

(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
11. September 2009 (11.09.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/109166 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 5/183 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/000268

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. Februar 2009 (25.02.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 012 315.3 3. März 2008 (03.03.2008) DE
10 2008 017 268.5 4. April 2008 (04.04.2008) DE

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

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LINDBERG, Hans**
[SE/DE]; Lessingstrasse 22, 93138 Lappersdorf (DE). **IL-
LEK, Stefan** [AT/DE]; Bayerwaldstrasse 45, 93093 Do-
naustauf (DE).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENT-
ANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstrasse 55,
80339 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, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

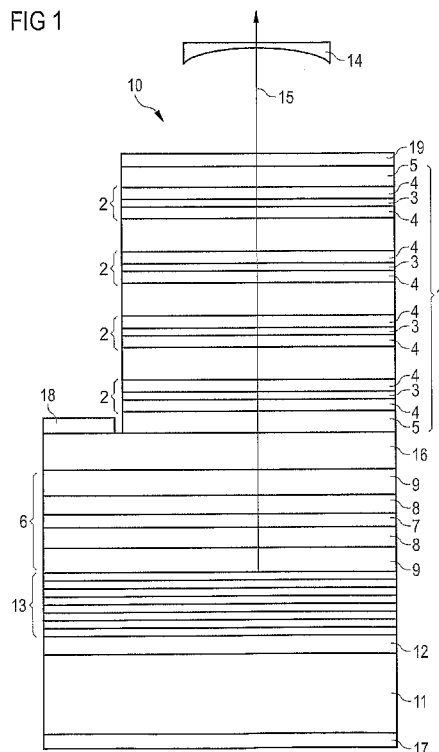
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SURFACE-EMITTING SEMICONDUCTOR LASER HAVING A MONOLITHIC INTEGRATED PUMP LASER

(54) Bezeichnung: OBERFLÄCHENEMITTIERENDER HALBLEITERLASER MIT MONOLITHISCH INTEGRIERTEM
PUMPLASER

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a surface-emitting semiconductor laser comprising a semiconductor base (10) having an active zone (1) with a quantum well structure, the quantum well structure containing a plurality of quantum wells (2) which are formed by respective quantum well layers (3) arranged between barrier layers (4). The surface-emitting semiconductor laser further comprises a pump laser (6) which is monolithically integrated into the semiconductor base (10) and which emits pump radiation for optically pumping the active zone (1), the pump radiation forming a mode profile (21) in the semiconductor base (10) and the quantum wells (2) being interspaced in such a manner that they are arranged in the zone of a maximum (22) of the mode profile (21) of the pump radiation.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein oberflächenemittierender Halbleiterlaser mit einem Halbleiterkörper (10), der eine aktive Zone (1) mit einer Quantentopfstruktur aufweist, wobei die Quantentopfstruktur mehrere Quantentöpfe (2) enthält, die jeweils aus einer zwischen Barrierschichten (4) angeordneten Quantentopfschicht (3) gebildet sind, und einem monolithisch in den Halbleiterkörper (10) integrierten Pumplaser (6), der Pumpstrahlung zum optischen Pumpen der aktiven Zone (1) emittiert, angegeben. Dabei bildet die Pumpstrahlung ein Modenprofil (21) in dem Halbleiterkörper (10) aus und die Quantentöpfe (2) sind derart voneinander beabstandet, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums (22) des Modenprofils (21) der Pumpstrahlung angeordnet sind.



SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Veröffentlicht:**

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

Beschreibung

Oberflächenemittierender Halbleiterlaser mit monolithisch integriertem Pumplaser

Die Erfindung betrifft einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser, bei dem ein Pumplaser zum optischen Pumpen der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers monolithisch in den Halbleiterkörper integriert ist.

