlich, dass jedes der in dieser Offenbarung beschriebenen Verfahren in jeder anderen, sinnvollen Reihenfolge durchgeführt werden kann, wobei auch Verfahrensschritte ausgelassen oder hinzugefügt werden können, soweit nicht von dem Grundgedanken der beschriebenen technischen Lehre abgewichen wird.

Bezugszeichenliste

	1	Erstes Ausführungsbeispiel einer Schichtenfolge
5	2	Substrat
	3	ufferschicht
	4	erste n-Mantelschicht
	5	erster n-Wellenleiter
	6	erste aktive Zone
10	7	erster p-Wellenleiter
	8	erste p-Mantelschicht
	9	Tunnelodiode
	10	zweite n-Mantelschicht
	11	zweiter n-Wellenleiter
15	12	zweite aktive Zone
	13	zweiter p-Wellenleiter
	14	zweite p-Mantelschicht
	15	p-Kontaktschicht
	17	erster Laserstapel
20	18	zweiter Laserstapel

- 20 erstes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur
- 21 erster Lasersteg
- 22 zweiter Lasersteg
- 5 23 Passivierung
- 24 p-Kontakt-Metallisierung
- 25 n-Kontakt-Metallisierung
- 26a erste indexgeführte Laserdiode
- 10 26b zweite indexgeführte Laserdiode
- 27a erste gewinngeführte Laserdiode
- 27b zweite gewinngeführte Laserdiode
- 30 zweites Ausführungsbeispiels einer Chipstruktur
- 15
- 36a erste indexgeführte Laserdiode
- 36b zweite indexgeführte Laserdiode
- 37a dritte indexgeführte Laserdiode
- 37b vierte indexgeführte Laserdiode

- 40 drittes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur
- 46a erste indexgeführte Laserdiode
- 5 46b zweite indexgeführte Laserdiode
- 47a erste gewinngeführte Laserdiode
- 47b zweite gewinngeführte Laserdiode
- 10 50 Ausschnitt einer räumlichen Darstellung des
 dritten Ausführungsbeispiels einer Chipstruktur
- 60 viertes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur
- 66a erste gewinngeführte Laserdiode
- 15 66b zweite gewinngeführte Laserdiode
- 67a dritte gewinngeführte Laserdiode
- 67b vierte gewinngeführte Laserdiode
- 70 a fünftes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur
- 20 70b sechstes Ausführungsbeispiel einer Chipstruktur
- 71 n-Kontakt-Metallisierung

	72	Halbleitersubstrat, n-Typ
	73	Bufferschicht
	74	erste n-Mantelschicht
	75	erster n-Wellenleiter
5	76	erste aktive Zone mit Emission von blauem Licht
	77	erster p-Wellenleiter
	78	erste p-Mantelschicht
	79	erste Tunnelodiode
	80	zweite n-Mantelschicht
10	81	zweiter n-Wellenleiter
	82	zweite aktive Zone mit Emission von grünem Licht
	83	zweiter p-Wellenleiter
	84	zweite p-Mantelschicht
15	85	zweite Tunnelodiode
	86	dritte n-Mantelschicht
	87	dritter n-Wellenleiter
	88	dritte aktive Zone mit Emission von rotem Licht
	89	dritter p-Wellenleiter
20	90	dritte p-Mantelschicht
	91	p-Kontaktschicht

- 92 Passivierung
- 93 p-Kontakt-Metallisierung
- 94a erste gewinngeführte Laserdiode
- 94b zweite gewinngeführte Laserdiode
- 5 95a dritte gewinngeführte Laserdiode
- 95b vierte gewinngeführte Laserdiode
- 96a fünfte gewinngeführte Laserdiode
- 96b sechste gewinngeführte Laserdiode
- 97 erster Laserstapel
- 10 98 zweiter Laserstapel
- 99 dritter Laserstapel
- 100 Zweites Ausführungsbeispiels einer Schichtenfolge
- 15 101 Substrat
- 102 Bufferschicht
- 103 n-Mantelschicht
- 104 erster n-Wellenleiter
- 105 erste aktive Zone
- 20 106 erster p-Wellenleiter
- 107 erste Tunnelodiode

- 108 zweiter n-Wellenleiter
- 109 zweite aktive Zone
- 110 zweiter p-Wellenleiter
- 111 zweite Tunnelodiode
- 5 112 dritter n-Wellenleiter
- 113 dritte aktive Zone
- 114 dritter p-Wellenleiter
- 115 p-Mantelschicht
- 116 p-Kontaktschicht
- 10 117 erster Laserstapel
- 118 zweiter Laserstapel
- 119 dritter Laserstapel
- 15 200 Drittes Ausführungsbeispiels einer
Schichtenfolge
- 201 Substrat
- 202 Bufferschicht
- 203 erste n-Mantelschicht
- 204 erste Tunnelodiode
- 20 205 erste p-Mantelschicht
- 206 erster p-Wellenleiter

	207	erste aktive Zone
	208	erster n-Wellenleiter
	209	zweite n-Mantelschicht
	210	zweite Tunnelodiode
5	211	zweite p-Mantelschicht
	212	zweiter p-Wellenleiter
	213	zweite aktive Zone
	214	zweiter n-Wellenleiter
	215	dritte n-Mantelschicht
10	216	n-typ Kontaktschicht
	217	erster Laserstapel
	218	zweiter Laserstapel
	300	viertes Ausführungsbeispiel einer Schichtenfolge
15	301	Substrat
	302	Bufferschicht
	303	erste n-Mantelschicht
	304	erste Tunnelodiode
20	305	p-Mantelschicht
	306	erster p-Wellenleiter

	307	erste aktive Zone
	308	erster n-Wellenleiter
	309	zweite Tunnelodiode
	310	zweiter p-Wellenleiter
5	311	zweite aktive Zone
	312	zweiter n-Wellenleiter
	313	zweite n-Mantelschicht
	314	n-typ Kontaktschicht
	317	erster Laserstapel
10	318	zweiter Laserstapel
	400	Einzelemission
	401	Einhüllende

PATENTANSPRÜCHE

1. Laserdiodenanordnung mit
- einem Halbleitersubstrat (2; 101; 201; 301; 72),
 - mindestens zwei Laserstapeln (17, 18; 117, 118, 119;
5 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) mit jeweils einer
aktiven Zone (6, 12; 105, 109, 113; 207, 213; 307,
311; 76, 82, 88) und
 - mindestens einem lichtdurchlässigen ohmschen Kontakt
(9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85), wobei
10 die Laserstapel (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317,
318; 97, 98, 99) und der lichtdurchlässige ohmsche
Kontakt (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85)
monolithisch auf das Halbleitersubstrat (2; 101; 201;
301; 72) aufgewachsen sind, wobei
15 die Laserstapel (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317,
318; 97, 98, 99) durch den lichtdurchlässigen ohmschen
Kontakt (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85)
elektrisch verbunden sind und wobei aus den
Laserstapeln (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317,
20 318; 97, 98, 99) gebildete Laserdioden (26a, 26b, 27a,
27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b,
67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) eine zwei-
dimensionale Struktur bilden.
2. Laserdiodenanordnung gemäß Anspruch 1, wobei der
25 lichtdurchlässige ohmsche Kontakt (9; 107, 111; 204,
210; 304, 309; 79, 85) eine Tunnelodiode ist.

