

(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
28. März 2002 (28.03.2002)

PCT

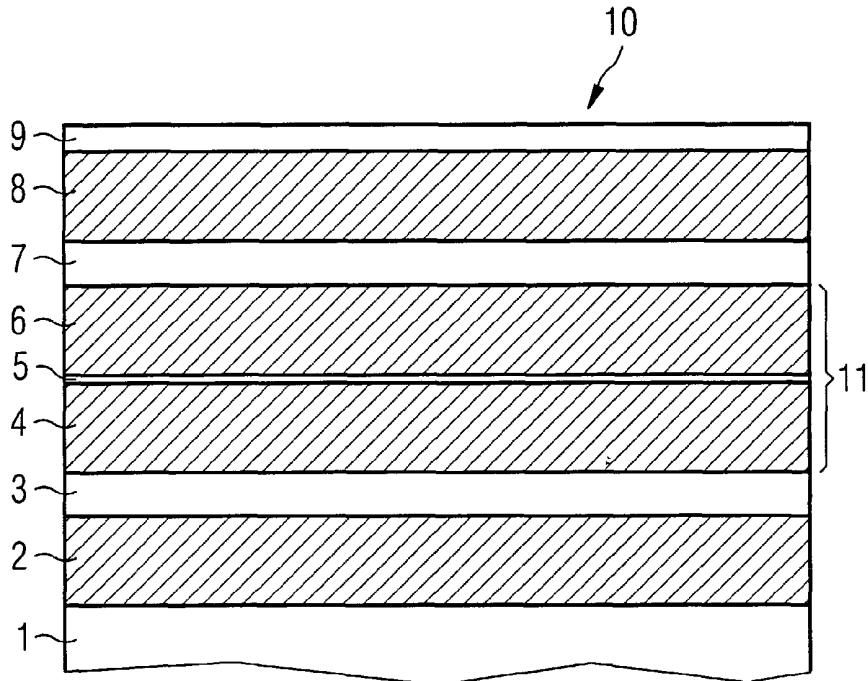
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/25787 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01S 5/20**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03649
- (22) Internationales Anmeldedatum:
20. September 2001 (20.09.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
100 46 580.3 20. September 2000 (20.09.2000) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH & CO. OHG** [DE/DE]; Wernerwerkstrasse 2, 93049 Regensburg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **ERBERT, Götz** [DE/DE]; Grünstrasse 11, 12555 Berlin (DE). **TRÄNKLE, Günther** [DE/DE]; Möllhausenauer 12, 12557 Berlin (DE). **WENZEL, Hans** [DE/DE]; Helene-Weber-Strasse 16A, 12355 Berlin (DE).
- (74) Anwalt: **EPPING HERMANN & FISCHER**; Ridlerstrasse 55, 80339 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): CA, CN, JP, KR, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LASER

(54) Bezeichnung: HALBLEITER-LASER



WO 02/25787 A1

(57) Abstract: The invention relates to a semiconductor laser comprising an anti-resonant waveguide (10), which is formed by a series of layers placed on a substrate (1). The series of layers comprises outer waveguide regions (2, 8), reflection layers (3, 7), and a waveguide core (11) provided with an active layer (5). This structure permits the production of semiconductor lasers having a low vertical beam divergence as well as a large beam cross-section.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



-
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Ein Halbleiter-Laser weist einen antiresonanten Wellenleiter (10) auf, der von einer auf einem Substrat (1) aufgebrachten Schichtfolge gebildet ist. Die Schichtfolge weist äußere Wellenleiterbereiche (2, 8), Reflexionsschichten (3, 7) und einen Wellenleiterkern (11) mit einer aktiven Schicht (5) auf. Mit dieser Struktur lassen sich Halbleiter-Laser mit einer geringen vertikalen Strahldivergenz und grossem Strahlquerschnitt herstellen.

Beschreibung

Halbleiter-Laser

- 5 Die Erfindung betrifft einen Halbleiter-Laser mit reduzierter vertikaler Strahldivergenz.

Halbleiter-Laser mit hoher optischer Ausgangsleistung werden für zahlreiche Anwendungen gebraucht. Derartige Anwendungen 10 sind beispielsweise in der optischen Nachrichtentechnik, bei der Krebsbehandlung in der Medizin, beim optischen Pumpen von Festkörper-Lasern und bei der unmittelbaren Materialbearbeitung zu finden. Für diese Anwendung sind Halbleiter-Laser wegen ihrer geringen Größe, ihrem großen Wirkungsgrad, der Möglichkeit der elektrischen Ansteuerung und der Möglichkeit der 15 preiswerten Fertigung in großen Stückzahlen besonders geeignet.

Insbesondere dienen Halbleiter-Laser mit der Emissionswellenlänge von 20 808 nm zum Pumpen von Nd:YAG-Festkörperlasern.

Halbleiter-Laser sind im allgemeinen Halbleiterbauelemente, bei denen auf einem Substrat mindestens eine aktive Schicht und je zwei innere und zwei äußere Begrenzungsschichten abgeschieden werden, wobei die aktive Schicht zwischen den beiden inneren Begrenzungsschichten angeordnet ist. Die Abscheidung der Schichten erfolgt üblicherweise mit Flüssigphasen-Epitaxie (LBE), metallorganischer Gasphasen-Epitaxie (MOCVD) oder Molekularstrahl-Epitaxie (MBE). Die Begrenzungsschichten sind 25 von gegensätzlichem Leitungstyp, so daß beim Anlegen einer geeigneten elektrischen Spannung Löcher aus den p-leitenden Begrenzungsschichten und Elektronen aus den n-leitenden Begrenzungsschichten in die aktive Schicht injiziert werden und dort rekombinieren. Die Stirnflächen oder Kristallfacetten 30 von 35 des Halbleiter-Lasers bilden einen Resonator. Oberhalb eines bestimmten elektrischen Stroms, des sogenannten Schwellenstroms, findet stimulierte Emission statt, und es wird ein

nahezu monochromatischer gebündelter Lichtstrahl erzeugt, welcher aus einer halbdurchlässig gehaltenen Kristallfacette austritt.