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldungen 10 2008 012 315.3 und 10 2008 017 268.5, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Oberflächenemittierende Halbleiterlaser werden auch als VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) oder in der Ausführung mit externem Resonator als VECSEL (Vertical External Cavity Surface Emitting Laser) bezeichnet. Derartige oberflächenemittierende Halbleiterlaser enthalten einen Vertikalemitterbereich, der in der Regel durch eine Quantentopfstruktur gebildet wird, wobei der Vertikalemitterbereich durch optisches Pumpen oder elektrisches Pumpen zur Emission von Laserstrahlung angeregt wird.

Aus den Druckschriften DE 10260183 A1 und DE 102004024611 A1 sind optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaser bekannt, bei denen die Quantentopfstruktur des Vertikalemitters jeweils mit einer außerhalb des Halbleiterchips angeordneten externen Pumpstrahlungsquelle, die Pumpstrahlung unter einem Winkel in den Halbleiterkörper

einstrahlt, optisch gepumpt wird. Bei diesen Ausführungsformen eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers ist es bekannt, an einer der externen Pumpstrahlungsquelle gegenüberliegenden Rückseite des Halbleiterkörpers einen Reflektor für die Pumpstrahlung anzuordnen, so dass der Halbleiterkörper einen Resonator für die Pumpstrahlung ausbildet, in dem eine stehende Welle der Pumpstrahlung entsteht. Durch eine geeignete Einstellung der Wellenlänge und des Einfallswinkels des Pumplasers sowie der Anordnung der Quantentopfschichten kann erreicht werden, dass die Quantentopfschichten in den Maxima der stehenden Welle des Pumpstrahlungsfeldes angeordnet sind, um eine hohe Pumpeffizienz der Quantentopfschichten zu erzielen.

Aus den Druckschriften WO 01/93386 A1 und WO 2005/048424 A1 sind jeweils optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaser bekannt, bei denen das optische Pumpen der Quantentopfstruktur des Vertikalemitters nicht durch eine externe Pumpstrahlungsquelle erfolgt, sondern durch einen monolithisch in den Halbleiterkörper integrierten Pumplaser. Bei diesen Ausführungsformen ist jeweils ein kantenemittierender Pumplaser gemeinsam mit dem Vertikalemitter auf einem gemeinsamen Aufwachssubstrat aufgewachsen, wobei die aktive Schicht des Vertikalemitters und des Pumplasers nebeneinander angeordnet sein können, sodass die Pumpstrahlung direkt in lateraler Richtung in die aktive Zone eingestrahlt wird, oder übereinander angeordnet sein können, wobei die Pumpstrahlung ähnlich wie bei der Kopplung zweier Wellenleiter in die aktive Zone des Vertikalemitters überkoppeln kann.

Auch bei optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlasern mit monolithisch integrierter

Pumpstrahlungsquelle wäre es wünschenswert, einen optimalen Überlapp zwischen dem Pumpstrahlungsfeld und den Quantentopfschichten des Vertikalemitters zu erzielen. Im Gegensatz zu den Ausführungsformen mit externer Pumpstrahlungsquelle kann bei oberflächenemittierenden Halbleiterlasern mit monolithisch integrierter Pumpstrahlungsquelle nicht durch einen rückseitigen Reflektor und eine Variation des Einfallswinkels der Pumpstrahlungsquelle ein Pumpresonator erzeugt werden, dessen Stehwellenfeld an die Anordnung der Quantentopfschichten in der Quantentopfstruktur des Vertikalemitters angepasst ist. Dies ist nicht möglich, weil die Emission der Pumpstrahlung unter einem festen Winkel von 90° zur Emissionsrichtung des Vertikalemitters erfolgt und somit insbesondere der Parameter des Einfallswinkels der Pumpstrahlung in den Halbleiterkörper nicht variiert werden kann. Somit ist die von oberflächenemittierenden Halbleiterlasern mit externen Pumpstrahlungsquellen bekannte Optimierung des Überlapps zwischen dem Pumpstrahlungsfeld und den Quantentopfschichten mittels eines vertikalen Pumpresonators nicht ohne Weiteres auf oberflächenemittierende Halbleiterlaser mit monolithisch integrierter Pumpstrahlungsquelle zu übertragen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser mit monolithisch integrierter Pumpstrahlungsquelle anzugeben, bei dem ein verbesserter Überlapp zwischen dem Pumpstrahlungsfeld und den Quantentopfschichten des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers erzielt wird.