3. Laserdiodenanordnung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) vertikal zum Halbleitersubstrat
5 (2; 101; 201; 301; 72) gestapelt sind.

4. Laserdiodenanordnung gemäß einem der vorigen Ansprüche, wobei der vertikale Abstand zwischen den Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a,
10 95b, 96a, 96b) kleiner als etwa 20 μm , bevorzugt kleiner als etwa 5 μm und besonders bevorzugt kleiner als etwa 1 μm ist.

5. Laserdiodenanordnung gemäß einem der vorigen Ansprüche, wobei der vertikale Abstand zwischen den
15 Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) kleiner als die Wellenlänge des von den Laserdioden emittierten Lichtes ist.

6. Laserdiodenanordnung gemäß einem der vorherigen
20 Ansprüche, wobei die Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) in horizontaler Richtung, parallel zum Halbleitersubstrat (2; 101; 201; 301; 72), angeordnet sind.

7. Laserdiodenanordnung gemäß Anspruch 6, wobei der horizontale Abstand zwischen den Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b)
25 kleiner als etwa 100 μm , bevorzugt kleiner als etwa 20 μm und besonders bevorzugt kleiner als etwa 5 μm ist.
30

8. Laserdiodenanordnung gemäß einem der vorigen Ansprüche, wobei die dem Halbleitersubstrat (201; 301) zugewandte Schicht, die an die aktive Zone (207, 213; 307, 311) angrenzt, ein p-Wellenleiter (206, 212; 306, 310) ist und die vom Halbleitersubstrat (201; 301) abgewandte Schicht, die an die aktive Zone (207, 213; 307, 311) angrenzt, ein n-Wellenleiter (208, 214; 308, 312) ist.

9. Laserdiodenanordnung gemäß einem der vorigen Ansprüche, wobei die Laserdioden (27a, 27b; 47a, 47b; 66a, 66b; 67a, 67b; 94a, 94b; 95a, 95b; 96a, 96b) gewinngeführt sind.

10. Laserdiodenanordnung gemäß einem der vorigen Ansprüche, wobei die Laserdioden (26a, 26b; 36a, 36b; 37a, 37b; 46a, 46b) indexgeführt sind.

11. Laserdiodenanordnung gemäß Anspruch 10, wobei Gräben zwischen Laserstegen (21, 22), die die indexgeführten Laserdioden (36a, 37a; 36b, 37b) aufweisen, sämtliche aktiven Zonen (6; 12) durchschneiden.

12. Laserdiodenanordnung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei die aktiven Zonen (6, 12; 105, 109, 113; 207, 213; 307, 311; 76, 82, 88) so ausgelegt sind, dass die Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) aus verschiedenen aktiven Zonen elektromagnetische Strahlung in voneinander verschiedenen Wellenlängenbereichen emittieren.

13. Laserdiodenanordnung gemäß Anspruch 12 aus einem GaN-Halbleitersystem, wobei durch Variation einer Indiumkonzentration in den aktiven Zonen (6, 12; 105, 109, 113; 207, 213; 307, 311; 76, 82) mindestens
5 eine erste Laserdiode elektromagnetische Strahlung im blauen bis UV-Spektralbereich und mindestens eine zweite Laserdiode elektromagnetische Strahlung im grünen bis gelben Spektralbereich emittieren.

14. Laserdiodenanordnung gemäß Anspruch 12 aus
10 einem GaN-Halbleitersystem, wobei durch Variation einer Indiumkonzentration in den aktiven Zonen (6, 12; 105, 109, 113; 207, 213; 307, 311; 76, 82, 88) mindestens eine erste Laserdiode elektromagnetische Strahlung im blauen bis UV-Spektralbereich, mindestens
15 eine zweite Laserdiode elektromagnetische Strahlung im grünen bis gelben Spektralbereich und mindestens eine dritte Laserdiode elektromagnetische Strahlung im roten Spektralbereich emittieren.

15. Laserdiodenanordnung gemäß Anspruch 13 oder 14,
20 wobei bei Laserdioden im

- UV-Bereich die Indiumkonzentrationen zwischen etwa 5% bis etwa 10%,
- blauen Bereich die Indiumkonzentrationen zwischen etwa 15% bis etwa 25%,
- 25 - grünen Bereich die Indiumkonzentrationen zwischen etwa 25% bis etwa 35%,
- gelben Bereich die Indiumkonzentrationen zwischen etwa 35% bis etwa 45% und im
- roten Bereich die Indiumkonzentrationen größer als
30 etwa 45%, vorzugsweise zwischen 45% und 60% liegen.

16. Verfahren zur Herstellung einer
Laserdiodenanordnung mit den Schritten:

- Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (2; 101; 201; 301; 72),
- 5 - epitaktisches Aufwachsen einer Halbleiterschichtenfolge, dabei
 - Bilden mindestens zweier Laserstapeln (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) mit jeweils einer aktiven Zone (6, 12; 105, 109, 113; 207, 213; 307, 311) und
 - 10 -- Bilden mindestens eines lichtdurchlässigen ohmschen Kontaktes (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85), wobei
 - die Laserstapel (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) und der lichtdurchlässige ohmsche Kontakt (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85) monolithisch auf das Halbleitersubstrat (2; 101; 201; 301; 72) aufgewachsen werden, wobei
 - 15 die Laserstapel (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) durch den lichtdurchlässigen ohmschen Kontakt (9; 107, 111; 204, 210; 304, 309; 79, 85) elektrisch leitend miteinander verbunden werden und
 - 20 wobei aus den Laserstapeln (17, 18; 117, 118, 119; 217, 218; 317, 318; 97, 98, 99) gebildete Laserdioden (26a, 26b, 27a, 27b; 36a, 36b, 37a, 37b; 46a, 46b, 47a, 47b; 66a, 66b, 67a, 67b; 94a, 94b, 95a, 95b, 96a, 96b) eine zwei-dimensionale Struktur bilden.
 - 25