- 5 Die äußeren Begrenzungsschichten haben üblicherweise eine geringere Brechzahl als die inneren Begrenzungsschichten und die aktive Schicht, so daß ein optischer Wellenleiter gebildet wird, wobei die inneren Begrenzungsschichten zusammen mit der aktiven Schicht den Wellenleiterkern bilden. Durch die
10 Führung des Lichts im Wellenleiterkern soll eine möglichst große Überlappung des Lichtfeldes mit der aktiven Schicht erreicht werden. Üblicherweise wird der Wellenleiter so konstruiert, daß nur die sogenannte Grundmode und keine höheren Moden im Wellenleiterkern geführt werden. In diesem Zusammenhang wird unter Grundmode die Mode verstanden, deren einziges Intensitätsmaximum sich in der aktiven Schicht befindet. Höhere Moden sind dadurch ausgezeichnet, daß sie mehrere Intensitätsmaxima besitzen.
15
20 Unter anderem wird die optische Ausgangsleistung von Halbleiter-Lasern durch die thermisch bedingte Degradation der als Resonatorspiegel dienenden Kristallfacetten beschränkt. Um eine möglichst hohe optische Ausgangsleistung zu erzielen, muß dementsprechend die thermische Belastung der Kristallfacetten des Halbleiter-Lasers möglichst klein gehalten werden. Es besteht daher ein Interesse, den Strahlquerschnitt an den Kristallfacetten möglichst groß zu halten.
25

Aus der US 5,272,711 A ist bekannt, oberhalb der aktiven Schicht einen antiresonant reflektierenden Wellenleiter vorzusehen. Der antiresonant reflektierende Wellenleiter weist einen von Reflexionsbereichen seitlich begrenzten Wellenleiterkern, wobei sich an die Reflexionsbereiche Wellenleiteraußenbereiche anschließen. Im Querschnitt gesehen liegen der Wellenleiterkern, die Reflexionsbereiche und die Wellenleiteraußenbereiche in einer Schicht nebeneinander. Der Wellenleiterkern und die Wellenleiteraußenbereiche weisen jeweils

geringere Brechungsindizes als die Reflexionsbereiche auf. Die Breite der Reflexionsbereiche entspricht einem ungeradzahligem Vielfachen eines Viertels der auf den Querschnitt projizierten Wellenlänge des Lichts. Die Breite der Wellenleiteraußenbereiche entspricht einem ungeradzahligen Vielfachen der halben Breite des Wellenleiterkerns. Im antiresonant reflektierenden Wellenleiter weist die Grundmode lediglich im Wellenleiterkern hohe Amplituden auf, während Moden höherer Ordnung auch in den Wellenleiteraußenbereichen hohe Amplituden aufweisen. Dadurch werden die Moden höherer Ordnung wirksam gedämpft. Mit einer derartigen Anordnung lassen sich Halbleiterlaser mit einem Wellenleiterkern mit einer Breite zwischen 4 bis 8 μm erzeugen. Die Divergenz des mit dem bekannten Halbleiter-Laser erzeugten Laserstrahls liegt im Bereich von 4° bis 8° in seitlicher Richtung.

Prinzipiell ähnliche Anordnungen sind in C. Zmudzinski et al., IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 1, No. 2, June 1995, 129 - 137, und in T. L. Koch et al., Applied Physics Letters 50 (6) 9 February 1987, 307 - 309, beschrieben.

Ein Nachteil des bekannten Halbleiter-Lasers ist die nach wie vor sehr hohe Divergenz in vertikaler Richtung von 30° bis 40° . Unter vertikaler Richtung wird dabei die Aufwachsrichtung der epitaktisch aufgebrachten Schichten verstanden. Durch die hohe Halbwertsbreite von 30° bis 40° können auch sehr aufwendige optische Vorrichtungen nur 80 % bis 90 % des vom Halbleiter-Laser emittierten Lichts nutzen.

Aus dem Artikel von D. Botez "Design considerations and analytical approximations for high continuous-wave power, broad-waveguide diode laser", Applied Physics Letters, Band 74, Seite 3102 - 3104, 1999, ist bekannt, daß die Strahldivergenz durch eine Verbreiterung des Wellenleiterkerns und durch die Verringerung der Differenz der Brechzahlen zwischen dem Wellenleiterkern und den angrenzenden Reflexionsschichten ver-

ringert werden kann. Die Aufweitung des Wellenleiterkerns hat jedoch zur Folge, daß durch den Wellenleiterkern nicht nur die Grundmoden, sondern zusätzlich auch höhere Moden geführt werden und unter Umständen die Laserschwelle erreichen können. Damit verbunden ist eine drastische Verschlechterung der Qualität des Laserstrahls. Die Dicke des Wellenleiterkerns ist daher in der Praxis auf Werte $<2 \mu\text{m}$ beschränkt. Dies entspricht einer Strahldivergenz in vertikale Richtung von mehr als 30° Halbwertsbreite. Auch die Verringerung der Brechzahlendifferenz zwischen dem Wellenleiterkern und den Reflexionschichten ist in der Praxis nur schwer durchführbar. Um auf eine Strahldivergenz mit einer Halbwertsbreite $<20^\circ$ zu kommen, ist ein sehr hoher technologischer Aufwand für die Einstellung der sehr kleinen Brechzahlendifferenz notwendig.

Weitere Ansätze zur Reduzierung der Strahldivergenz eines Halbleiterlasers sind in US 5,289,484, in US 5,815,521 sowie in Heonsu Jeon et al., IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 3, No. 6, Dec. 1997, 1344 - 1350, beschrieben.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen einfach herstellbaren einmodigen Halbleiter-Laser mit geringer vertikaler Strahldivergenz anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch ein strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Bauelements sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche 2 bis 25.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß die Wellenleiteraußenbereiche, die Reflexionsbereiche und der Wellenleiterkern von einer auf ein Substrat aufgebrachten Schichtfolge mit in den Wellenleiterkern eingebetteter aktiver Schicht gebildet sind.

- Zur weiteren Erhöhung der optischen Ausgangsleistung und zur Verbesserung der Strahlqualität wird bei dem Halbleiter-Laser gemäß der Erfindung die Schichtfolge so gewählt, daß ein antiresonant reflektierender Wellenleiter in vertikaler Richtung gebildet wird. Der Wellenleiterkern, die Reflexionsbereiche und die äußeren Wellenleiterbereiche werden erfundungsgemäß jeweils von Schichten gebildet. Dadurch kann der Wellenleiterkern eine Dicke von mehr als 2 µm aufweisen. Durch 5 kann die vertikale Strahldivergenz wesentlich verringert werden. Insbesondere ein Wellenleiterkern mit einer Dicke von 3 µm weist im Wellenlängenbereich um 800 nm eine vertikale Strahldivergenz von etwa 18° volle Halbwertsbreite auf.
- 10
- 15 Außerdem wird durch die große Dicke des Wellenleiterkerns die optische Leistung über einen größeren Querschnitt verteilt, so daß die thermische Belastung der Kristallfacetten sinkt und eine höhere optische Ausgangsleistung erzielt werden kann.
- 20
- Bei dem Halbleiter-Laser gemäß der Erfindung sind die Brechzahldifferenzen zwischen den einzelnen Schichten so hoch, daß große Fertigungstoleranzen möglich sind. Weiterhin ist dadurch, daß der Wellenleiterkern eine geringe Brechzahl besitzt, also in der Regel aus einem Halbleitermaterial mit größerer Energielücke besteht, ein besserer Einschluß der Ladungsträger gegeben und die Absorption durch Erwärmung an den Kristallfacetten verringert.
- 25
- 30 Bevorzugt umfaßt die aktive Schicht zwei sogenannte Spacer-Schichten, zwischen denen ein aktiver Quantentrog angeordnet ist. Die Spacer-Schichten führen zu einer Verbesserung der Grenzflächen des Quantentrogs und damit der Lasereigenschaften.
- 35 Besonders bevorzugt sind die Reflexionsschichten der erfundungsgemäßen Anordnungen hoch dotiert (z.B. $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$). Die-