Diese Aufgabe wird durch einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1

gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Ein erfindungsgemäßer oberflächenemittierender Halbleiterlaser enthält einen Halbleiterkörper, der eine aktive Zone mit einer Quantentopfstruktur aufweist, wobei die Quantentopfstruktur mehrere Quantentopfschichten enthält, die jeweils zwischen Barriereschichten angeordnet sind, und einen monolithisch in dem Halbleiterkörper integrierten Pumplaser, der Strahlung zum optischen Pumpen der aktiven Zone emittiert, wobei die Pumpstrahlung ein Modenprofil in dem Halbleiterkörper ausbildet und die Quantentopfschichten derart voneinander beabstandet sind, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung angeordnet sind.

Unter der Anordnung einer Quantentopfschicht im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung ist im Rahmen der Anmeldung zu verstehen, dass die Pumpstrahlung am Ort der Quantentopfschicht mindestens 70% der Intensität des Maximums, vorzugsweise mindestens 90% der Intensität des Maximums aufweist.

Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zunutze, dass sich bei einer Emission der Pumpstrahlung senkrecht zur Emissionsrichtung der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers durch eine monolithisch in den Halbleiterkörper integrierte Pumpstrahlungsquelle ein Modenprofil der Pumpstrahlung ausbildet, das Maxima im Bereich der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers aufweist. Unter dem Modenprofil der Pumpstrahlung wird dabei der Intensitätsverlauf der in dem Halbleiterkörper

ausbreitungsfähigen Pumpwellen verstanden.

Die Lage der Maxima des Modenprofils kann durch ein geeignetes Design des Schichtaufbaus des Halbleiterkörpers beeinflusst und insbesondere so gewählt werden, dass die Lage der Maxima mit den Positionen der Quantentöpfe der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers übereinstimmt. Dadurch wird eine hohe Pumpeffizienz und somit eine hohe Effizienz des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers erzielt.

Der Abstand der Maxima des sich in dem Halbleiterkörper ausbildenden Modenprofils der Pumpstrahlung hängt insbesondere von der Wellenlänge der Pumpstrahlung sowie von den Schichtdicken und Brechungsindizes der in dem Halbleiterkörper enthaltenen Halbleiterschichten ab. Eine Anordnung, bei der die Quantentöpfe jeweils in einem Maximum des Modenprofils der Pumpstrahlung angeordnet sind, kann durch eine Simulationsrechnung unter Variation dieser Parameter herausgefunden werden.

Die Quantentöpfe werden jeweils aus einer Quantentopfschicht, die zwischen Barriereschichten angeordnet sind, gebildet, wobei die Barriereschichten eine größere elektronische Bandlücke aufweisen als die Quantentopfschichten. Bevorzugt sind die Quantentöpfe durch Abstandsschichten voneinander beabstandet. Die Dicke der Abstandsschichten ist dabei in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Pumpstrahlung und den Schichtdicken und Brechungsindizes der Halbleiterschichten in dem Halbleiterkörper derart optimiert, dass die Quantentöpfe jeweils im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung angeordnet sind. Der Abstand benachbarter Quantentöpfe ist also vorzugsweise gleich dem Abstand zweier

Maxima des Modenprofils der Pumpstrahlung oder einem Vielfachen davon.