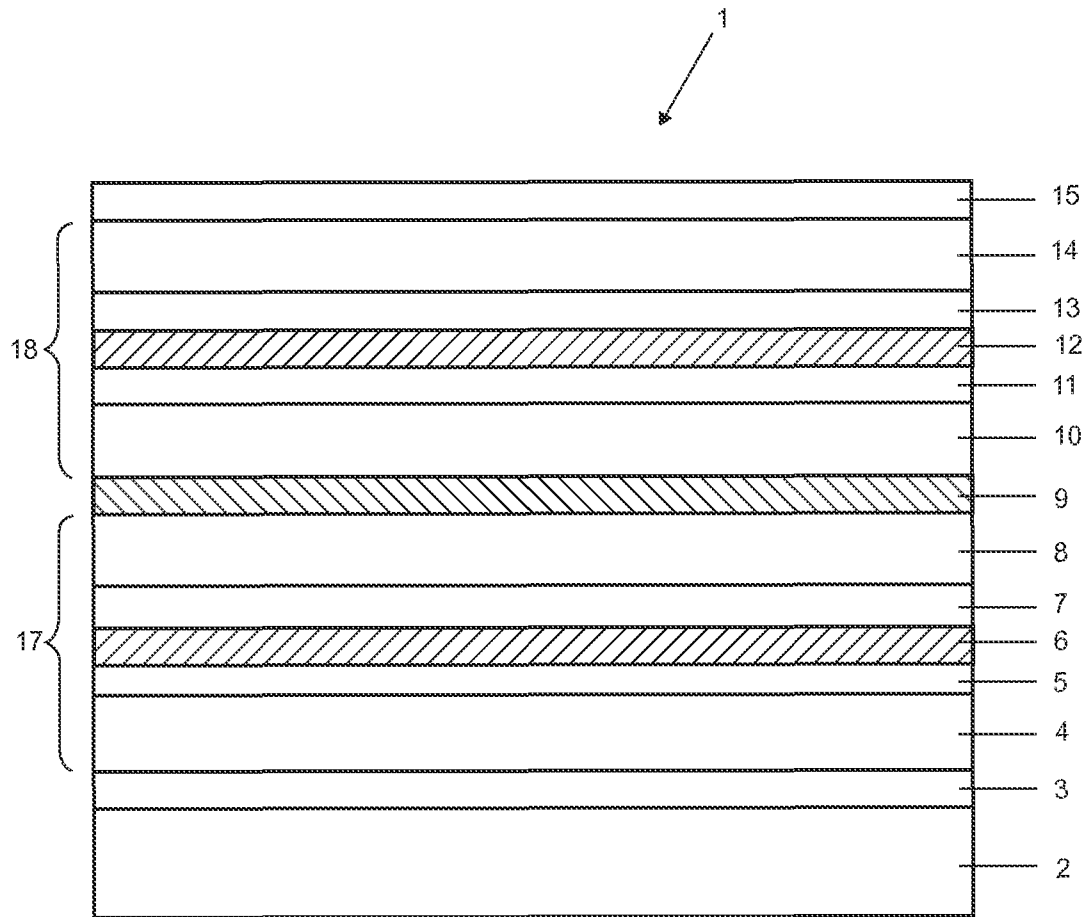


FIG 1

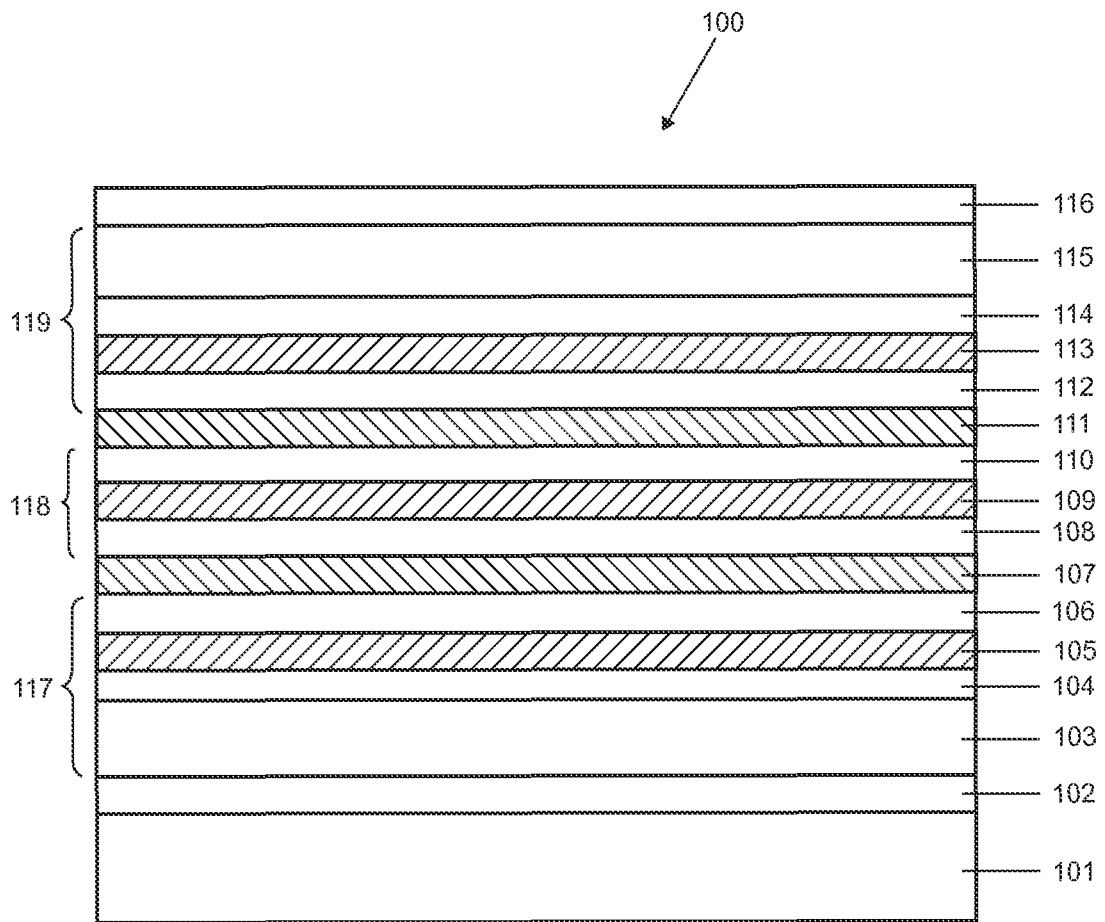