ser Maßnahme liegt für sich alleine schon eine erfinderische Tätigkeit zugrunde, die unabhängig von den übrigen strukturellen Maßnahmen alleine bereits zu verbesserten Leistungsdaten führt.

5

Zur Reduzierung des Bahnwiderstandes können die Heterogrenzen der erfindungsgemäßen Strukturen gradiert sein (graded Heterojunctions).

10 Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispielen. Es zeigen:

15 Figur 1 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Schichtfolge eines Halbleiter-Lasers gemäß der Erfindung;

20 Figur 2 eine schematische Darstellung eines Diagramms, das den Verlauf der Brechzahl durch die Schichtenfolge zeigt;

25 Figur 3 eine schematische Darstellung eines Diagramms mit dem Verlauf der optischen Intensität der Grundmode, wobei der Verlauf der Brechzahl unterlegt ist;

Figur 4 eine schematische Darstellung eines Diagramms mit dem Verlauf der Fernfeldintensität des vom Halbleiter-Laser emittierten Laserstrahls;

30 Figur 5 eine schematische Darstellung eines Diagramms mit dem Verlauf der optischen Intensität einer Mode höherer Ordnung, wobei der Verlauf der Brechzahl unterlegt ist; und

35 Figur 6 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine weitere Schichtfolge eines Halbleiter-Lasers gemäß der Erfindung.

In den Beschreibungen der verschiedenen Ausführungsbeispiele sind gleiche oder gleichwirkende Bestandteile jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

5 Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch einen Halbleiter-Laser, der ein Substrat 1 mit einer Brechzahl n_1 aus einkristallinem Halbleitermaterial aufweist. Auf dem Substrat 1 befindet sich eine erste äußere Wellenleiterschicht 2 mit einer Brechzahl n_2 und der Dicke d_2 . Der äußeren Wellenleiterschicht 2 ist
10 eine erste Reflexionsschicht 3 mit einer Brechzahl n_3 und der Dicke d_3 nachgeordnet. Daran schließt sich eine innere Wellenleiterschicht 4 mit einer Brechzahl n_4 und der Dicke d_4 , eine Photonen emittierende, aktive Schicht 5 mit der Brechzahl n_5 und der Dicke d_5 und eine zweite innere Wellenleiter-
15 schicht 6 an. Im weiteren folgen eine zweite Reflexions-
schicht 7 mit dem Brechungsindex n_7 und der Dicke d_7 , eine zweite äußere Wellenleiterschicht 8 mit der Brechzahl n_8 und der Dicke d_8 sowie eine Kontaktsschicht 9 mit der Brechzahl
20 n_9 . Zusammen bilden die Schichten einen antiresonanten Wellenleiter 10, in dessen von den inneren Wellenleiterschichten 4 und 6 gebildeten Wellenleiterkern 11 die aktive Schicht 5 eingebettet ist.

25 In Figur 2 ist ein möglicher Verlauf eines Brechzahlenprofils 12 dargestellt. In der Praxis braucht der Übergang von zwei Brechzahlniveaus durchaus nicht sprunghaft zu erfolgen, sondern kann einen rampenförmigen, kontinuierlichen Verlauf aufweisen. Wesentlich für die Funktion des antiresonant reflektierenden Wellenleiters 11 ist, daß die Brechzahlen n_3 und n_7 , der Reflexionsschichten 3 und 7 größer als die Brechzahlen n_2 und n_8 der äußeren Wellenleiterschichten 2 und 8 sowie der Brechzahlen n_4 und n_6 der inneren Wellenleiterschichten 4 und 6 sind. Dabei können die Brechzahlen der äußeren Begrenzungsschichten 2 und 8, der Reflexionsschichten 3 und 7 sowie der inneren Wellenleiterschichten 4 und 6 jeweils
30 gleich sein. Das gleiche kann auch für die jeweiligen
35

Schichtdicken gelten, so daß eine nahezu symmetrische Schichtfolge bezüglich der aktiven Schicht 5 entsteht.

Weiterhin können auch die Brechzahlen n_2 und n_4 der ersten

- 5 äußeren und inneren Wellenleiterschicht 6 und 8 sowie die Brechzahlen n_6 und n_8 der zweiten inneren und äußeren Wellenleiterschicht 6 und 8 nahezu gleich sein.

Die Dicke der Reflexionsschichten 3 und 7 ist so gewählt, daß

- 10 sie in etwa ein ungeradzahliges Vielfaches von einem Viertel der auf die vertikale Richtung projizierten Wellenlänge der Grundmode ausmacht. Faßt man die Reflexionsschichten jeweils als Fabry-Perot-Kavität auf, entspricht dies einer Antiresonanz der Kavität. Allgemein müssen die Dicken d_3 und d_7 der
15 mittleren Begrenzungsschichten 3 und 7 so gewählt werden, daß die Strahlungsverluste der Grundmode minimal werden, wobei außerdem das Maximum der optischen Intensität der Grundmode entlang der aktiven Schicht 5 verlaufen sollte.

- 20 Die Dicken d_2 und d_8 der äußeren Wellenleiterschichten 2 und 8 werden zweckmäßigerweise so gewählt, daß die Strahlungsverluste der Grundmode einen bestimmten Wert nicht übersteigen. Vorzugsweise betragen die Dicken d_2 und d_8 der äußeren Wellenleiterschichten 2 und 8 ein ungeradzahliges Vielfaches der
25 Hälfte der Dicke des Wellenleiterkerns 11.

