

(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
22. März 2012 (22.03.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/034972 A2

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/065751

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. September 2011 (12.09.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 040 767.4
14. September 2010 (14.09.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FORSCHUNGSVERBUND BERLIN E.V.**
[DE/DE]; Rudower Chaussee 17, 12489 Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **CRUMP, Paul**
[DE/DE]; Simplonstr. 16, 10245 Berlin (DE). **ERBERT,
Götz** [DE/DE]; Am Ritterberg 17, 02708 Löbau (DE).
WENZEL, Hans [DE/DE]; Helene-Weber-Str. 16 A,
12355 Berlin (DE).

(74) Anwälte: **GULDE HENGELHAUPT ZIEBIG &
SCHNEIDER** et al.; Wallstraße 58/59, 10179 Berlin
(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, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(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)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LASER DIODE WITH HIGH EFFICIENCY

(54) Bezeichnung : LASERDIODE MIT HOHER EFFIZIENZ

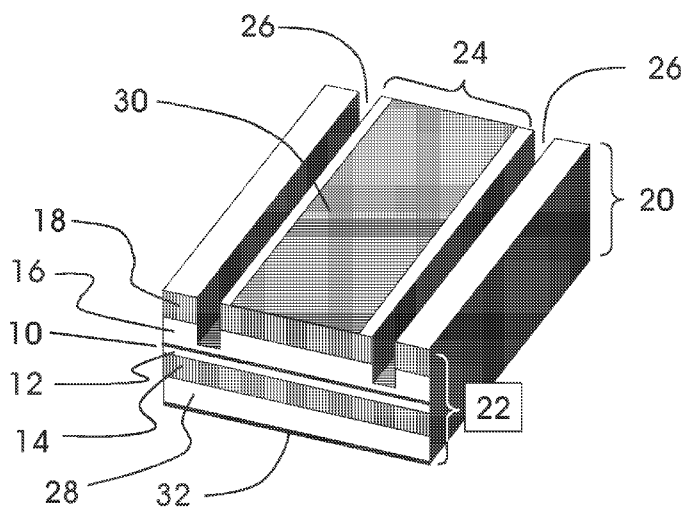


Fig. 1A

te Wellenleiterschicht (12), die zweite Wellenleiterschicht

(57) Abstract: The present invention relates to a
laser diode with high efficiency and high eye safe-
ty. The object of the present invention is to specify
a light source with high efficiency and high eye sa-
fety at the same time. For this purpose, the active
layer (10), the first outer layer (14), the first wave-
guide layer (12), the second waveguide layer (16)
and the second outer layer (18) are intended to be
designed such that $0.01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 1.0 \mu\text{m}$ and $\Delta n \geq 0.04$, where d_{WL} is the sum of the layer thickness
of the first waveguide layer (12), the layer thick-
ness of the active layer (10) and the layer thick-
ness of the second waveguide layer (16), and Δn is
a maximum of the refractive-index difference be-
tween the first outer layer (14) and the first wave-
guide layer (12), and the refractive-index differ-
ence between the second waveguide layer (16)
and the second outer layer (18).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfin-
dung betrifft eine Laserdiode mit hoher Effizienz
und hoher Augensicherheit. Es ist Aufgabe der
vorliegenden Erfindung, eine Lichtquelle mit
gleichzeitig hohem Wirkungsgrad und hoher Au-
gensicherheit anzugeben. Dazu soll die aktive
Schicht (10), die erste Mantelschicht (14), die ers-

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(16) und die zweite Mantelschicht (18) derart ausgebildet sein, dass $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{wL}} \leq 1,0 \mu\text{m}$ und $\Delta n \geq 0,04$ gilt, wobei d_{wL} die Summe der Schichtdicke der ersten Wellenleiterschicht (12), der Schichtdicke der aktiven Schicht (10) und der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht (16) ist und Δn ein Maximum der Brechzahldifferenz zwischen der ersten Mantelschicht (14) und der ersten Wellenleiterschicht (12) und der Brechzahldifferenz zwischen der zweiten Wellenleiterschicht (16) und der zweiten Mantelschicht (18) ist.

Titel

Laserdiode mit hoher Effizienz

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Laserdiode mit hoher Effizienz und hoher Augensicherheit.

In vielen Anwendungsgebieten, beispielsweise der Kosmetik (Haarentfernung), der Beleuchtung oder der Datenübertragung werden effiziente Lichtquellen nachgefragt, die jedoch eine hohe Augensicherheit aufweisen müssen, um gesundheitliche Schäden durch ungewolltes Einstrahlen in das menschliche Auge sicher ausschließen zu können.

In den genannten Anwendungsgebieten werden beispielsweise Blitzlampen oder Super-Lumineszenzdiolen eingesetzt, die jedoch einen geringen Wirkungsgrad aufweisen. Zwar haben Laserdioden einen hohen Wirkungsgrad, jedoch eine für viele Anwendung zu geringe Augensicherheit. Zur Überwindung der genannten Nachteile ist es aus US 7,118,563 B2 bekannt, Laserdioden mit hohem Wirkungsgrad zur Erhöhung der Augensicherheit mit konkaven Linsen oder Diffusoren zu kombinieren. Zwar kann dadurch die Augensicherheit erhöht werden, jedoch wird der Wirkungsgrad nachteilhafterweise reduziert. Weiterhin nachteilig sind erhöhte Kosten und eine komplizierte Montage.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lichtquelle mit gleichzeitig hohem Wirkungsgrad und hoher Augensicherheit anzugeben. Darüber hinaus soll die erfindungsgemäße Lichtquelle preiswert herstellbar und einfach montierbar sein.

Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

Die Idee der Erfindung besteht darin, die vertikale und/oder laterale Wellenführung in einer Laserdiode derart zu gestalten, dass entlang der vertikalen Richtung (fast axis) und/oder der lateralen Richtung (slow axis) die Fernfelddivergenz (95%-Winkel) mehr als 50° , bevorzugter mehr als 70° beträgt. Vorzugsweise wird die Laserdiode derart

ausgebildet, dass die Fernfelddivergenz sowohl entlang der vertikalen Richtung als auch der lateralen Richtung mehr als 50° , bevorzugter mehr als 70° beträgt.

Dadurch kann in Abhängigkeit von der Laserleistung in einem gewissen Abstand Augensicherheit ohne zusätzlichen Aufwand (Linsen, Diffusoren) gewährleistet werden. Als Fernfelddivergenz wird derjenige vertikale und/oder laterale Winkel in einer Entfernung von der Austrittsfacette von größer als 1 mm verstanden, innerhalb dessen 95% der Strahlungsleistung eingeschlossen sind bzw. abgestrahlt werden.

Das erfindungsgemäße optoelektronische Halbleiterbauelement (Laserdiode) weist eine aktive Schicht auf, die zur Strahlungserzeugung geeignet ist, wobei eine erste Wellenleiterschicht auf einer ersten Seite der aktiven Schicht angeordnet, eine erste Mantelschicht auf der ersten Wellenleiterschicht angeordnet, eine zweite Wellenleiterschicht auf einer zweiten Seite der aktiven Schicht angeordnet, und eine zweite Mantelschicht auf der zweiten Wellenleiterschicht angeordnet sind, wobei sich die erste Seite und die zweite Seite in Bezug auf die aktive Schicht gegenüberliegen, wobei eine Reflexionsfacette zur Reflexion der von der aktiven Schicht emittierten Strahlung und eine Austrittsfacette zur partiellen Reflexion und partiellen Auskopplung der von der aktiven Schicht emittierten Strahlung vorgesehen sind, wobei die Reflexionsfacette und die Austrittsfacette jeweils im Randbereich der aktiven Schicht angeordnet sind und wobei sich die Reflexionsfacette und die Austrittsfacette in Bezug auf die aktive Schicht gegenüberliegen, wobei die aktive Schicht, die erste Mantelschicht, die erste Wellenleiterschicht, die zweite Wellenleiterschicht und die zweite Mantelschicht erfindungsgemäß zur Erhöhung der vertikalen Fernfelddivergenz derart ausgebildet sind, dass die Bedingungen $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 1,0 \mu\text{m}$ und $\Delta n \geq 0,04$ erfüllt sind, wobei d_{WL} die Summe der Schichtdicke der ersten Wellenleiterschicht, der Schichtdicke der aktiven Schicht und der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht ist, und Δn ein Maximum der Brechzahldifferenz zwischen der ersten Mantelschicht und der ersten Wellenleiterschicht und der Brechzahldifferenz zwischen der zweiten Wellenleiterschicht und der zweiten Mantelschicht ist.