FIG 2

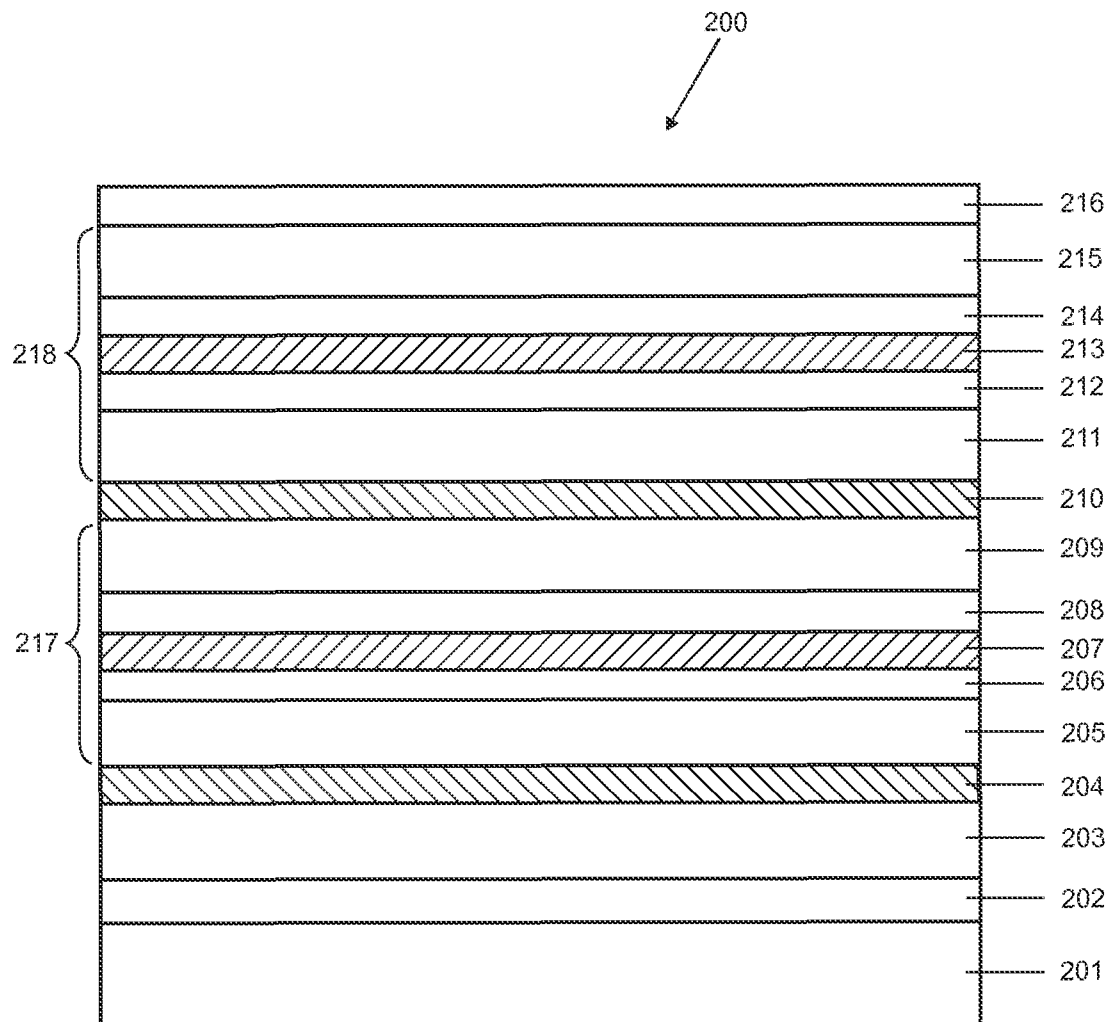


FIG 3

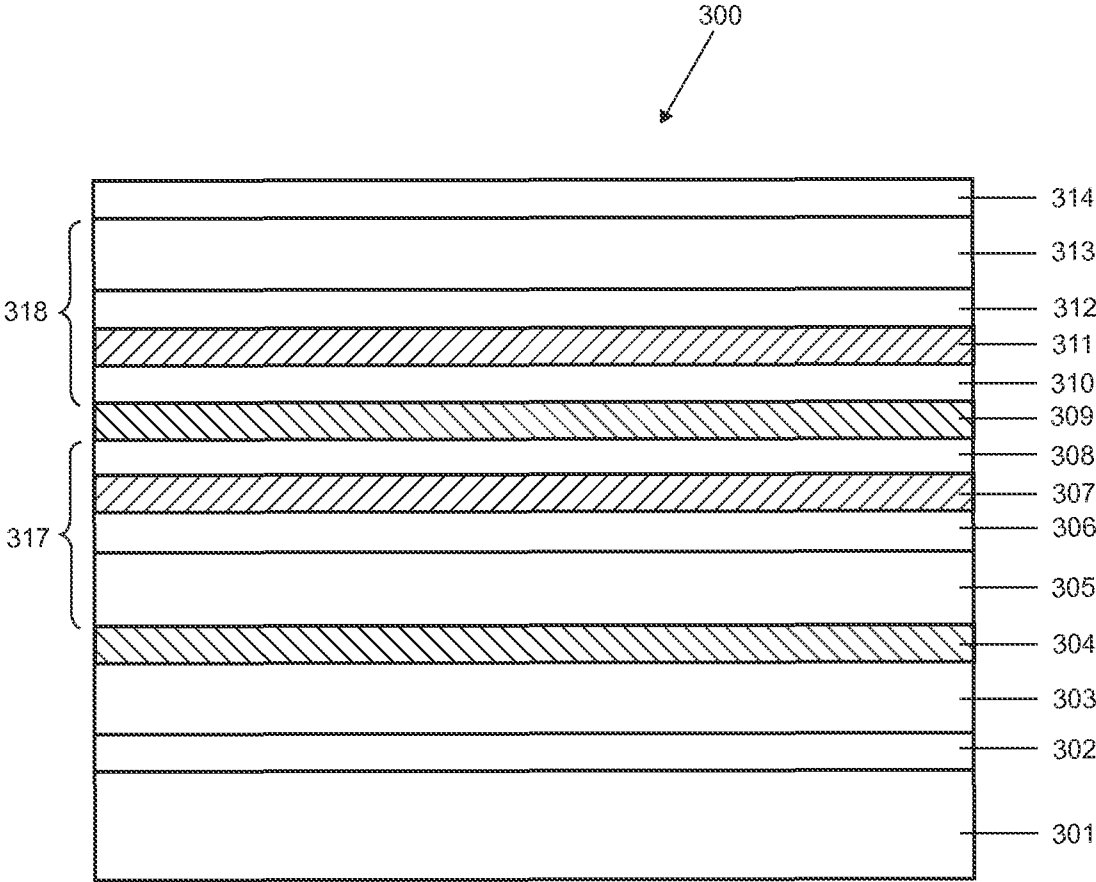