- Die Wahl der Schichtdicke der Reflexionsschichten 3 und 7 hat zur Folge, daß die Grundmode an den Reflexionsschichten antiresonant reflektiert wird. Die Moden höherer Ordnung hingegen
30 werden resonant reflektiert, so daß diese wesentlich größere Strahlungsverluste erleiden und folglich die Laserschwelle nicht erreichen. Bei optimaler Wahl der Dicke der Reflexions-
schichten 3 und 7 lassen sich die Strahlungsverluste der Grundmode auf $<1/\text{cm}$ reduzieren, während die Strahlungsverluste höherer Ordnung mehr als $100/\text{cm}$ betragen. Damit können
35 diese Moden die Laserschwelle nicht erreichen.

Anhand von Figur 2 soll nun ein konkretes Ausführungsbeispiel des Halbleiter-Lasers vorgestellt werden. Die folgenden Angaben für die Brechzahlen beziehen sich dabei auf Wellenlänge von 808 nm.

5

Bei dem Ausführungsbeispiel besteht das Substrat 1 aus n-leitfähigem GaAs mit einer Brechzahl $n_1 = 3,67$. Die äußeren Wellenleiterschichten 2 und 8 sind aus n-leitendem $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ der Dicke $d_2 = d_8 = 1 \mu\text{m}$ mit einer Brechzahl $n_2 = n_8 = 3,29$.

10 Die Reflexionsschichten 3 und 7 bestehen aus n-leitendem $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$ der Dicke $d_3 = d_7 = 0,5 \mu\text{m}$ mit einer Brechzahl $n_3 = n_7 = 3,57$. Die inneren Wellenleiterschichten 4 und 6 bestehen aus n-leitendem $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ der Dicke $d_4 = d_6 = 1 \mu\text{m}$ mit einer Brechzahl $n_4 = n_6 = 3,29$. Für die undotierte, 17 nm dicke aktive Schicht 5 wird schließlich $\text{GaAs}_{0,5}\text{P}_{0,2}$ mit einer Brechzahl $n_5 = 3,61$ verwendet.

Figur 3 zeigt den berechneten Verlauf der optischen Intensität der Grundmode 13, wobei der Verlauf des Brechzahlenprofils 12 unterlegt ist. Das in Figur 2 dargestellte Brechzahlenprofil 12 wirkt als antiresonant reflektierender optischer Wellenleiter für die Grundmode 13, wobei die Dicke von 0,5 μm der Reflexionsschichten 3 und 7 ungefähr drei Viertel der in den Wellenleiterkern 11 projizierten Wellenlänge des Laserlichts entspricht. Der Strahlungsverlust der Grundmode 13 beträgt etwa 1/cm.

In Figur 4 ist der berechnete Verlauf der Fernfeldintensität 14 der Grundmode 13 dargestellt. Das Diagramm aus Figur 4 zeigt daher die Intensitätsverteilung des Laserstrahls als Funktion des vertikalen Winkels. Die volle Halbwertsbreite des Laserstrahls beträgt $18,6^\circ$. Damit beträgt die vertikale Strahldivergenz nur noch etwa die Hälfte der vertikalen Strahldivergenz von herkömmlichen Halbleiter-Lasern.

35

Figur 5 zeigt den berechneten Verlauf der optischen Intensität einer Mode 5 höherer Ordnung, wobei der Verlauf des

Brechzahlenprofils 12 der Darstellung unterlegt ist. Wie an den Intensitätsmaxima in den äußeren Wellenleiterschichten 2 und 8 erkennbar ist, wird die Mode 15 höherer Ordnung an den Reflexionsschichten 3 und 7 nicht antiresonant reflektiert.

- 5 Durch die Ausdehnung der Mode 15 höherer Ordnung in das Substrat 1 und die Kontaktsschicht 9 ist die Mode 15 höherer Ordnung im Vergleich zur Grundmode 13 mit höheren Verlusten behaftet. Die Strahlungsverluste dieser Mode 15 höherer Ordnung betragen 600/cm.

10

- Bei einer anderen Ausführungsform (Figur 6) umfaßt die aktive Schicht 5 zwei sogenannte Spacer-Schichten 51 und 52, zwischen denen ein aktiver Quantentrog 50 angeordnet ist. Eine beispielhafte Schichtenfolge einer solchen Ausführungsform 15 ist in folgender Tabelle aufgezeigt:

Schichtart	Zusammensetzung	Schichtdicke
Kontaktsschicht	p-GaAs	300 nm
äußere Wellenleiterschicht	p-Al _{0.53} Ga _{0.47} As	500 nm
Reflexionsschicht	p-Al _{0.15} Ga _{0.85} As	500 nm
innere Wellenleiterschicht	p-Al _{0.53} Ga _{0.47} As	1500 nm
Spacer-Schicht	Al _{0.30} Ga _{0.70} As → Al _{0.53} Ga _{0.47} As	10 nm
Aktiver Quantentopf	GaAs _{0.83} P _{0.17}	17 nm
Spacer-Schicht	Al _{0.30} Ga _{0.70} As → Al _{0.53} Ga _{0.47} As	10 nm
innere Wellenleiterschicht	n-Al _{0.53} Ga _{0.47} As	1500 nm
Reflexionsschicht	n-Al _{0.15} Ga _{0.85} As	500 nm
äußere Wellenleiterschicht	n-Al _{0.53} Ga _{0.47} As	500 nm
Substrat	n-GaAs	

Besonders bevorzugt sind die Reflexionsschichten 3,7 der obigen erfindungsgemäßen Anordnungen hoch dotiert (z.B. 2×10^{18} cm⁻³). Dieser Maßnahme liegt für sich alleine schon eine erfinderische Tätigkeit zugrunde. Sie führt die unabhängig
5 von den übrigen erfindungsgemäßen strukturellen Maßnahmen alleine bereits zu verbesserten Leistungsdaten eines Halbleiter-Lasers.

Zur Reduzierung des Bahnwiderstandes können die Heterogrenzen
10 der obigen erfindungsgemäßen Strukturen gradiert sein (graded Heterojunctions).

In den vorliegenden Ausführungsbeispielen besteht die aktive Schicht 5 aus einem zugverspannten GaAsP-Quantenfilm, welcher
15 transversal-magnetisch polarisiertes Licht emittiert. Die aktive Schicht 5 kann allgemein aus einer oder mehreren Quantenfilmen der Zusammensetzung XY bestehen, wobei X wenigstens ein Element aus der Gruppe der Elemente Al, In und Ga und Y wenigstens ein Element aus der Gruppe der Elemente As, P, N
20 und Sb ist. Die aktive Schicht 5 kann weiterhin sowohl unverspannt als auch druckverspannt sein, was zur Emission von transversal-elektrisch polarisiertem Licht führt, oder zugverspannt sein, was die Emission von transversal-magnetisch polarisiertem Licht herbeiführt. Ferner kann die aktive
25 Schicht 5 in Barriereschichten aus dem bereits erwähnten Material XY eingebettet sein. Anstelle von Quantenfilmen können auch Quantendrähte oder Quantenpunkte in die Barriereschichten eingebettet sein.