Vorteilhaft bildet die von der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers emittierte Laserstrahlung eine stehende Welle in dem Halbleiterkörper aus, wobei die Quantentöpfe derart angeordnet sind, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums der stehenden Welle der Laserstrahlung angeordnet sind. Dies ist im Zweifel so zu verstehen, dass die Laserstrahlung des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers am Ort der jeweiligen Quantentopfschicht mindestens 70% der Intensität des Maximums, vorzugsweise mindestens 90% der Intensität des Maximums aufweist. Der Abstand benachbarter Quantentöpfe ist also vorzugsweise gleich dem Abstand zweier Maxima der stehenden Welle der Laserstrahlung oder einem Vielfachen davon. Dadurch, dass die Quantentöpfe jeweils in einem Maximum der stehenden Welle der Laserstrahlung angeordnet sind, wird die Laserstrahlung durch die Strahlungsemission der Quantentöpfe resonant verstärkt. Die aktive Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers stellt somit eine RPG-Struktur (resonant periodic gain) dar.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die Quantentöpfe in mehreren Gruppen angeordnet, wobei die Abstände der Quantentöpfe innerhalb der Gruppen geringer sind als die Abstände benachbarter Gruppen. Diese Ausführung beruht darauf, dass die Quantentöpfe in der Regel eine im Vergleich zur Periode des Modenprofils der Pumpstrahlung geringe Dicke aufweisen, sodass es möglich ist, mehrere Quantentöpfe im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung anzuordnen.

Damit jede der Gruppen von Quantentöpfen im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung angeordnet ist, ist der Abstand benachbarter Gruppen vorzugsweise gleich dem Abstand zweier Maxima des Modenprofils der Pumpstrahlung oder einem Vielfachen davon.

Vorteilhaft bildet die von der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers emittierte Laserstrahlung eine stehende Welle in dem Halbleiterkörper aus, wobei die Gruppen von Quantentöpfen derart angeordnet sind, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums der stehenden Welle der Laserstrahlung des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers angeordnet sind. Dadurch, dass die Gruppen von Quantentöpfen jeweils in einem Maximum der stehenden Welle der Laserstrahlung angeordnet sind, wird die Laserstrahlung durch die Strahlungsemission der Quantentöpfe resonant verstärkt. Die aktive Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers stellt somit eine RPG-Struktur (resonant periodic gain) dar.

Der Abstand benachbarter Gruppen von Quantentöpfen ist vorzugsweise gleich dem Abstand zweier Maxima der stehenden Welle der Laserstrahlung oder einem Vielfachen davon. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass die Gruppen von Quantentöpfen nicht nur in den Maxima der Pumpstrahlung angeordnet sind, sondern auch in den Maxima der stehenden Welle der Laserstrahlung.

Die Anzahl der Quantentöpfe in den Gruppen von Quantentöpfen beträgt bevorzugt zwischen einschließlich 2 und einschließlich 4.

Insgesamt beträgt die Anzahl der Quantentöpfe in der Quantentopfstruktur der aktiven Zone vorzugsweise zwischen einschließlich 5 und einschließlich 25.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 6 näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Figur 2 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch die aktive Zone eines weiteren Ausführungsbeispiels eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers gemäß der Erfindung,

Figur 3 eine schematische Darstellung des Brechungsindexprofils und der Grundmode der Pumpstrahlung bei einem Halbleiterkörper, der keine aktive Zone eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers enthält,

Figur 4 eine schematische Darstellung des Brechungsindexprofils und des Modenprofils der Pumpstrahlung bei einem Halbleiterkörper eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers gemäß der Erfindung,

Figur 5 schematische Darstellungen der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers, der Intensität des Modenprofils der Pumpstrahlung in der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers und der Absorption der Quantentröge bei einem Ausführungsbeispiel eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers gemäß der Erfindung, und

Figur 6 schematische Darstellungen der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers, der Intensität des Modenprofils der Pumpstrahlung in der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers und der Absorption der Quantentröge bei einem herkömmlichen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser.

Gleiche oder gleich wirkende Bestandteile sind in den Figuren jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Bestandteile sowie die Größenverhältnisse der Bestandteile untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen.

Das in Figur 1 dargestellte Ausführungsbeispiel eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers enthält einen Halbleiterkörper 10, der eine aktive Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers und einen Pumplaser 6 zum optischen Pumpen der aktiven Zone 1 aufweist. Der Pumplaser 6 ist monolithisch in den Halbleiterkörper 10 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers integriert und insbesondere Bestandteil der Epitaxieschichtenfolge, welche die aktive Zone 1 und den Pumplaser 6 umfasst.