FIG 4

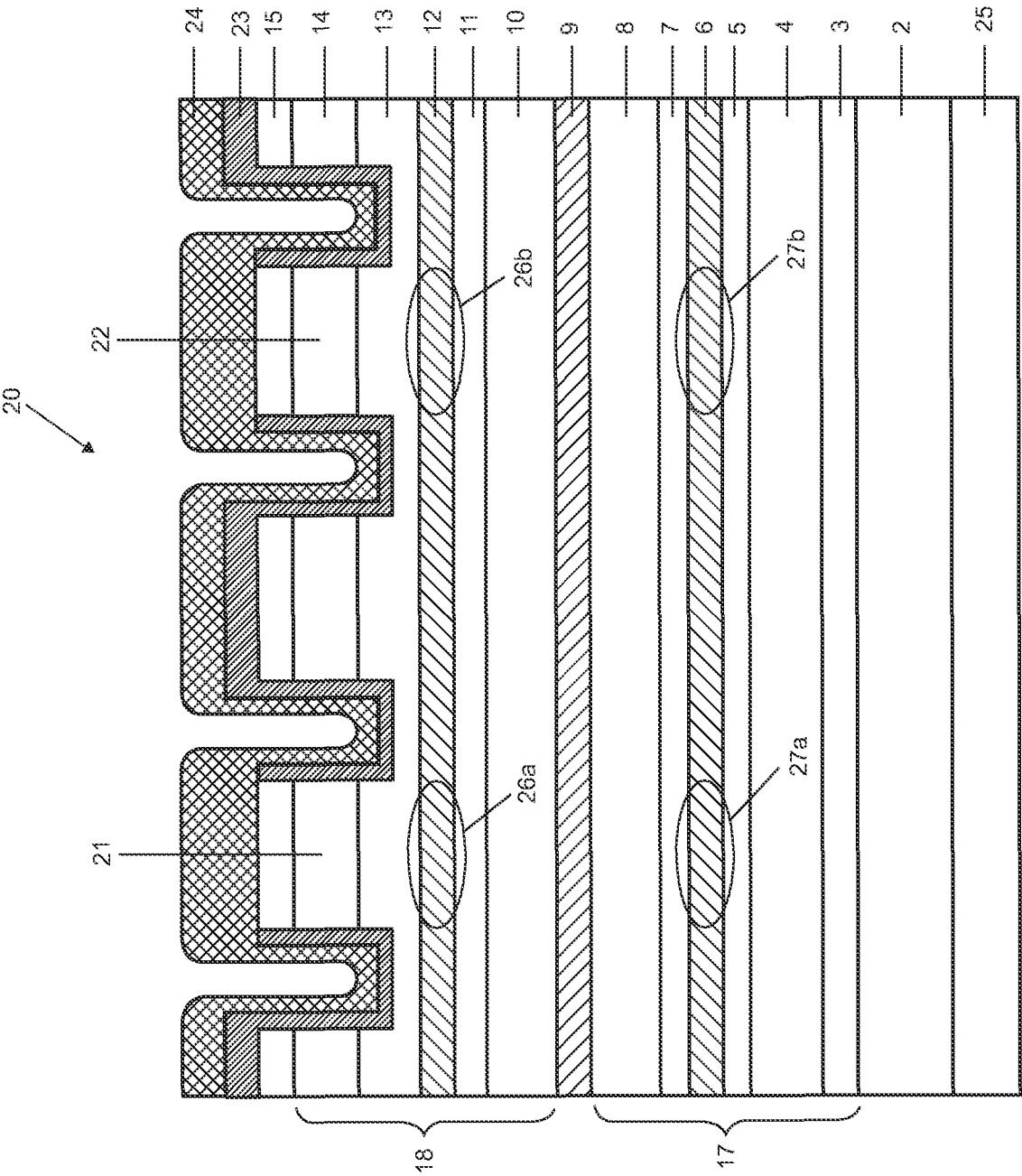
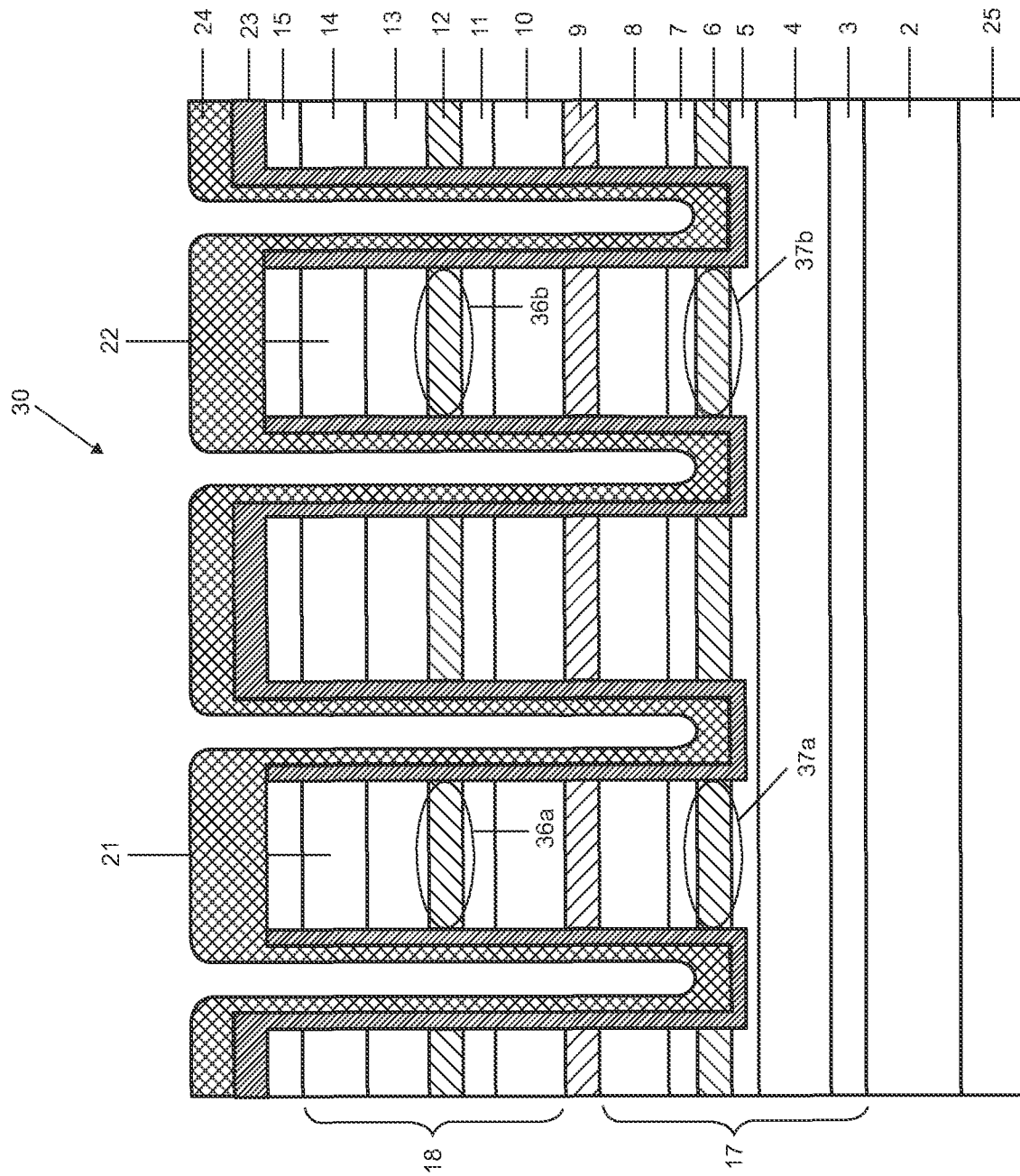