30 Ferner sei angemerkt, daß die Ausführungsbeispiele in lateraler Richtung und entlang der Ausbreitungsrichtung des Lichts im Halbleiter-Laser beliebig strukturiert sein können. Dementsprechend kann der durch die vorgestellte Schichtfolge bewerkstelligte antiresonante Wellenleiter 10 sowohl in
35 Breitstreifen-Lasern, Rippenwellenleiter-Lasern, Lasern mit vergrabenem lateralen Wellenleiterstrukturen und Lasern mit verteilter Rückkopplung (distributed feed-back, distributed

bragg reflector) verwendet werden. Von Vorteil ist dabei stets die geringe Strahldivergenz in vertikaler Richtung und der große Strahlquerschnitt am Ort der Kristallfacetten.

- 5 Die Erläuterung der Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele ist selbstverständlich nicht als Einschränkung der Erfindung auf diese zu verstehen. Die Erfindung bezieht sich insbesondere auch auf geeignete andere als die oben genannten Materialsysteme. Darüber hinaus können in den Strukturen
- 10 neben den explizit beschriebenen Halbleiterschichten weitere ergänzende Halbleiterschichten vorhanden sein.

Patentansprüche

1. Halbleiter-Laser bei dem

- auf einem Substrat eine Schichtenfolge aufgebracht ist, in

5 der gesehen vom Substrat nacheinander eine erste Wellenleiteraußenschicht (2), eine erste Reflexionsschicht (3), ein Wellenleiterkern (11), in dem eine Photonen emittierende aktive Schicht (5) eingebettet ist, eine zweite Reflexions- schicht (7) und eine zweite Wellenleiteraußenschicht (8) angeordnet sind,

- die erst und die zweite Reflexionsschicht (3, 7) Brechzahlen aufweisen, die größer als die Brechzahlen des Wellenleiterkerns (11) und der jeweils benachbarten Wellenleiteraußenschicht (2, 8) sind, und

15 - die Schichtenfolge in vertikaler Richtung einen antiresonant reflektierenden Wellenleiter (10) aufweist.

2. Halbleiterlaser nach Anspruch 1, bei dem der Wellenleiterkern (11) auf einander gegenüberliegenden Seiten von den beiden Reflexionsschichten (3, 7) begrenzt ist.

3. Halbleiterlaser nach Anspruch 1 oder 2, bei dem sich die erste und die zweite Wellenleiteraußenschicht (2, 8) jeweils an die nächstliegende der beiden Reflexionsschichten (3, 7) anschließt.

25 4. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Dicke der aktiven Schicht (5) kleiner als die Dicke der angrenzenden Schichten (4, 6) des Wellenleiterkerns (11) ist.

30 5. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Dicke der Reflexionsschichten (3, 7) gleich einem ungeradzahligen Vielfachen von einem Viertel der in den Wellenleiterkern (11) projizierten Wellenlänge der Photonen sind.

6. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Schichtenfolge hinsichtlich ihrer Dicke bezüglich der aktiven Schicht (5) symmetrisch ist.

5 7. Halbleiter-Laser nach Anspruch 6, bei dem die Dicke der aktiven Schicht (5) zwischen 0,01 und 0,03 μm , die Dicke des Wellenleiterkerns (11) zwischen 1,5 und 2,5 μm , die Dicken der Reflexionsschichten (3, 7) zwischen 0,4 und 0,6 μm und die Dicken der Wellenleiteraußenschichten (2, 8) zwischen
10 0,5 und 1,5 μm liegen.

8. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem eine Brechzahl des Substrates (1) jeweils größer ist als eine Brechzahl der benachbarten Wellenleiteraußenschicht (2) und des Wellenleiterkerns (11).
15

9. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem auf die Schichtenfolge eine Kontaktsschicht (9) aufgebracht ist, die eine Brechzahl aufweist, die jeweils 20 größer als eine Brechzahl der benachbarten Wellenleiteraußenschicht (8) und des Wellenleiterkerns (11) ist.

10. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem eine Brechzahl der Wellenleiteraußenschichten (2, 8) gleich einer Brechzahl des Wellenleiterkerns 25 (11) ist.

11. Halbleiter-Laser nach Anspruch 9 oder 10, bei dem eine Brechzahl des Substrats (1) und der Kontaktsschicht (9) jeweils gleich einer Brechzahl der benachbarten 30 Reflexionsschichten (3, 7) ist.

12. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Schichtfolge hinsichtlich der Brechzahlen bezüglich der aktiven Schicht (5) symmetrisch ist.
35

13. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Substrat (1) und die Schichtfolge zwischen Substrat (1) und aktiver Schicht (5) n-leitend sind.

5 14. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Kontaktsschicht (9) und die Schichtfolge zwischen aktiver Schicht (5) und Kontaktsschicht (9) p-leitend sind.

10 15. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Substrat (1) und die Kontaktsschicht (9) aus GaAs hergestellt sind.

16. Halbleiter-Laser nach Anspruch 15,
15 bei dem die Schichtfolge aus einem Al, Ga und As enthaltenden Halbleiter hergestellt ist.

17. Halbleiter-Laser nach Anspruch 15,
bei dem die Reflexionsschichten (3, 7) aus einem Al, Ga und
20 As enthaltenden Halbleiter und der Wellenleiterkern (11) und
die Wellenleiteraußenschichten (2, 8) aus einem In, Ga und P
enthaltendem Halbleiter hergestellt sind.

18. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden
25 Ansprüche, bei dem die aktive Schicht (5) wenigstens einen in Barriereschichten eingebetteten Quantenfilm aufweist.

19. Halbleiter-Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 17,
bei dem die aktive Schicht (5) wenigstens einen in Barriere-
30 schichten eingebetteten Quantendraht aufweist.

20. Halbleiter-Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 17,
bei dem die aktive Schicht (5) in Barriereschichten eingebet-
tete Quantenpunkte aufweist.

21. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die aktive Schicht (5) mit dem Wellenleiterkern (11) identisch ist.

5 22. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die aktive Schicht zwei Spacer-Schichten aufweist, zwischen denen mindestens ein Quantentrog angeordnet ist.