Der Halbleiterkörper 10 weist ein Substrat 11 auf, bei dem es sich vorzugsweise um ein elektrisch leitendes Substrat, insbesondere um ein n-dotiertes Substrat handelt. Beispielsweise ist das Substrat 11 ein n-dotiertes GaAs-Substrat.

Auf das Substrat 11 können eine oder mehrere Pufferschichten 12 aufgebracht sein, um insbesondere eine geringe Defektdichte und/oder eine gute Gitteranpassung an die nachfolgend aufgewachsenen Epitaxieschichten zu erhalten.

Dem Substrat 11 mit der darauf aufgetragenen Pufferschicht 12 folgt ein DBR-Spiegel 13 nach, der einen ersten Resonatorspiegel für die von der aktiven Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers emittierte Laserstrahlung 15 ausbildet. Der DBR-Spiegel 13 wird von einer Vielzahl von alternierenden Schichten gebildet, die sich in ihrem Brechungsindex voneinander unterscheiden. Die Anzahl der alternierenden Schichtpaare kann beispielsweise etwa 30 betragen. Auf diese Weise wird eine hohe Reflektion für die Laserstrahlung 15 erzielt. Die alternierenden Schichten des DBR-Spiegels 13 sind vorzugsweise n-dotiert. Zum Beispiel kann der DBR-Spiegel 13 alternierende Schichten aus n-dotierten AlGaAs-Schichten und n-dotierten GaAs-Schichten umfassen.

Der zweite Resonatorspiegel des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers ist ein außerhalb des Halbleiterkörpers 10 angeordneter externer Resonatorspiegel 14. Bei dem Ausführungsbeispiel handelt es sich also um einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser mit externem Resonator (VECSEL).

Alternativ kann der oberflächenemittierende Halbleiterlaser anstelle des externen Resonatorspiegels 14 auch eine auf die dem Substrat 11 gegenüber liegende Oberfläche des Halbleiterkörpers 10 aufgebrachten zweiten DBR-Spiegel aufweisen (nicht dargestellt). Eine derartige Ausführungsform eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers wird als VCSEL bezeichnet.

Dem DBR-Spiegel 13 folgt in Wachstumsrichtung des Halbleiterkörpers 10 der Pumplaser 6 nach. Der Pumplaser 6 weist eine aktive Schicht 7 auf, die in lateraler Richtung, also senkrecht zur Emissionsrichtung der Laserstrahlung 15 der aktiven Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers emittiert. Die aktive Schicht 7 des Pumplasers 6 ist zwischen Wellenleiterschichten 8 angeordnet, die jeweils an Mantelschichten 9 angrenzen. Auf diese Weise ist ein Wellenleiter für die Pumpstrahlung ausgebildet. Zumindest ein Teil der von dem Pumplaser 6 emittierten Pumpstrahlung, die sich in dem Wellenleiter des Pumplasers 6 ausbreitet, kann zum optischen Pumpen des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers in die aktive Zone 1 überkoppeln. Der Übertritt der Strahlung aus dem Pumplaser 6 in die aktive Zone 1 erfolgt dabei ähnlich wie bei der Kopplung zweier Wellenleiter. Dabei kommt es durch konstruktive und destruktive Interferenz der in dem Halbleiterkörper ausbreitungsfähigen Moden der Pumpstrahlung zu einem periodischen Energietransfer zwischen dem Pumplaser 6 und der aktiven Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers. Zwischen dem Pumplaser 6 und der aktiven Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers ist vorzugsweise eine Kopplungsschicht 16 angeordnet, deren Dicke und Brechungsindex derart eingestellt ist, dass die sich in dem Wellenleiter des Pumplasers 6 in lateraler Richtung

ausbreitende Pumpstrahlung in die aktive Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers übertreten kann.