Es wurde gefunden, dass die (vertikale) Fernfelddivergenz bei einem (vertikalen) Schichtaufbau größer als 70° und somit die emittierte Strahlung augensicher im Sinne der vorliegenden Erfindung ist, wenn die Summe der Schichtdicken der Wellenleiter und der aktiven Schicht geeignet gewählt wird und weiterhin der (maximale) Brechzahlunterschied zwischen Wellenleiterschichten und zugehörigen

Mantelschichten einen gewissen Wert überschreiten. Herkömmliche Designs von Laserdioden zielen darauf ab, die (vertikale und laterale) Fernfelddivergenz möglichst gering zu halten, um die Laserstrahlung gut fokussieren zu können. Entgegen der üblichen Herangehensweise wurde gefunden, dass eine Laserdiode mit einer hohen (vertikalen) Fernfelddivergenz (größer als 50° , bevorzugter größer 70°) sowohl eine hohen Wirkungsgrad als auch eine hohe Augensicherheit bietet. Daher ist die erfindungsgemäße Laserdiode besonders für Anwendungen geeignet, bei denen einerseits ein hoher Wirkungsgrad und andererseits eine hohe Augensicherheit erforderlich sind, beispielsweise bei kosmetischen Behandlungen.

Vorzugsweise sind die erste Mantelschicht, die erste Wellenleiterschicht, die zweite Wellenleiterschicht und die zweite Mantelschicht derart ausgebildet sind, dass die Bedingung $\Delta n > 0,1$, noch bevorzugter $\Delta n > 0,15$, noch bevorzugter $\Delta n > 0,20$, noch bevorzugter $\Delta n > 0,25$ und noch bevorzugter $\Delta n > 0,30$ erfüllt ist. Durch einen höheren Brechzahlunterschied zwischen Wellenleiterschicht und Mantelschicht kann die (vertikale) Fernfelddivergenz erfindungsgemäß weiter erhöht werden.

Vorzugsweise sind die Brechzahlen von erster Wellenleiterschicht und zweiter Wellenleiterschicht gleich. Vorzugsweise sind die Brechzahlen von erster Mantelschicht und zweiter Mantelschicht gleich. Die Brechzahl bezieht sich auf die Zentralwellenlänge der von der aktiven Schicht emittierten Strahlung. Die Zentralwellenlänge der von der aktiven Schicht emittierten Strahlung liegt vorzugsweise zwischen 380 nm und 10 μm , bevorzugter zwischen 380 und 2000 nm.

Vorzugsweise sind die erste Wellenleiterschicht, die aktive Schicht und die zweite Wellenleiterschicht derart ausgebildet sind, dass die Bedingung $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 0,75 \mu\text{m}$, bevorzugter $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 0,5 \mu\text{m}$ und noch bevorzugter $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 0,3 \mu\text{m}$ erfüllt ist. Die oben genannten Werte für d_{WL} sind vorzugsweise für einen (Haarentfernungs-)Laser geeignet, der bei 800nm emittiert.

Die Schichtdickengrenzen für Strukturen mit einer anderen Emissionswellenlänge skalieren jeweils mit der internen Wellenlänge des Materials. Es wurde gefunden, dass die (vertikale) Fernfelddivergenz und damit Augensicherheit insbesondere für die angegebenen Bereiche weiter erhöht werden kann.

Vorzugsweise erstreckt sich die aktive Schicht über den gesamten Bereich zwischen der Reflexionsfacette und der Austrittsfacette. Vorzugsweise kontaktiert die aktive Schicht sowohl die Reflexionsfacette als auch die Austrittsfacette direkt.

Zur weiteren Erhöhung der lateralen Fernfelddivergenz wird ein Rippenwellenleiter vorgesehen, wobei der Rippenwellenleiter mit einem effektiven Indexsprung $\Delta n_{\text{eff}} > 0,06$, bevorzugt mit einem effektiven Indexsprung $\Delta n_{\text{eff}} > 0,10$ ausgebildet ist. Der effektive Indexsprung ist die Differenz des effektiven Brechungsindex im Bereich des Rippenwellenleiters und des effektiven Brechungsindex im Bereich neben dem Rippenwellenleiter. Die sogenannte effektive Indexmethode zur Bestimmung des effektiven Brechungsindex ist beispielsweise aus Coldren und Corzine, „Diode lasers and photonic integrated circuits“ Wiley-Interscience, New York, 1995, S. 428-440, Appendix 3 („Introduction to Optical Waveguide in Simple Double-Heterostructures“) bekannt.

Vorzugsweise weist die erfindungsgemäße Laserdiode sowohl einen Rippenwellenleiter mit einem effektiven Indexsprung $\Delta n_{\text{eff}} > 0,06$, bevorzugt mit einem effektiven Indexsprung $\Delta n_{\text{eff}} > 0,10$ als auch Schichten (Mantelschichten, Wellenleiterschichten und aktive Schicht) mit den Bedingungen $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 1,0 \mu\text{m}$ und $\Delta n \geq 0,04$ auf (vorzugsweise bei einer Emissionswellenlänge des Lasers von 800nm - für Anwendungen mit $\lambda \neq 800\text{nm}$ wird d_{WL} vorzugsweise mit der internen Wellenlänge im Material skaliert). Ein entsprechender effektiver Indexsprung Δn_{eff} kann durch diverse Techniken realisiert werden, z.B. Ätzen und Überwachsen, Eindiffundierung, Implantation oder Rippenwellenleitertechniken.

Als bevorzugte Ausführungsvariante wird die Nutzung eines Rippenwellenleiters näher erläutert, jedoch ist die vorliegende Erfindung darauf nicht beschränkt.

Vorzugsweise ist der Rippenwellenleiter durch (zwei) Gräben ausgebildet, welche in die zweite Wellenleiterschicht und die zweite Mantelschicht (und ggf. darüber liegende Schichten) eingebracht (vorzugsweise geätzt) sind, wobei die Tiefe der Gräben derart ausgebildet ist, dass ein minimaler Abstand zwischen der der zweiten Wellenleiterschicht zugewandten Seite der aktiven Schicht und der der aktiven Schicht zugewandten Seite der Gräben größer als 100 nm ist. Mit anderen Worten wird der vom Substrat aus oben liegende Wellenleiter vorzugsweise möglichst tief geätzt, wobei nicht in die aktive Schicht durchgeätzt werden soll. Dadurch wird die Zuverlässigkeit des Bauelements erhöht. Besonders bevorzugt wird ein oben liegender, asymmetrischer (vorzugsweise p-) Wellenleiter verwendet, der im Vergleich zum anderen (n-)Wellenleiter eine große Dicke aufweist. Das hat einerseits den Vorteil, dass der oben liegende Wellenleiter sehr tief geätzt werden kann (sehr tiefe

Gräben), ohne die aktive Schicht durchzuätzen, wodurch ein hoher effektiver Indexsprung, also eine hohe laterale Fernfelddivergenz erreicht werden kann. Andererseits kann durch die Asymmetrie eine hohe Zuverlässigkeit dadurch erreicht werden, weil nur ein geringer Teil der Strahlungsleistung in der aktiven Schicht liegt, wodurch ein COMD (catastrophal optical mirror damage) trotz hoher Leistung verhindert werden kann.