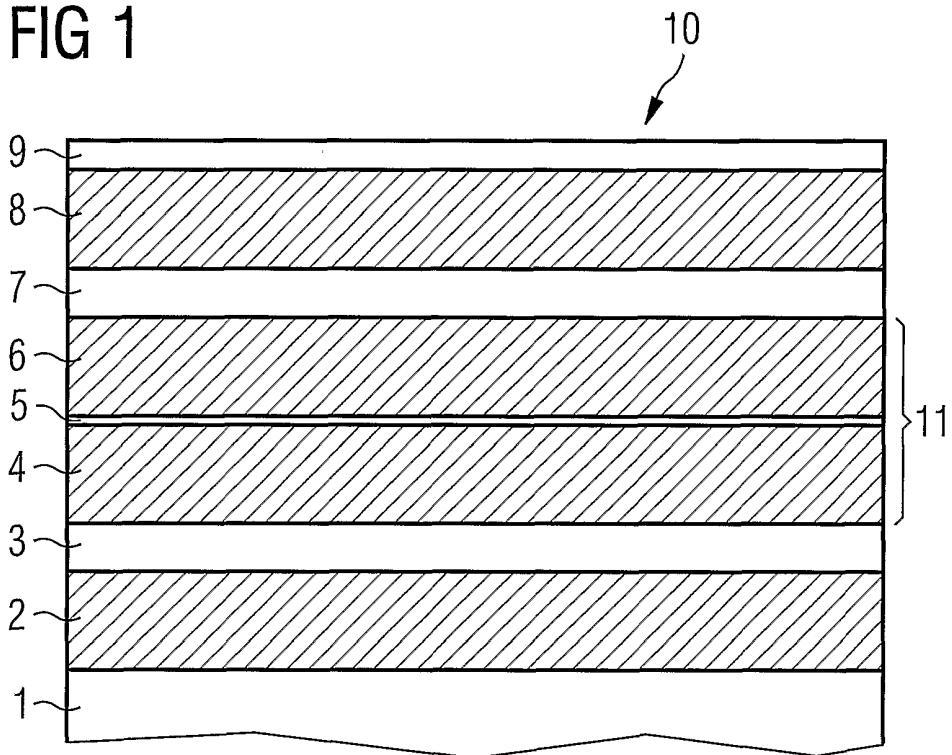
10 23. Halbleiter-Laser nach Anspruch 22, bei dem die Spacer-Schichten vom Quantentrog zu den nachgeordneten Wellenleiterschichten hin jeweils einen zunehmenden Al-Gehalt aufweisen.

15 24. Halbleiter-Laser nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Reflexionsschichten (3, 7) hoch dotiert sind.

20 25. Halbleiter-Laser nach Anspruch 24, bei dem die Dotierstoffkonzentration in den Reflexionsschichten (3, 7) zwischen 5×10^{17} und $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ist.

1/4

FIG 1



2/4

FIG 2

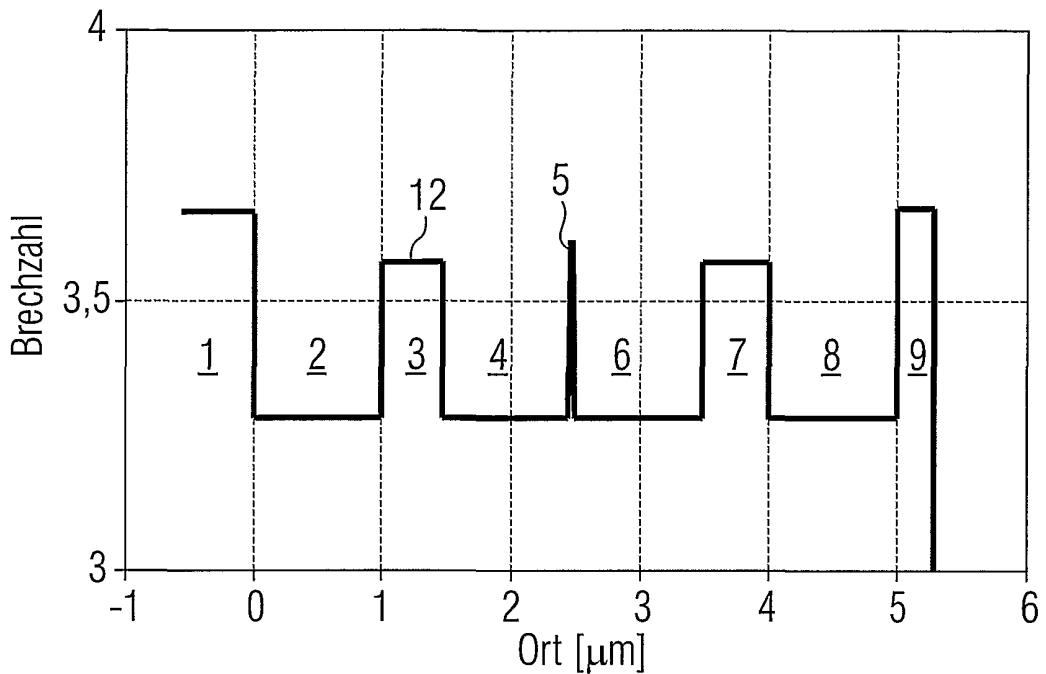
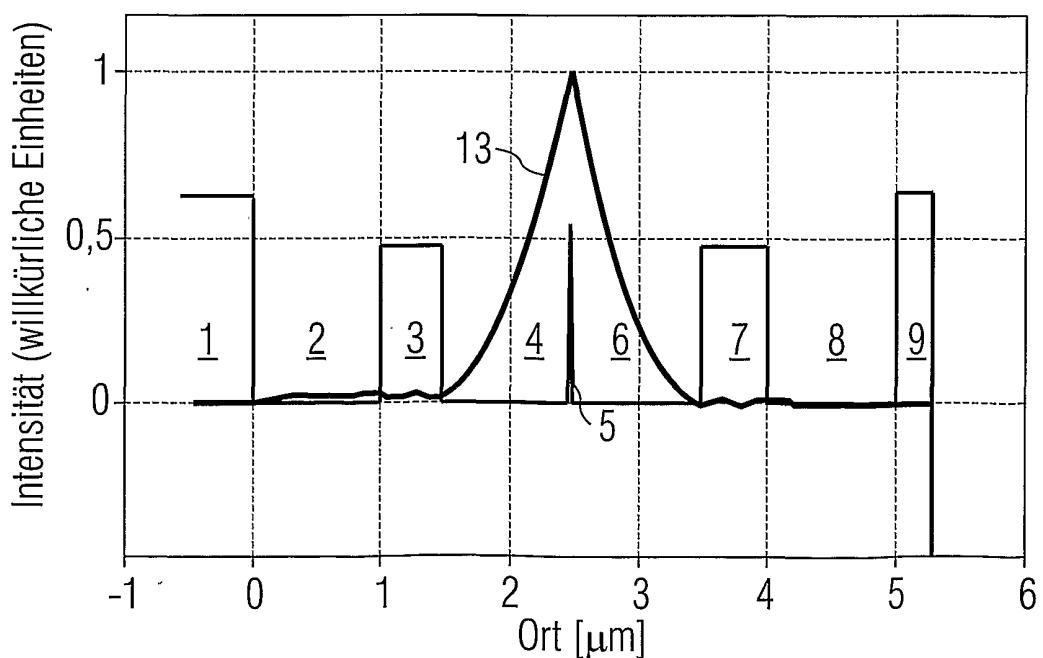