Der Pumplaser 6 wird elektrisch zur Emission von Pumpstrahlung angeregt. Ein erster elektrischer Kontakt 17 für den Pumplaser 6 kann beispielsweise auf der von der aktiven Zone 1 abgewandten Rückseite des Substrats 11 angeordnet sein. Um einen p-Kontakt 18 für den Pumplaser 6 anzuordnen, ist der Halbleiterkörper 10 vorzugsweise von der dem Substrat 11 gegenüber liegenden Oberfläche bis in einem Bereich unterhalb der aktiven Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers heruntergeätzt. Der p-Kontakt 18 des Pumplasers 6 kann beispielsweise auf die Kopplungsschicht 16 aufgebracht sein. Vorzugsweise handelt es sich bei der p-Kontaktschicht 18 um eine Schicht aus einem transparenten leitfähigen Oxid, beispielsweise um eine ZnO-Schicht.

Die aktive Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers ist in dem Halbleiterkörper 10 oberhalb der Kopplungsschicht 16 angeordnet. Insbesondere zum Schutz vor Oxidation kann die aktive Zone 1 mit einer Deckschicht 19 versehen sein.

Die aktive Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers weist eine Quantentopfstruktur auf, die mehrere Quantentöpfe 2 enthält. Zur Vereinfachung der Darstellung sind in Figur 1 nur vier Quantentöpfe 2 dargestellt. Eine bevorzugte Anzahl der Quantentöpfe beträgt zwischen einschließlich 5 und einschließlich 25. Die Quantentöpfe 2 werden jeweils durch eine Quantentopfschicht 3 gebildet, die zwischen Barriereschichten 4 angeordnet ist,

wobei die Barriereschichten 4 eine größere elektronische Bandlücke aufweisen als die Quantentopfschichten 3.

Die Quantentöpfe 2 sind jeweils im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung angeordnet. Die Positionen der Maxima des Modenprofils der Pumpstrahlung in dem Halbleiterkörper 10 hängen insbesondere von der Wellenlänge der Pumpstrahlung, sowie von den Brechungsindizes und Schichtdicken der oberhalb des Pumplasers 6 angeordneten Halbleiterschichten ab. Eine optimale Positionierung der Quantentöpfe 2 derart, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung angeordnet sind, kann anhand von Simulationsrechnungen herausgefunden werden. Die Quantentöpfe 2 sind vorteilhaft durch Abstandsschichten 5 voneinander beabstandet, wobei die Dicke der Abstandsschichten 5 so gewählt wird, dass die Positionen der Quantentöpfe 2 mit den Maxima des Modenprofils der Pumpstrahlung zusammenfallen.

Die von dem oberflächenemittierenden Halbleiterlaser emittierte Laserstrahlung 15 bildet in dem Halbleiterkörper 10 vorteilhaft eine stehende Welle aus. Die Quantentöpfe 2 sind bevorzugt derart angeordnet, dass sie in den Maxima der stehenden Welle der Laserstrahlung 15 angeordnet sind. Die aktive Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers bildet auf diese Weise eine RPG(resonant periodic gain)-Struktur aus. Weiterhin sind die Quantentöpfe 2 vorteilhaft derart angeordnet, dass sie zusätzlich in den Maxima des Modenprofils der Pumpstrahlung liegen. Durch diese Anordnung der Quantentöpfe 2 ergibt sich ein effektives Pumpen aller Quantentöpfe 2.