Vorzugsweise sind die erste Mantelschicht und die erste Wellenleiterschicht n-leitend und die zweite Wellenleiterschicht und die zweite Mantelschicht p-leitend ausgebildet. Vorzugsweise sind die erste Wellenleiterschicht, die aktive Schicht und die zweite Wellenleiterschicht derart ausgebildet, dass das Verhältnis zwischen der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht einerseits und der Summe der Schichtdicke der ersten Wellenleiterschicht, der Schichtdicke der aktiven Schicht und der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht andererseits größer als 0,45, bevorzugter größer 0,5, noch bevorzugter größer 0,55, noch bevorzugter größer 0,60, noch bevorzugter größer 0,65, noch bevorzugter größer 0,70, noch bevorzugter größer 0,75, noch bevorzugter größer 0,80, noch bevorzugter größer 0,85 und noch bevorzugter größer 0,9 ist. Es wurde gefunden, dass ein großes Verhältnis der (vorzugsweise p-) Wellenleiterdicke zur Gesamtdicke von aktiver Schicht und Wellenleitern zu einem großen effektiven Indexsprung Δn_{eff} und entsprechend zu einer großen lateralen Fernfelddivergenz führt.

Vorzugsweise werden die Gräben nah an die aktive Schicht herangeführt, ohne die aktive Schicht jedoch zu durchdringen. Vorzugsweise ist ein minimaler Abstand zwischen der der zweiten Wellenleiterschicht zugewandten Seite der aktiven Schicht und der der aktiven Schicht zugewandten Seite der Gräben kleiner als 500 nm, bevorzugter kleiner als 250 nm.

Die richtige Auswahl der Breite des Rippenwellenleiters ist ein Gleichgewicht zwischen diverse Effekten. Erstens haben praktikabel herstellbare Rippenwellenleiter eine Breite, die aufgrund von Prozesstoleranzen im Bereich $> 1\mu\text{m}$ liegt. Breite Rippenwellenleiter führen mehr als eine laterale Mode. Moden höherer Ordnung haben breitere laterale Winkel und sind für eine hohe Augensicherheit und große Beleuchtungsvolumen bevorzugt. Jedoch spielt nicht jede Obermode eine Rolle im Laserbetrieb, typisch nur die ersten paar Moden. Strukturen mit sehr großen Rippenwellenleiterbreiten $\gg 50\mu\text{m}$ erzeugen viele Obermoden, jedoch haben die

ersten paar Moden, die eine entscheidende Rolle im Laserbetrieb spielen, relativ schmale Ausgangswinkel. Mit den vorgenannten vertikalen Schichtdicken erhält man eine bevorzugte laterale Feldfelddivergenz, d.h. die Laserdioden mit lateralen Ausgangswinkeln in Bereich $> 70^\circ$ (FF95%, Feldfelddivergenz, in der 95% der Strahlungsenergie eingeschlossen sind).

Bevorzugte Breiten des Rippenwellenleiters sind $d_{\text{well}} = 1\text{-}20\mu\text{m}$, noch bevorzugter $d_{\text{well}} = 2\text{-}10\mu\text{m}$ und noch bevorzugter $d_{\text{well}} = 3\text{-}7\mu\text{m}$. Für Anwendungen mit $\lambda \neq 800\text{nm}$ ist es bevorzugt, die Breite mit der internen Wellenlänge im Material zu skalieren.

Vorzugsweise weist das Bauelement weder einen Diffusor noch eine konkave Linse auf. Vorzugsweise weisen alle Schichten (insbesondere aktive Schicht, Wellenleiterschichten und Mantelschichten) eine relativ uniforme Schichtdicke über ihre Gesamterstreckung auf, wobei das Verhältnis von maximaler Schichtdicke zu minimaler Schichtdicke kleiner als 2 ist. Vorzugsweise weisen alle Schichten (insbesondere aktive Schicht, Wellenleiterschichten und Mantelschichten) eine uniforme Schichtdicke auf.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1A die erfindungsgemäße Laserdiode in schematischer perspektivischer Darstellung,
- Fig. 1B die erfindungsgemäße Laserdiode aus Fig. 1A in schematischer geschnittener Darstellung entlang einer Achse quer zur Lichtausbreitungsrichtung,
- Fig. 1C die erfindungsgemäße Laserdiode aus Fig. 1A in schematischer geschnittener Darstellung entlang einer Achse parallel zur Lichtausbreitungsrichtung,
- Fig. 2 die Abhängigkeit der vertikalen Feldfelddivergenz der erfindungsgemäßen Laserdiode von der Gesamtdicke der Wellenleiterschichten inklusive aktiver Schicht einerseits und der Brechzahldifferenz zwischen Wellenleiterschichten und Mantelschichten andererseits,

- Fig. 3 die Brechzahlverteilung entlang der Schichten der erfindungsgemäßen Laserdiode mit symmetrischen Wellenleiterschichten sowie die dazugehörige vertikale Verteilung der Modenintensität in der erfindungsgemäßen Laserdiode,
- Fig. 4 die Brechzahlverteilung entlang der Schichten der erfindungsgemäßen Laserdiode mit asymmetrischen Wellenleiterschichten sowie die dazugehörige vertikale Verteilung der Modenintensität in der erfindungsgemäßen Laserdiode,
- Fig. 5 die Abhängigkeit der in der aktiven Schicht anteiligen Strahlungsenergie in Bezug auf die Gesamtstrahlungsenergie vom Verhältnis der p-Wellenleiterschichtdicke zur der Gesamtdicke der Wellenleiterschichten inklusive aktiver Schicht einerseits und die Abhängigkeit des Verhältnisses von Schichtdicke der aktiven Schicht zur in der aktiven Schicht anteiligen Strahlungsenergie vom Verhältnis der p-Wellenleiterschichtdicke zur der Gesamtdicke der Wellenleiterschichten inklusive aktiver Schicht andererseits,
- Fig. 6 eine bevorzugte Ausführungsvariante einer erfindungsgemäßen Laserdiode mit Rippenwellenleiter in schematischer geschnittener Darstellung,
- Fig. 7 die Abhängigkeit des effektiven Indexsprungs Δn_{eff} vom Verhältnis der p-Wellenleiterschichtdicke zur Gesamtdicke der Wellenleiterschichten inklusive aktiver Schicht, und
- Fig. 8 die Abhängigkeit der vertikalen Feldfelddivergenz vom effektiven Indexsprung Δn_{eff} einerseits und von der Breite des Rippenwellenleiters andererseits.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1A-1C zeigen die erfindungsgemäße Laserdiode in perspektivischer und geschnittener Darstellung.

Die erfindungsgemäße Laserdiode weist einen vertikalen Schichtaufbau mit einem Substrat 28, einer darauf angeordneten, ersten n-leitenden Mantelschicht 14, einer darauf angeordneten, ersten n-leitenden Wellenleiterschicht 12, einer darauf

angeordneten aktiven Schicht 10, einer darauf angeordneten, zweiten p-leitenden Wellenleiterschicht 16 und einer darauf angeordneten, zweiten p-leitenden Mantelschicht 18 auf.

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Laserdiode an den seitlichen, gegenüberliegenden Enden eine Reflexionsfacette 20 mit einer hohen Reflektivität für die Zentralwellenlänge der von der aktiven Schicht 10 emittierten Strahlung und eine Austrittsfacette 22 mit einer Reflektivität, die eine Auskopplung der Strahlung ermöglicht, auf. Die Reflektivität der Reflexionsfacette 20 beträgt vorzugsweise größer 0,8, noch bevorzugter größer 0,9 und noch bevorzugter größer 0,99. Die Reflektivität der Austrittsfacette 22 ist kleiner als die Reflektivität der Reflexionsfacette 20.