FIG 3



3/4

FIG 4

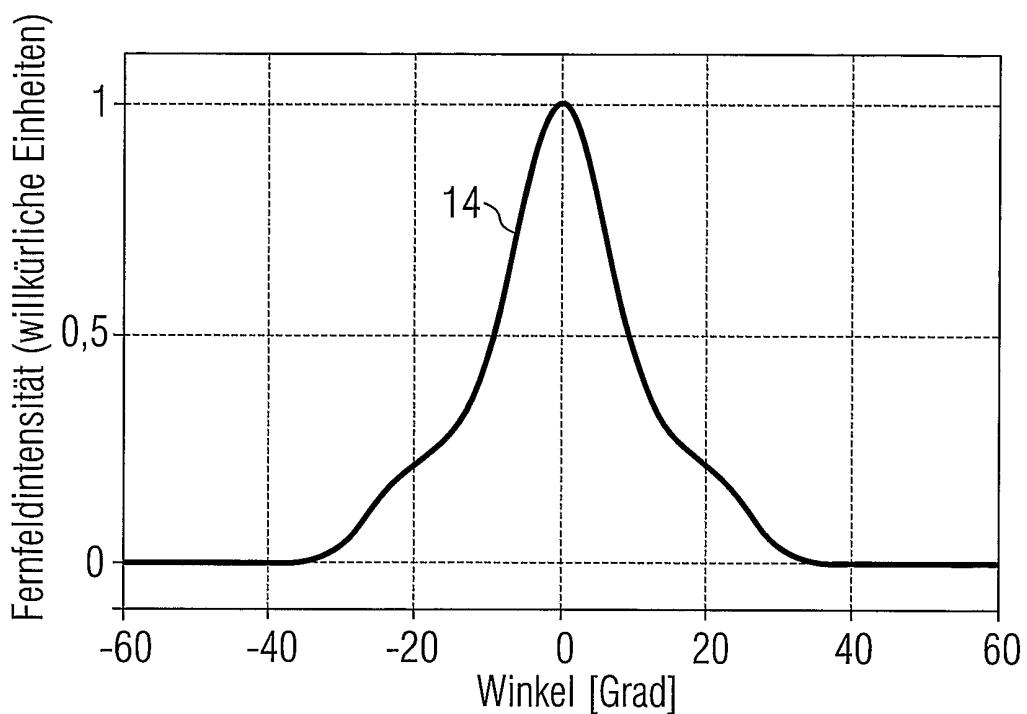
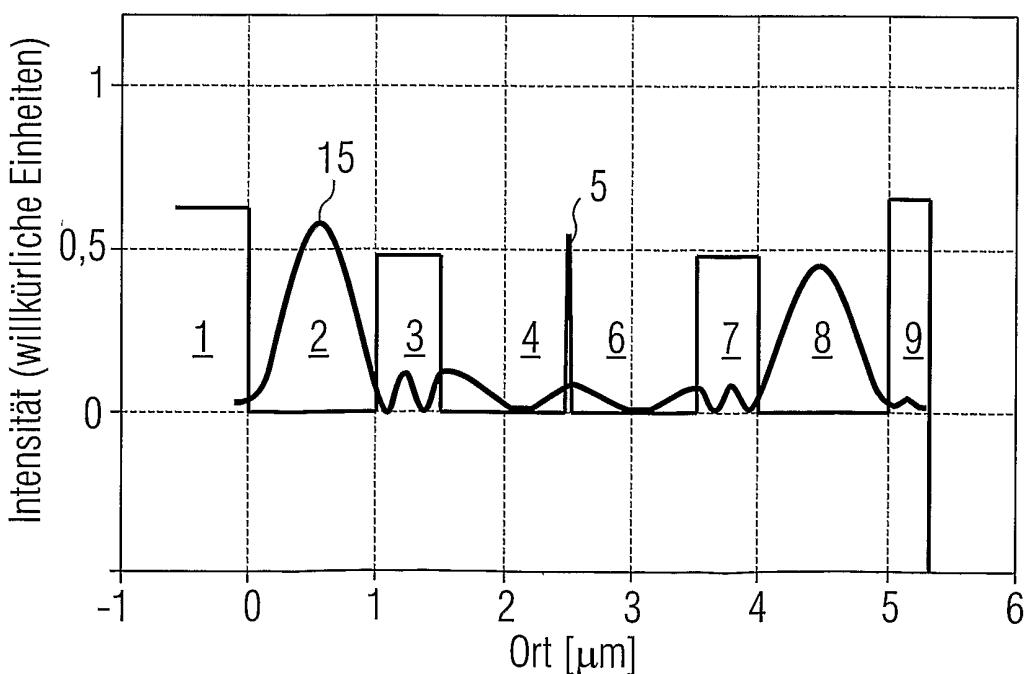
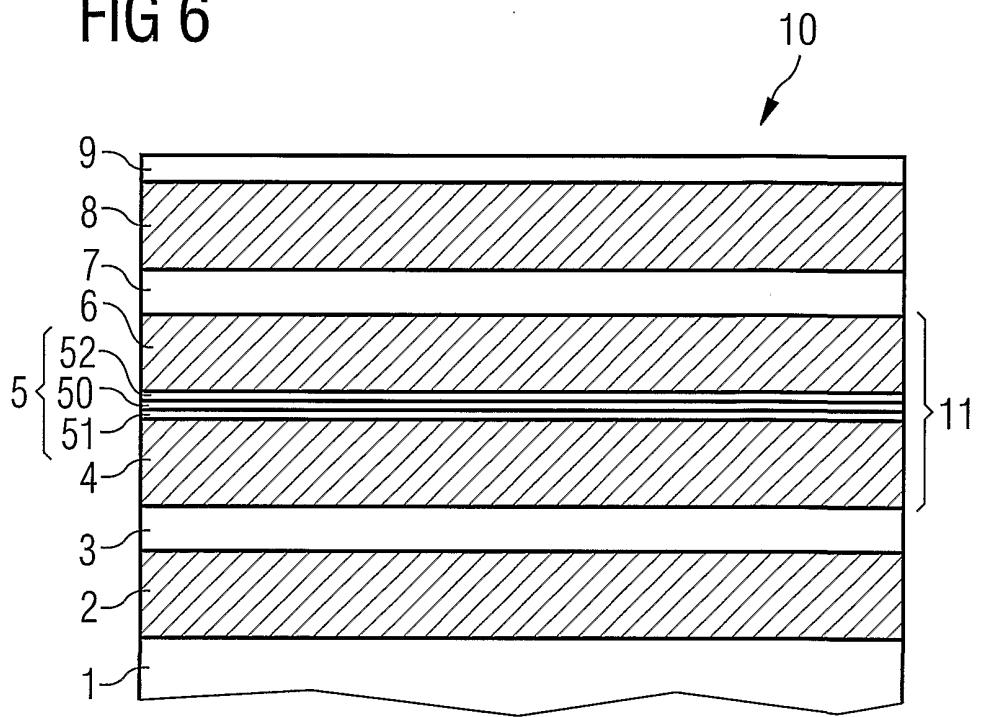