Eine bevorzugte Ausführungsform der aktiven Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers ist in Figur 2 dargestellt. Die aktive Zone 1 enthält eine Quantentopfstruktur, bei der die Quantentröge 2 in mehreren Gruppen 20 angeordnet sind. Jede der Gruppen 20 enthält zwei Quantentröge 2. Die Abstände der Quantentröge 2 innerhalb der Gruppen 20 sind kleiner als die Abstände der Gruppen 20 von Quantentrögen 2. Die Abstände der Quantentröge 2 innerhalb der Gruppen 20 und die Abstände der Gruppen 20 von Quantentrögen sind vorzugsweise durch Abstandsschichten 5 eingestellt. Die Gruppen 20 von Quantentrögen 2 sind vorteilhaft derart angeordnet, dass jede Gruppe 20 im Bereich eines Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung positioniert ist. Dabei wird ausgenutzt, dass die Quantentröge 2 im Vergleich zur Periode des Modenprofils der Pumpstrahlung eine vergleichsweise geringe Dicke aufweisen, so dass es möglich ist, mehrere Quantentröge 2 im Bereich des Maximums des Modenprofils der Pumpstrahlung anzuordnen. Vorteilhaft sind die Gruppen 20 von Quantentrögen 2 derart angeordnet, dass jede Gruppe 20 sowohl in einem Maximum des Modenprofils der Pumpstrahlung als auch in einem Maximum der stehenden Welle der Laserstrahlung angeordnet ist. Der Abstand der Gruppen 20 ist daher vorteilhaft gleich dem Abstand zweier Maxima des Modenprofils der Pumpstrahlung oder einem Vielfachen davon. Weiterhin ist der Abstand der Gruppen 20 vorzugsweise gleich dem Abstand zweier Maxima der stehenden Welle der Laserstrahlung des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers oder einem Vielfachen davon.

In Figur 3 ist schematisch der Verlauf des Brechungsindex n (Kurve 23) und der Intensitätsverlauf I_p der Pumpstrahlung (Kurve 24) entlang einer vertikal verlaufenden Ortskoordinate

z für einen Halbleiterkörper dargestellt, bei dem keine aktive Zone eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers auf dem Pumplaser 6 angeordnet ist. Dabei wurde angenommen, dass der Halbleiterkörper einen DBR-Spiegel 16 und den Pumplaser 6 umfasst, wobei anstelle einer aktiven Zone eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers nur eine transparente Kontaktschicht 18 mit niedrigem Brechungsindex auf den Pumplaser aufgebracht ist. In diesem Fall würde sich die Pumpstrahlung in ihrer Grundmode im Bereich des Pumplasers 6 ausbreiten.

Figur 4 stellt den Verlauf des Brechungsindex n (Kurve 25) und die ausbreitungsfähigen Moden der Pumpstrahlung (Kurven 26, 27) entlang einer vertikal verlaufenden Ortskoordinate z für einen Halbleiterkörper bei einem Ausführungsbeispiel eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers gemäß der Erfindung dar, bei dem eine aktive Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers auf dem Pumplaser 6 angeordnet ist. Die Energie der in Figur 3 dargestellten Grundmode des Pumplasers 2 wird in die ausbreitungsfähigen Moden 26, 27 durch Modenkopplung transferiert. Da die beiden Moden 26, 27 leicht unterschiedliche Ausbreitungskonstanten aufweisen, führt dies bei der Ausbreitung der Moden im Halbleiterkörper zu einer periodischen konstruktiven bzw. destruktiven Interferenz der beiden Moden 26, 27. Die periodische konstruktive und destruktive Interferenz der Moden bewirkt einen periodischen Energietransfer zwischen dem Pumplaser und der aktiven Zone des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers. Der Abstand der Maxima des Modenprofils 26, 27 kann durch ein geeignetes Design des Schichtaufbaus beeinflusst werden.

In Figur 5 ist auf der linken Seite schematisch eine aktive Zone 1 bei einem Ausführungsbeispiel des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers dargestellt, bei der die Quantentopfstruktur fünf Gruppen 20 von Quantentrögen 2 enthält. Jede Gruppe 20 enthält zwei Quantentröge 2. Im mittleren Teil der Figur 5 ist schematisch die Intensität I_p des Modenprofils der Pumpstrahlung in der aktiven Zone 1 des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers dargestellt. Die Gruppe von Quantentrögen 20 in der aktiven Zone 1 sind derart angeordnet, dass jede Gruppe 20 im Bereich eines Maximums 22 des Modenprofils 21 der Pumpstrahlung angeordnet ist. Die auf der rechten Seite der Figur 5 dargestellte simulierte Absorption A_p der Quantentröge 2 verdeutlicht, dass in allen Quantentrögen 2 eine gleichmäßig hohe Absorption der Pumpstrahlung erfolgt. Auf diese Weise wird der oberflächenemittierende Halbleiterlaser besonders effizient gepumpt.