FIG 5



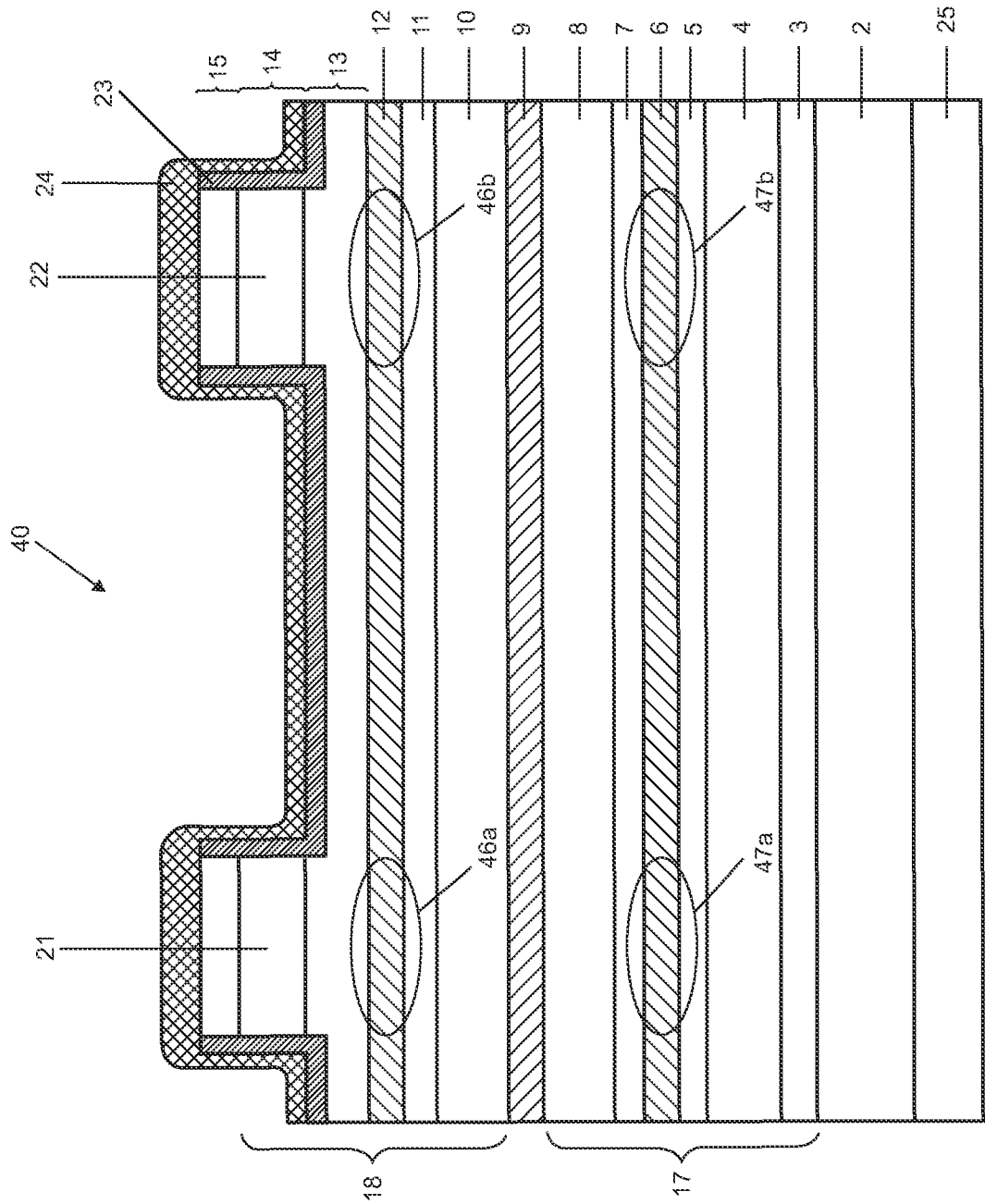
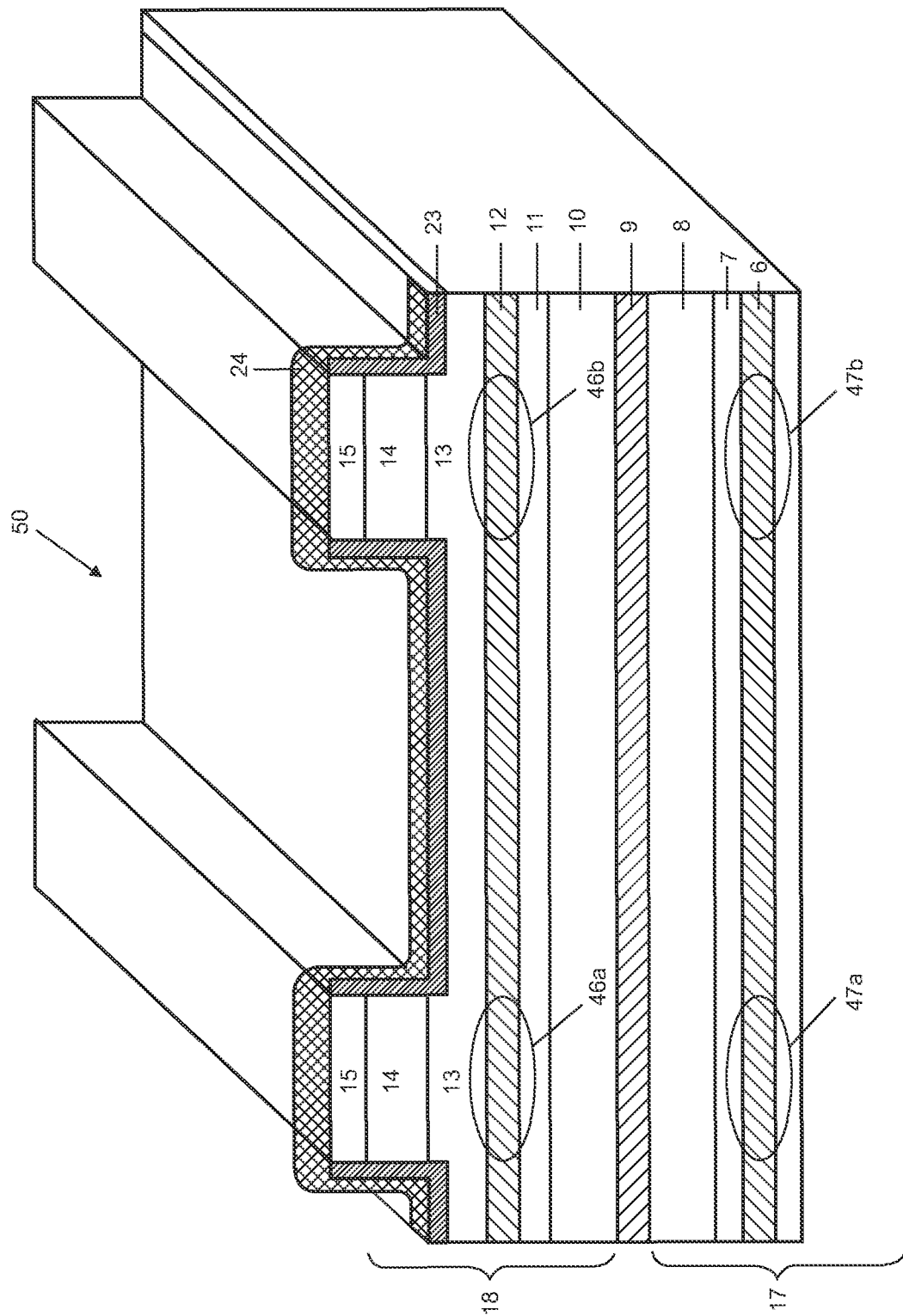