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Laserdiode Kontakte 30 und 32 zur Injektion von Ladungsträgern auf. Durch die so gebildete Struktur können Ladungsträger einer ersten Polarität jeweils über den ersten Kontakt 30, die erste Mantelschicht 14 (hier vorzugsweise n-leitend) und die erste Wellenleiterschicht 12 (hier vorzugsweise n-leitend) in die aktive Schicht 10 und Ladungsträger der entgegengesetzten Polarität jeweils über den zweiten Kontakt 32, die zweite Mantelschicht 18 (hier vorzugsweise p-leitend) und die zweite Wellenleiterschicht 16 (hier vorzugsweise p-leitend) ebenfalls in die aktive Schicht 10 gelangen und dort rekombinieren, wodurch eine Emission hervorgerufen wird. Die Facetten 20 und 22 bilden eine Kavität, so dass ein Laserbetrieb erreicht werden kann.

Die konkrete Struktur des in den Fig. 1A-1C gezeigten, bevorzugten Ausführungsbeispiels ist ein Diodenlaser mit einer aktiven Schicht 10 mit einer Emissionswellenlänge bei 808nm, hergestellt aus AlGaAs, mit einem GaAsP Einzelquantentrog. Mantel- und Wellenleiterschichten 12, 14, 16, 18 sind aus $\text{Al}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$ hergestellt. Für den Wellenleiter 12, 16 ist x in $\text{Al}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$ bevorzugt zwischen 85% und 20%, noch bevorzugter zwischen 70%-25% noch und bevorzugter zwischen 50%-30%.

Um das Δn -Ziel zu erfüllen, ist x für die Mantelschichten 14, 18 in $\text{Al}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$ bevorzugt $> +5\%$ verglichen mit der Aluminium-Gehalt der Wellenleiterschichten 12, 16, noch bevorzugter $> +10\%$, noch bevorzugter $> +25\%$ und noch bevorzugter $> +50\%$ (jedoch maximal 100%). Die Dicke des Wellenleiters 24 ist bevorzugt 0,01-1,0 μm ; noch bevorzugter 0,05-0,7 μm und noch bevorzugter 0,1-0,5 μm . Das Verhältnis der Dicke des oberen Wellenleiters 16 (hier p-dotiert) zur Dicke des unteren

Wellenleiters 12 (hier n-dotiert) ist bevorzugt $> 65\%$, bevorzugter $> 75\%$ und noch bevorzugter $> 85\%$. Die Ätztiefe des Rippenwellenleiters 24 ist bevorzugt so gewählt, dass der geätzte Bereich 100nm von der aktiven Schicht 10 (entlang einer vertikalen Achse) entfernt ist. Die Breite des Rippenwellenleiters 24 ist bevorzugt $1-20\mu\text{m}$, bevorzugter $2-10\mu\text{m}$ und noch bevorzugter $3-7\mu\text{m}$.

Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit der vertikalen Feldfelddivergenz (VFF95%, vertikale Feldfelddivergenz, in der 95% der vertikalen Strahlungsenergie eingeschlossen sind) der Laserdiode der Fig. 1 von der Gesamtdicke d_{WL} , die sich aus der Summe der ersten Wellenleiterschicht 12, der aktiven Schicht 10 und der zweiten Wellenleiterschicht 16 ergibt. Die Abhängigkeit ist für unterschiedliche Brechzahldifferenzen Δn zwischen erster Mantelschicht 14 und erster Wellenleiterschicht 12 dargestellt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Brechzahldifferenz Δn zwischen erster Mantelschicht 14 und erster Wellenleiterschicht 12 gleich Brechzahldifferenz zwischen zweiter Mantelschicht 18 und zweiter Wellenleiterschicht 16. Es ist zu erkennen, dass eine ausreichend hohe vertikale Feldfelddivergenz für eine Gesamtdicke d_{WL} zwischen $0,01\mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 1,0\mu\text{m}$ und eine Brechzahldifferenz für Δn (bzw. Δn) $\geq 0,04$ (bzw. Δn) erreicht werden kann. Besonders hohe vertikale Feldfelddivergenzen lassen sich für eine Gesamtdicke d_{WL} zwischen $0,01\mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 0,5\mu\text{m}$ und eine Brechzahldifferenz für Δn (bzw. Δn) $\geq 0,2$ erreichen.

Fig. 3 zeigt die Brechzahlverteilung (Brechzahl n) entlang der Schichten 10, 12, 14, 16 und 18 entlang einer vertikalen Achse mit symmetrischen Wellenleiterschichten (Schichtdicke 12 = Schichtdicke 16) sowie die dazugehörige vertikale Verteilung der Modenintensität I . Die genaue vertikale Position (Tiefe) der einzelnen Schichten 10, 12, 14, 16 und 18 entlang der vertikalen Achse ist mit t bezeichnet. Weiterhin zeigt Fig. 3 die Brechzahldifferenz (Δn) zwischen den Schichten 12 und 14 sowie 16 und 18 und die Gesamtdicke d_{WL} .

Fig. 4 zeigt wie Fig. 3 die Brechzahlverteilung sowie die dazugehörige vertikale Verteilung der Modenintensität I für asymmetrische Wellenleiterschichten, bei denen die Dicke der ersten Wellenleiterschicht 12 deutlich kleiner als die Dicke der zweiten Wellenleiterschicht 16 ist. Wie aus Fig. 4 ersichtlich ist, kann dadurch der Energieanteil in der aktiven Schicht 10 deutlich reduziert werden, wodurch

vorteilhafterweise ein COMD trotz hoher Leistung der Laserdiode verhindert werden kann.

Fig. 5 zeigt einerseits die Abhängigkeit der in der aktiven Schicht 10 anteiligen Strahlungsenergie Γ_{WELL} in Bezug auf die Gesamtstrahlungsenergie vom Verhältnis der p-Wellenleiterschichtdicke d_p (=Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht 16) zur der Gesamtdicke d_G der Wellenleiterschichten 12, 16 inklusive aktiver Schicht 10. Mit anderen Worten repräsentiert die anteilige Strahlungsenergie Γ_{WELL} das Verhältnis von Strahlungsenergie in der aktiven Schicht 10 zur Strahlungsenergie im gesamten Bauelement. Es ist aus Fig. 5 ersichtlich, dass die anteilige Strahlungsenergie Γ_{WELL} mit zunehmendem Verhältnis d_p/d_G sinkt. Darüber hinaus zeigt Fig. 5 die Abhängigkeit des Verhältnisses von Schichtdicke d der aktiven Schicht 10 zur in der aktiven Schicht 10 anteiligen Strahlungsenergie Γ_{WELL} vom Verhältnis d_p/d_G der p-Wellenleiterschichtdicke (Schichtdicke von 16) zur der Gesamtdicke der Wellenleiterschichten inklusive aktiver Schicht (Summe der Schichtdicken von 12, 10, 16). Es ist aus Fig. 5 ersichtlich, dass das Verhältnis d/Γ_{WELL} mit zunehmendem Verhältnis d_p/d_G steigt.

Fig. 6 zeigt eine bevorzugte Ausführungsvariante einer erfindungsgemäßen Laserdiode mit Rippenwellenleiter 24 in schematischer geschnittener Darstellung. Durch den Rippenwellenleiter 24 wird ein lateraler Indexsprung Δn_{eff} erzeugt. Zur Bestimmung des lateralen Indexsprungs Δn_{eff} kann die sogenannte effektive Indexmethode zur Bestimmung der effektiven Brechungsindices $n_{\text{eff}}(1)$ und $n_{\text{eff}}(2)$ verwendet werden. Zur Vergrößerung der lateralen Fernfelddivergenz sollen die Gräben 26 möglichst tief, jedoch zur Verbesserung der Stabilität des Bauelements nicht in die aktive Schicht 10 geätzt werden. Vorzugsweise bleibt ein Abstand zwischen den Gräben 26 und der aktiven Schicht 10 von mindestens 100 nm. Die Materialien der Schichten 16 und 18 sowie die Dimension des Rippenwellenleiters 24 (und der Gräben 28) werden so gewählt, dass ein ausreichend hoher lateraler Indexsprung Δn_{eff} und damit eine ausreichend hohe laterale Fernfelddivergenz erreicht wird.