FIG 5



4/4

FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 01/03649

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01S5/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHEDMinimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	SMOWTON P M ET AL: "650-NM LASERS WITH NARROW FAR-FIELD DIVERGENCE WITH INTEGRATED OPTICAL MODE EXPANSION LAYERS" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, US, vol. 5, no. 3, May 1999 (1999-05), pages 735-739, XP000930556 ISSN: 1077-260X page 735, right-hand column, paragraph II page 736, right-hand column, paragraph II page 738, paragraph III; figures 1,2,4 ----- -/-	1-8, 12, 15, 18, 22, 24, 25

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

15 January 2002

28/01/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gnugesser, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intel ial Application No
PCT/DE 01/03649

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>SHUN TUNG YEN ET AL: "THEORETICAL INVESTIGATION ON SEMICONDUCTOR LASERS WITH PASSIVE WAVEGUIDES" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 32, no. 1, 1996, pages 4-13, XP000548674 ISSN: 0018-9197 page 4 page 6, right-hand column, paragraph III -page 7, right-hand column, paragraph III page 12, right-hand column, paragraph IV; figures 1,3,6</p> <p>---</p>	1-4,6,8, 10,12, 18,22,23
A	<p>LI W L ET AL: "Design of AlGaInP visible lasers with a low vertical divergence angle" SOLID STATE ELECTRONICS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, BARKING, GB, vol. 42, no. 1, 1998, pages 87-90, XP004108423 ISSN: 0038-1101 the whole document</p> <p>---</p>	1,2
A	<p>MAWST L J ET AL: "DESIGN OPTIMIZATION OF ARROW-TYPE DIODE LASERS" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 4, no. 11, 1 November 1992 (1992-11-01), pages 1204-1206, XP000328564 ISSN: 1041-1135 the whole document</p> <p>---</p>	1,5
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 359 (E-460), 3 December 1986 (1986-12-03) -& JP 61 156788 A (SONY CORP), 16 July 1986 (1986-07-16) abstract</p> <p>---</p>	1
A	<p>US 5 260 959 A (HAYAKAWA TOSHIRO) 9 November 1993 (1993-11-09) abstract column 3, line 56 -column 5, line 35; figures 1,2</p> <p>---</p>	1
P,X	<p>WENZEL ET AL.: "High-power diode lasers with small vertical beam divergence emitting at 808 nm" ELECTRONICS LETTERS, vol. 37, no. 16, 2 August 2001 (2001-08-02), pages 1024-1026, XP006017047 the whole document</p> <p>---</p>	1-18,22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 01/03649

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
JP 61156788	A	16-07-1986	JP	6080859 B		12-10-1994
US 5260959	A	09-11-1993	JP	5235470 A		10-09-1993

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/03649

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01S5/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	SMOWTON P M ET AL: "650-NM LASERS WITH NARROW FAR-FIELD DIVERGENCE WITH INTEGRATED OPTICAL MODE EXPANSION LAYERS" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, US, Bd. 5, Nr. 3, Mai 1999 (1999-05), Seiten 735-739, XP000930556 ISSN: 1077-260X Seite 735, rechte Spalte, Absatz II Seite 736, rechte Spalte, Absatz II Seite 738, Absatz III; Abbildungen 1,2,4 ----- -/-	1-8,12, 15,18, 22,24,25

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- ^b Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kolliert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

15. Januar 2002

28/01/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gnugesser, H

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/03649

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SHUN TUNG YEN ET AL: "THEORETICAL INVESTIGATION ON SEMICONDUCTOR LASERS WITH PASSIVE WAVEGUIDES" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 32, Nr. 1, 1996, Seiten 4-13, XP000548674 ISSN: 0018-9197 Seite 4 Seite 6, rechte Spalte, Absatz III -Seite 7, rechte Spalte, Absatz III Seite 12, rechte Spalte, Absatz IV; Abbildungen 1,3,6 ---	1-4,6,8, 10,12, 18,22,23
A	LI W L ET AL: "Design of AlGaInP visible lasers with a low vertical divergence angle" SOLID STATE ELECTRONICS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, BARKING, GB, Bd. 42, Nr. 1, 1998, Seiten 87-90, XP004108423 ISSN: 0038-1101 das ganze Dokument ---	1,2
A	MAWST L J ET AL: "DESIGN OPTIMIZATION OF ARROW-TYPE DIODE LASERS" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 4, Nr. 11, 1. November 1992 (1992-11-01), Seiten 1204-1206, XP000328564 ISSN: 1041-1135 das ganze Dokument ---	1,5
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 359 (E-460), 3. Dezember 1986 (1986-12-03) -& JP 61 156788 A (SONY CORP), 16. Juli 1986 (1986-07-16) Zusammenfassung ---	1
A	US 5 260 959 A (HAYAKAWA TOSHIRO) 9. November 1993 (1993-11-09) Zusammenfassung Spalte 3, Zeile 56 -Spalte 5, Zeile 35; Abbildungen 1,2 ---	1
P,X	WENZEL ET AL.: "High-power diode lasers with small vertical beam divergence emitting at 808 nm" ELECTRONICS LETTERS, Bd. 37, Nr. 16, 2. August 2001 (2001-08-02), Seiten 1024-1026, XP006017047 das ganze Dokument -----	1-18,22

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern	des Aktenzeichen
PCT/DE	01/03649

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 61156788 A	16-07-1986 JP	6080859 B	12-10-1994
US 5260959 A	09-11-1993 JP	5235470 A	10-09-1993