FIG 7a



9/12

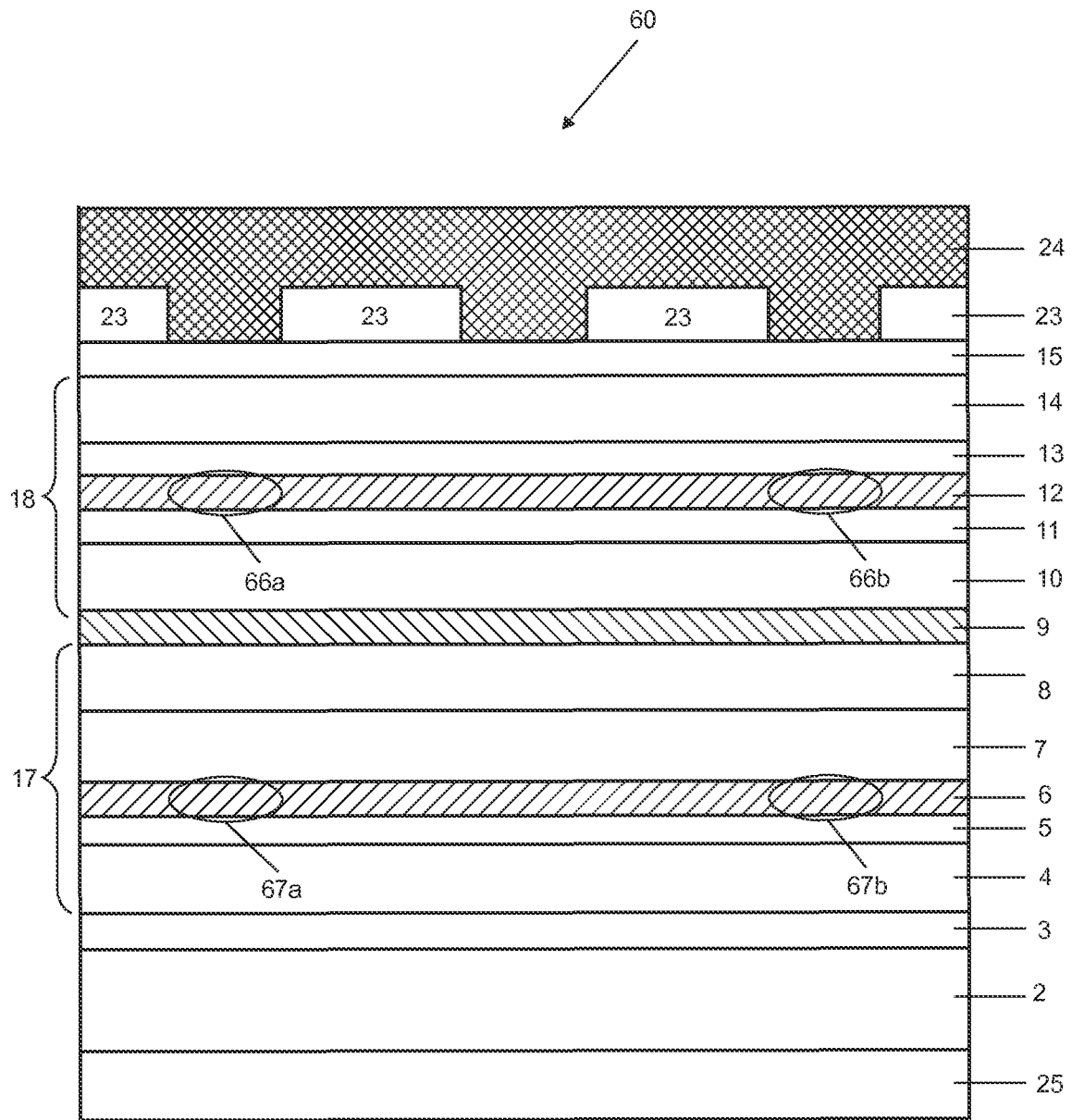


FIG 8

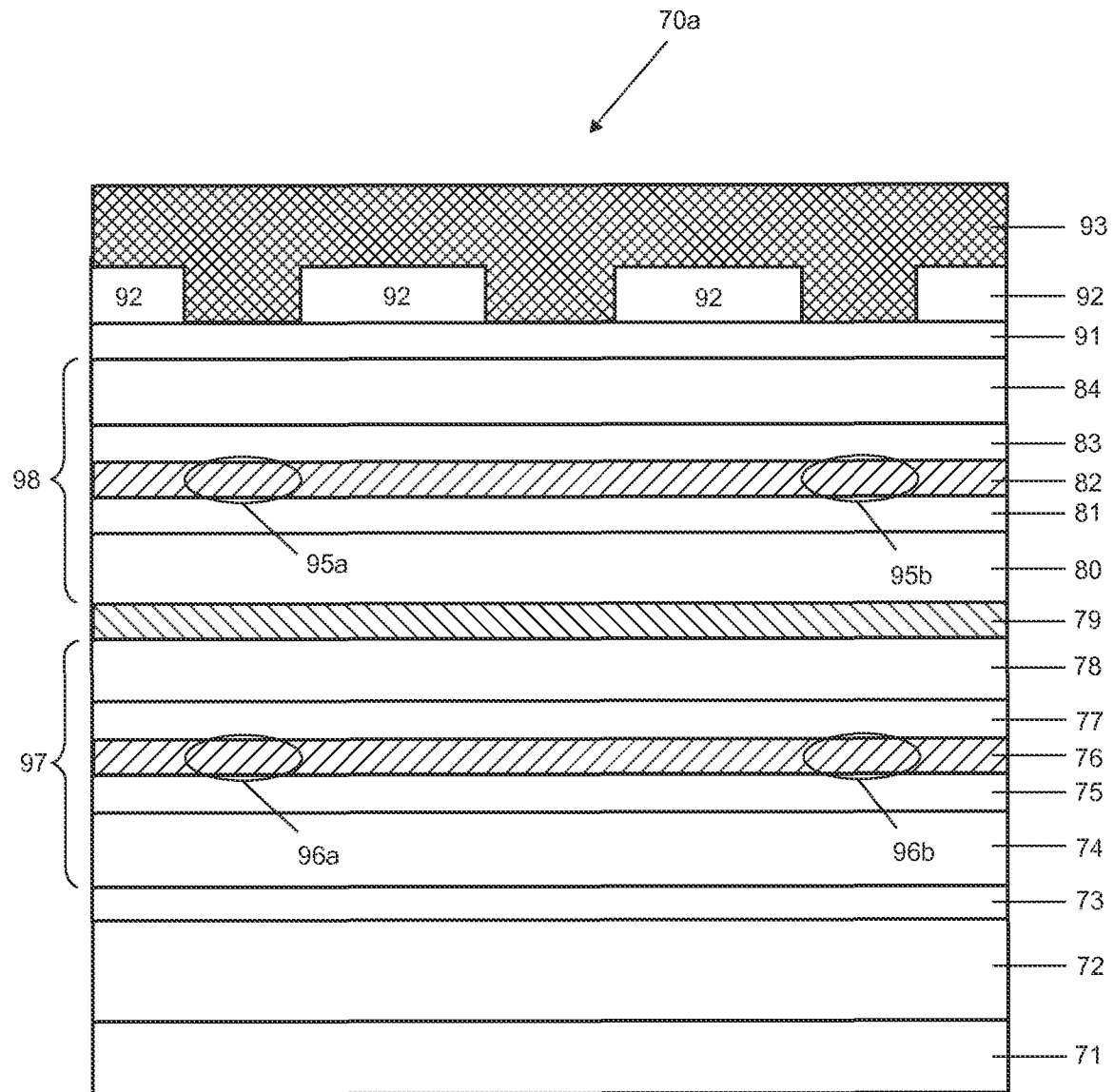


FIG 9a

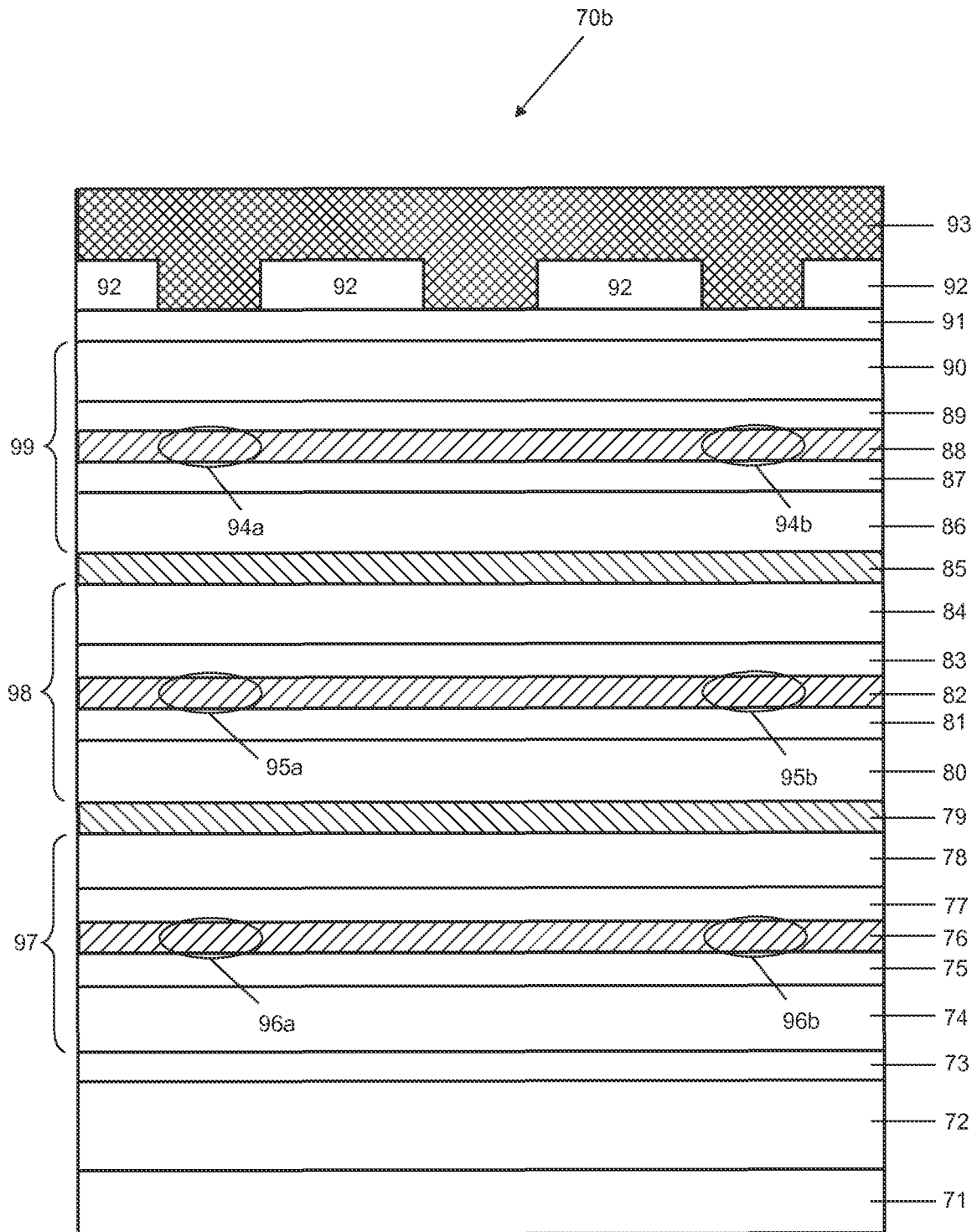


FIG 9b