Fig. 7 zeigt die Abhängigkeit des effektiven Indexsprungs Δn_{eff} vom Verhältnis d_p/d_G der p-Wellenleiterschichtdicke (Schichtdicke von 16) zur Gesamtdicke der Wellenleiterschichten inklusive aktiver Schicht (Summe der Schichtdicken von 12, 10,

16). Es ist ersichtlich, dass ein ausreichend hoher Indexsprung Δn_{eff} bei einem Verhältnis d_p/d_G von größer 0,65 (bzw. 65%) erreicht werden kann.

Fig. 8 zeigt die Abhängigkeit der lateralen Feldfelddivergenz (LFF95%, laterale Feldfelddivergenz, in der 95% der lateralen Strahlungsenergie eingeschlossen sind) vom effektiven Indexsprung Δn_{eff} einerseits und von der Breite des Rippenwellenleiters 24 andererseits. Es ist ersichtlich, dass eine ausreichend hohe laterale Feldfelddivergenz für Breiten des Rippenwellenleiters 24 von kleiner 10 μm , bevorzugt kleiner 5 μm und einem effektiven Indexsprung Δn_{eff} von größer 0,07 erreicht werden kann.

Bezugszeichenliste

- 10 Aktive Schicht
- 12 Erste Wellenleiterschicht
- 14 Erste Mantelschicht
- 16 Zweite Wellenleiterschicht
- 18 Zweite Mantelschicht
- 20 Reflexionsfacette
- 22 Austrittsfacette
- 24 Rippenwellenleiter
- 26 Graben
- 28 Substrat
- 30 Kontakt zur Injektion von Ladungsträgern
- 32 Kontakt zur Injektion von Ladungsträgern

Patentansprüche

1. Optoelektronisches Halbleiterbauelement, aufweisend:
eine aktive Schicht (10), die zur Strahlungserzeugung geeignet ist, eine erste Wellenleiterschicht (12), die auf einer ersten Seite der aktiven Schicht (10) angeordnet ist, eine erste Mantelschicht (14), die auf der ersten Wellenleiterschicht (12) angeordnet ist, eine zweite Wellenleiterschicht (16), die auf einer zweiten Seite der aktiven Schicht (10) angeordnet ist, und eine zweite Mantelschicht (18), die auf der zweiten Wellenleiterschicht (16) angeordnet ist, wobei sich die erste Seite und die zweite Seite in Bezug auf die aktive Schicht (10) gegenüberliegen, wobei eine Reflexionsfacette (20) zur Reflexion der von der aktiven Schicht (10) emittierten Strahlung und eine Austrittsfacette (22) zur Reflexion und Auskopplung der von der aktiven Schicht (10) emittierten Strahlung vorgesehen sind, wobei die Reflexionsfacette (20) und die Austrittsfacette (22) jeweils im Randbereich der aktiven Schicht (10) angeordnet sind und wobei sich die Reflexionsfacette (20) und die Austrittsfacette (22) in Bezug auf die aktive Schicht (10) gegenüberliegen, **dadurch gekennzeichnet**, dass
mindestens eine der Bedingungen (i) und (ii) erfüllt ist:
 - (i) die aktive Schicht (10), die erste Mantelschicht (14), die erste Wellenleiterschicht (12), die zweite Wellenleiterschicht (16) und die zweite Mantelschicht (18) sind derart ausgebildet, dass die Bedingungen
$$0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 1,0 \mu\text{m} \text{ und } \Delta n \geq 0,04;$$
erfüllt sind,
wobei d_{WL} die Summe der Schichtdicke der ersten Wellenleiterschicht (12), der Schichtdicke der aktiven Schicht (10) und der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht (16) ist, und Δn ein Maximum der Brechzahldifferenz zwischen der ersten Wellenleiterschicht (12) und der ersten Mantelschicht (14) und der Brechzahldifferenz zwischen der zweiten Wellenleiterschicht (16) und der zweiten Mantelschicht (18) ist, und
 - (ii) das Halbleiterbauelement weist einen Rippenwellenleiter (24) mit einem effektiven Indexsprung $\Delta n_{\text{eff}} > 0,06$ auf.

2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die erste Wellenleiterschicht (12), die aktive Schicht (10) und die zweite Wellenleiterschicht (16) derart ausgebildet sind, dass das Verhältnis zwischen der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht (16) einerseits und Summe der Schichtdicke der ersten Wellenleiterschicht (12), der Schichtdicke der aktiven Schicht (10) und der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht (16) andererseits größer als 0,65 ist.
3. Halbleiterbauelement gemäß der alternative (ii) des Anspruchs 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Rippenwellenleiter (24) einen effektiven Indexsprung $\Delta n_{\text{eff}} > 0,1$ aufweist.
4. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die erste Mantelschicht (14), die erste Wellenleiterschicht (12), die zweite Wellenleiterschicht (16) und die zweite Mantelschicht (18) derart ausgebildet sind, dass die Bedingung $\Delta n > 0,15$ erfüllt ist.
5. Halbleiterbauelement nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die erste Mantelschicht (14), die erste Wellenleiterschicht (12), die zweite Wellenleiterschicht (16) und die zweite Mantelschicht (18) derart ausgebildet sind, dass die Bedingung $\Delta n > 0,30$ erfüllt ist.
6. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die erste Wellenleiterschicht (12), die aktive Schicht (10) und die zweite Wellenleiterschicht (16) derart ausgebildet sind, dass die Bedingung $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 0,75 \mu\text{m}$ erfüllt ist.
7. Halbleiterbauelement nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass

die erste Wellenleiterschicht (12), die aktive Schicht (10) und die zweite Wellenleiterschicht (16) derart ausgebildet sind, dass die Bedingung $0,01 \mu\text{m} \leq d_{\text{WL}} \leq 0,5 \mu\text{m}$ erfüllt ist.

8. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die aktive Schicht (10) über den gesamten Bereich zwischen der Reflexionsfacette (20) und der Austrittsfacette (22) erstreckt, wobei die aktive Schicht (10) die Reflexionsfacette (20) und die Austrittsfacette (22) direkt kontaktiert.
9. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Wellenleiterschicht (12), die aktive Schicht (10) und die zweite Wellenleiterschicht (16) derart ausgebildet sind, dass das Verhältnis zwischen der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht (16) einerseits und Summe der Schichtdicke der ersten Wellenleiterschicht (12), der Schichtdicke der aktiven Schicht (10) und der Schichtdicke der zweiten Wellenleiterschicht (16) andererseits größer als 0,85 ist.
10. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rippenwellenleiter (24) durch Gräben (26), welche in die zweite Wellenleiterschicht (16) und die zweite Mantelschicht (18) eingebracht sind, ausgebildet ist, wobei die Tiefe Gräben (26) derart ausgebildet ist, dass ein minimaler Abstand zwischen der der zweite Wellenleiterschicht (16) zugewandten Seite der aktiven Schicht (10) und der der aktiven Schicht (10) zugewandten Seite der Gräben (26) größer als 100 nm ist.
11. Halbleiterbauelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein maximaler Abstand zwischen der der zweite Wellenleiterschicht (16) zugewandten Seite der aktiven Schicht (10) und der der aktiven Schicht (10) zugewandten Seite der Gräben (26) kleiner als 500 nm ist.

12. Halbleiterbauelement nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein maximaler Abstand zwischen der der zweite Wellenleiterschicht (16)
zugewandten Seite der aktiven Schicht (10) und der der aktiven Schicht (10)
zugewandten Seite der Gräben (26) kleiner als 250 nm ist.
13. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Breite des Rippenwellenleiters (24) kleiner als 20 μm , bevorzugt kleiner als
10 μm ist.
14. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die erste Mantelschicht (14) und die erste Wellenleiterschicht (12) n-leitend
ausgebildet und die zweite Wellenleiterschicht (16) und die zweite
Mantelschicht (18) p-leitend ausgebildet sind.
15. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Bauelement weder einen Diffusor noch eine konkave Linse aufweist.

1/10

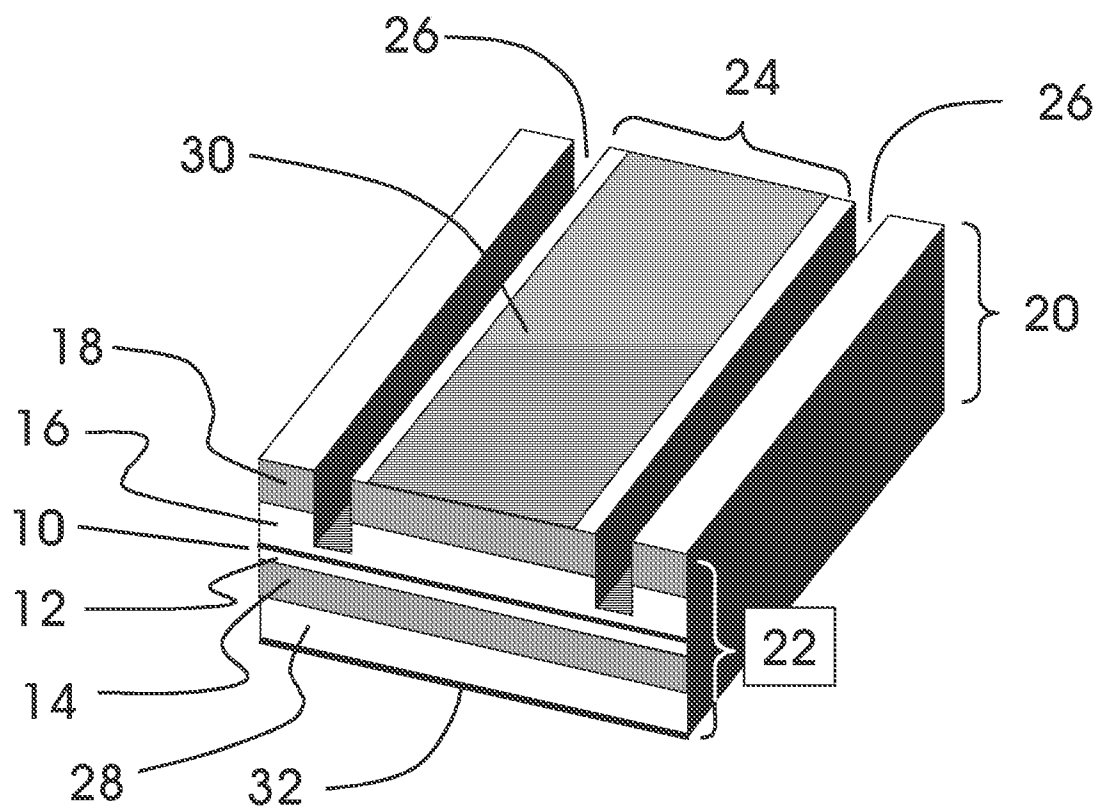


Fig. 1A

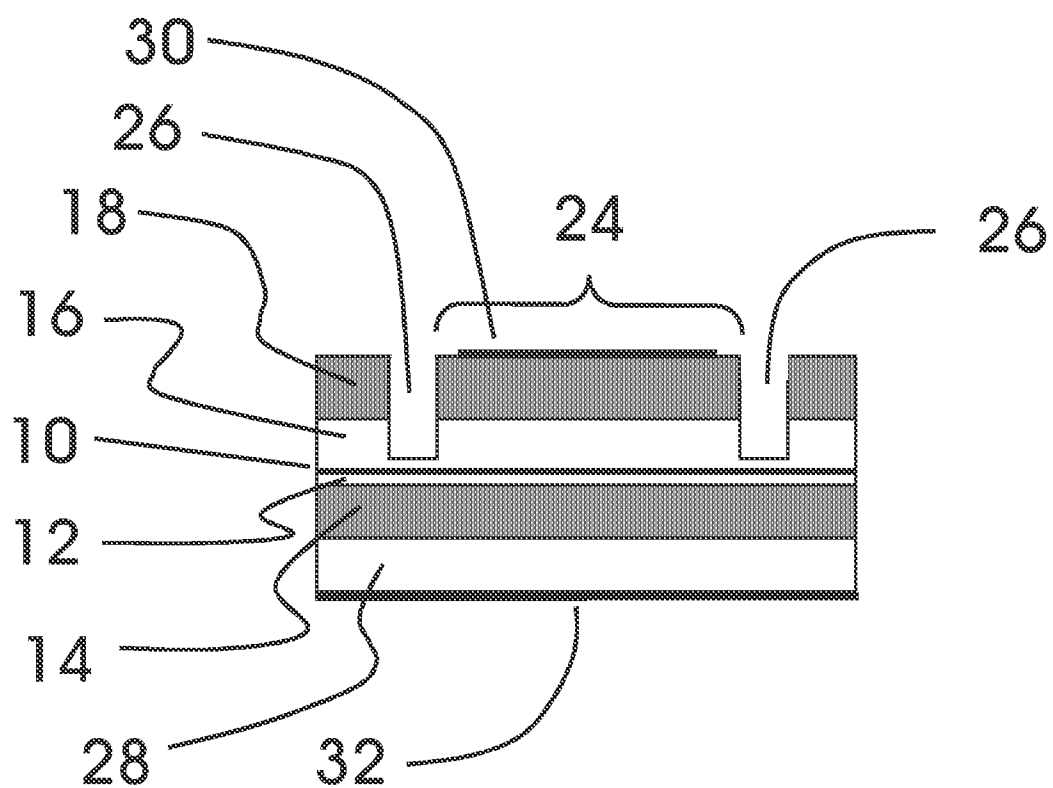


Fig. 1B