12/12

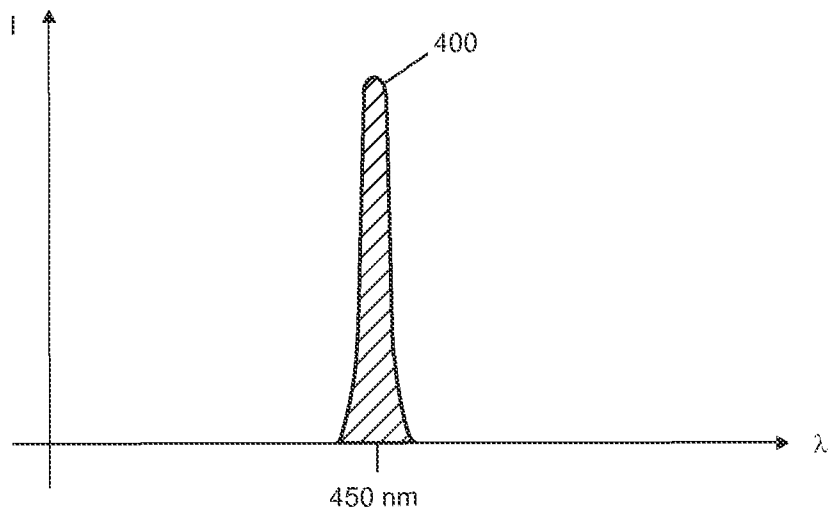


FIG 10a

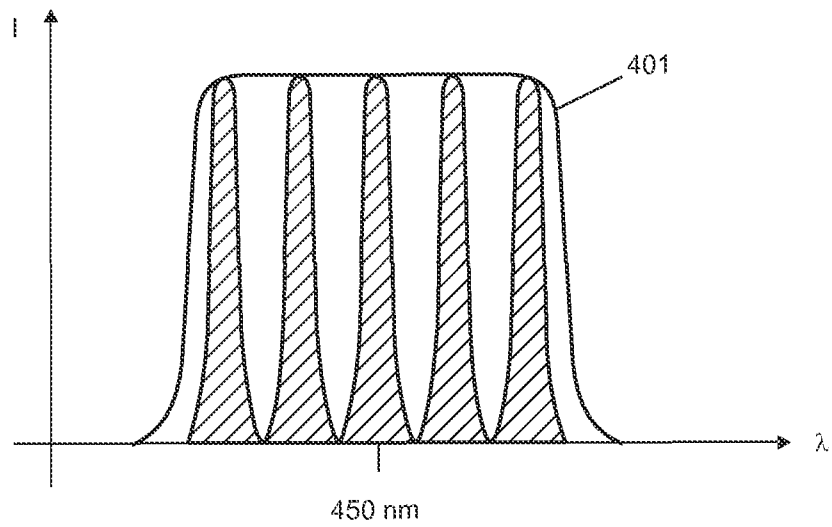


FIG 10b

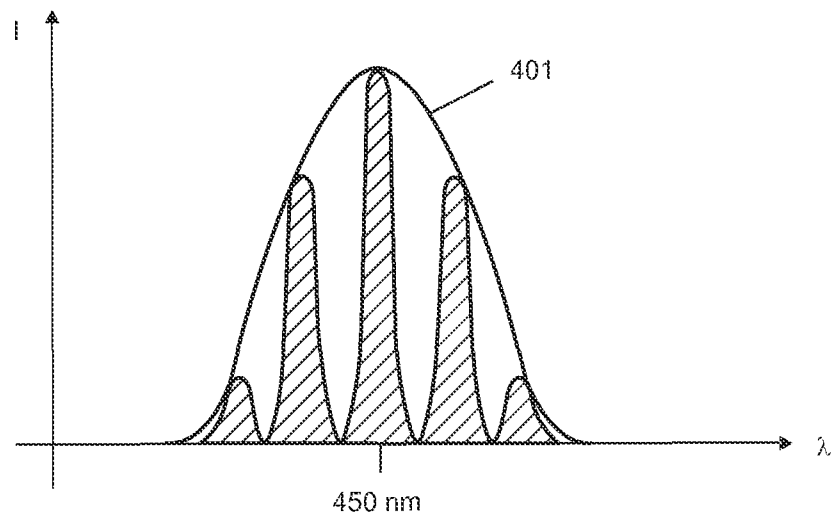


FIG 10c