3/10

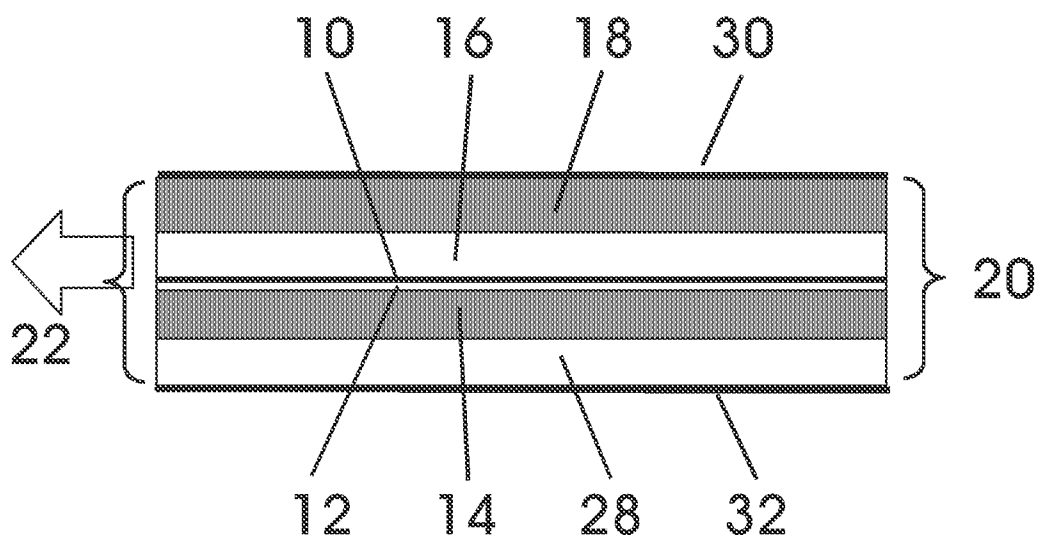


Fig. 1C

4/10

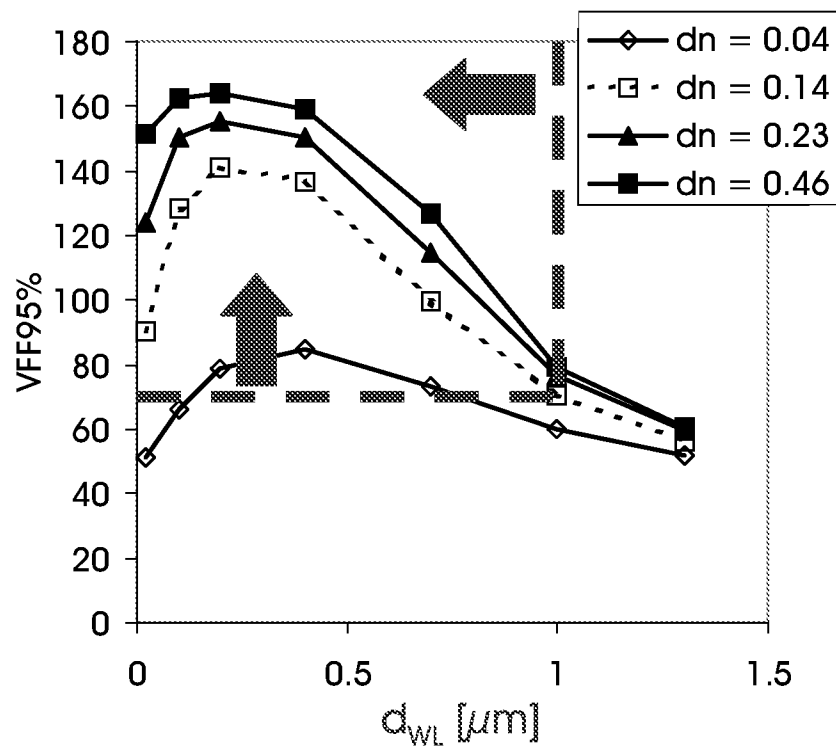


Fig. 2

5/10

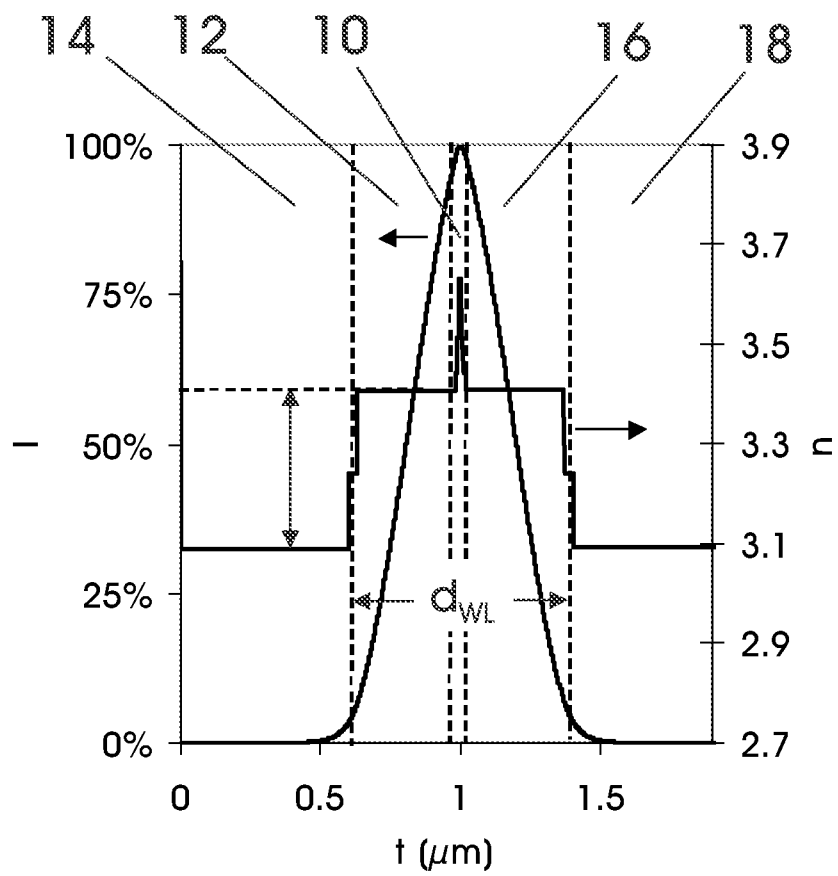


Fig. 3

6/10

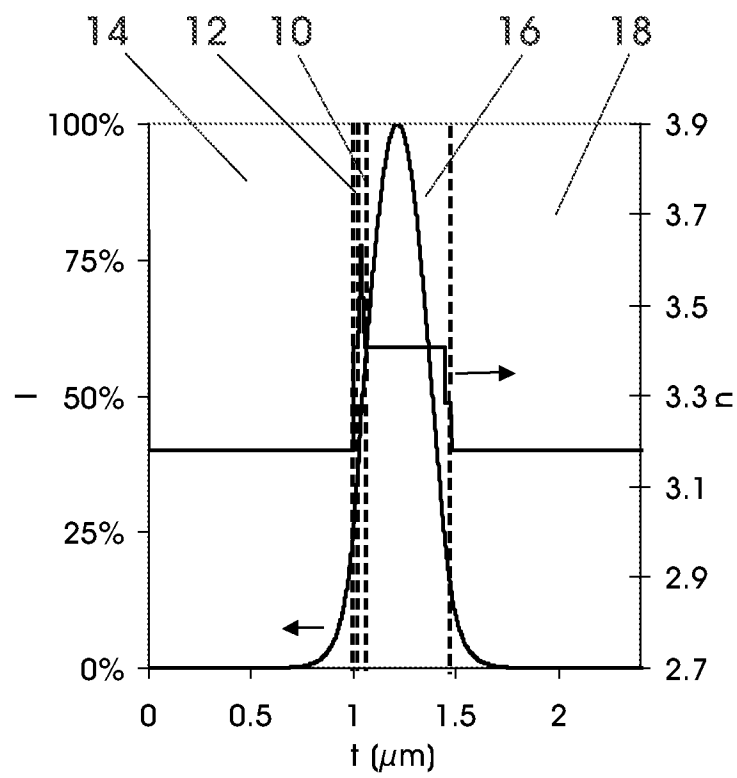


Fig. 4

7/10

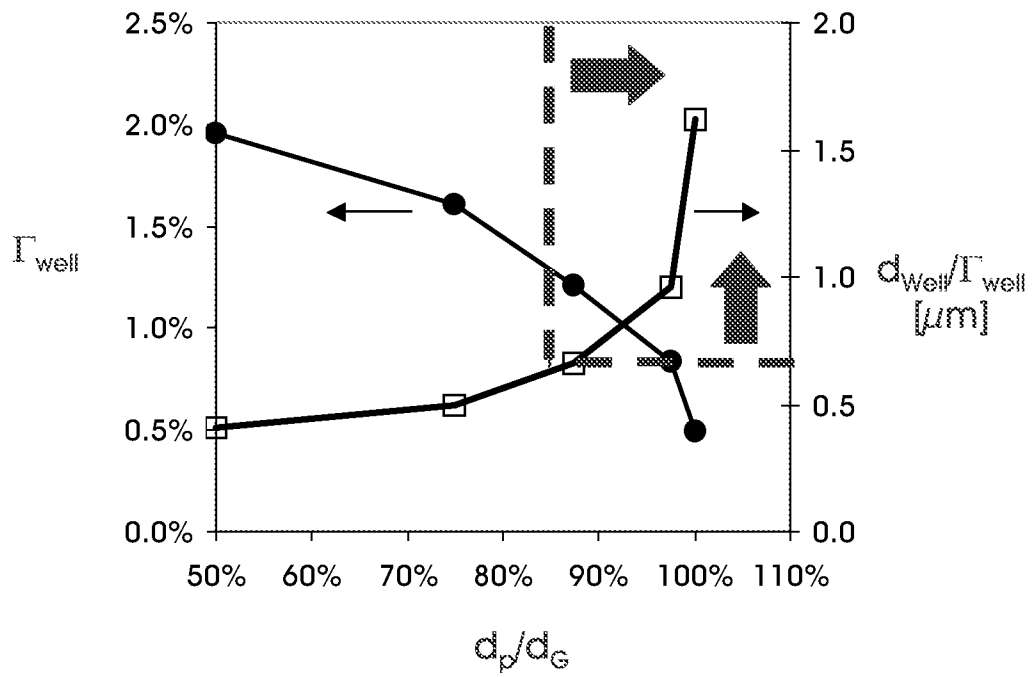


Fig. 5

8/10

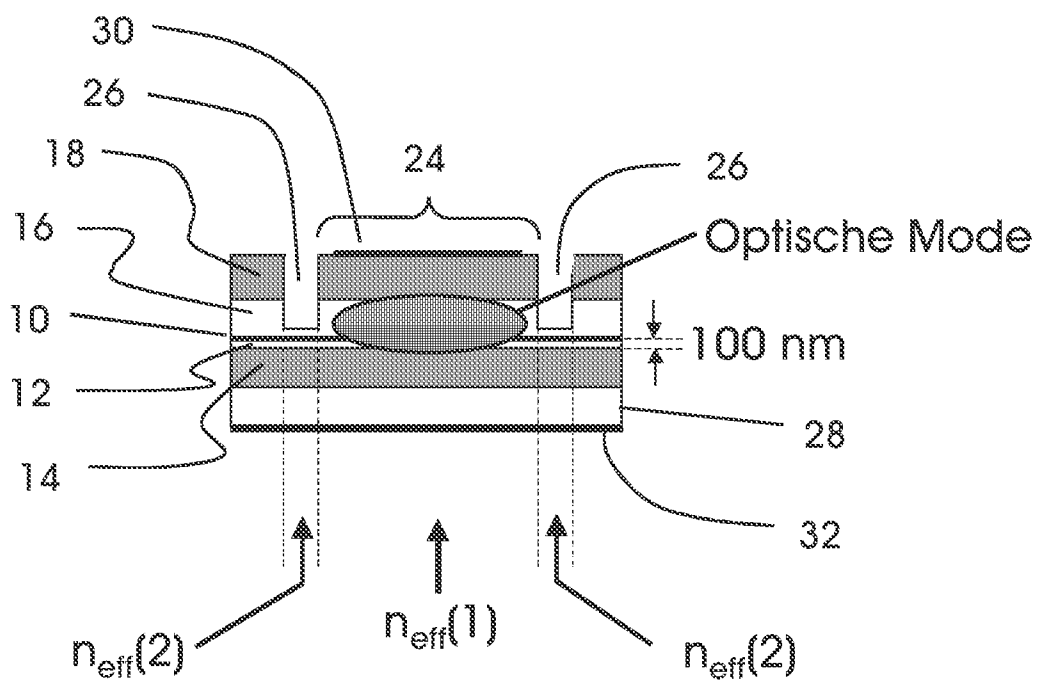


Fig. 6

9/10

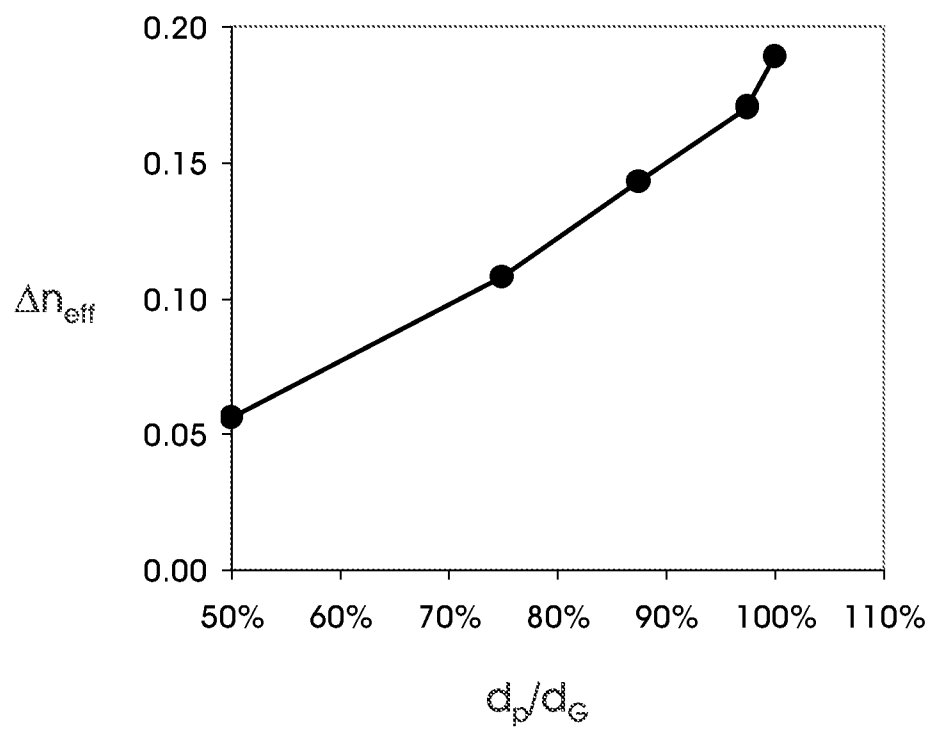


Fig. 7

10/10

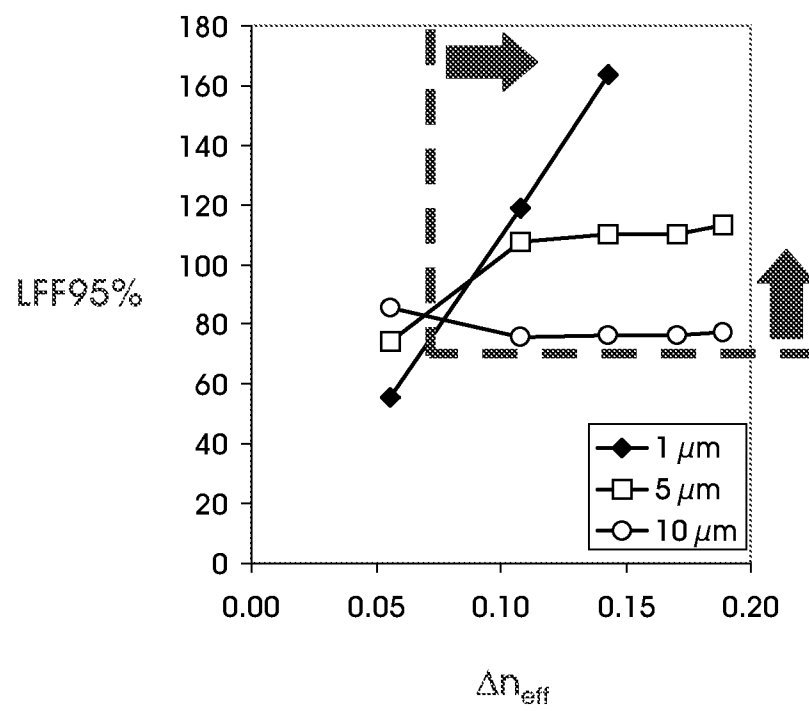


Fig. 8