In Figur 6 ist Vergleich dazu eine aktive Zone 1 eines herkömmlichen oberflächenemittierenden Halbleiterlasers dargestellt. Die aktive Zone 1 umfasst vierzehn Quantentröge 2, deren Anordnung nicht an das im mittleren Teil der Figur 6 dargestellte Intensitätsprofil I_p des Modenprofils 21 der Pumpstrahlung angepasst ist. Insbesondere sind nicht alle Quantentröge 2 im Bereich eines Maximums 22 des Modenprofils 21 angeordnet.

Die auf der rechten Seite der Figur 6 dargestellte Simulation der Absorption A_p der Pumpstrahlung in den Quantentrögen 2 verdeutlicht, dass die Quantentröge 2 nachteilig eine ungleichmäßige Absorption der Pumpstrahlung aufweisen. Die Effizienz des optischen Pumpens des oberflächenemittierenden Halbleiterlasers ist dadurch im Vergleich zu dem in Figur 5

dargestellten Ausführungsbeispiel eines oberflächenemittierenden Halbleiterlasers gemäß der Erfindung vermindert.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser mit
 - einem Halbleiterkörper (10), der eine aktive Zone (1) mit einer Quantentopfstruktur aufweist, wobei die Quantentopfstruktur mehrere Quantentöpfe (2) enthält, die jeweils aus einer zwischen Barriereschichten (4) angeordneten Quantentopfschicht (3) gebildet sind, und
 - einem monolithisch in den Halbleiterkörper (10) integrierten Pumplaser (6), der Pumpstrahlung zum optischen Pumpen der aktiven Zone (1) emittiert, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpstrahlung ein Modenprofil (21) in dem Halbleiterkörper (10) ausbildet und die Quantentöpfe (2) derart voneinander beabstandet sind, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums (22) des Modenprofils der Pumpstrahlung angeordnet sind.
2. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Quantentöpfe (2) durch Abstandschichten (5) voneinander beabstandet sind.
3. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die von der aktiven Zone (1) emittierte Laserstrahlung (15) eine stehende Welle in dem Halbleiterkörper (10) ausbildet, wobei die Quantentöpfe (2) derart angeordnet sind, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums der

stehenden Welle der Laserstrahlung (15) angeordnet sind.

4. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Quantentöpfe (2) in mehreren Gruppen (20) angeordnet sind, wobei die Abstände der Quantentöpfe (2) innerhalb der Gruppen (20) geringer sind als die Abstände benachbarter Gruppen (20).
5. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Abstand benachbarter Gruppen (20) gleich dem Abstand zweier Maxima (22) des Modenprofils (21) der Pumpstrahlung oder einem Vielfachen davon ist.
6. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach Anspruch 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die von der aktiven Zone (1) emittierte Laserstrahlung (15) eine stehende Welle in dem Halbleiterkörper (10) ausbildet, wobei die Gruppen (20) von Quantentöpfen (2) derart angeordnet sind, dass sie jeweils im Bereich eines Maximums der stehenden Welle der Laserstrahlung (15) angeordnet sind.
7. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Abstand benachbarter Gruppen (20) gleich dem Abstand zweier Maxima der stehenden Welle der Laserstrahlung

(15) ist.

8. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Abstand benachbarter Gruppen (20) gleich einem Vielfachen des Abstands zweier Maxima der stehenden Welle der Laserstrahlung (15) ist.
9. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach einem der Ansprüche 4 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Gruppen (20) jeweils zwei bis vier Quantentöpfe (2) umfassen.
10. Oberflächenemittierender Halbleiterlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die aktive Zone (1) zwischen einschließlich 5 und einschließlich 25 Quantentöpfe (2) enthält.

1/5

FIG 1

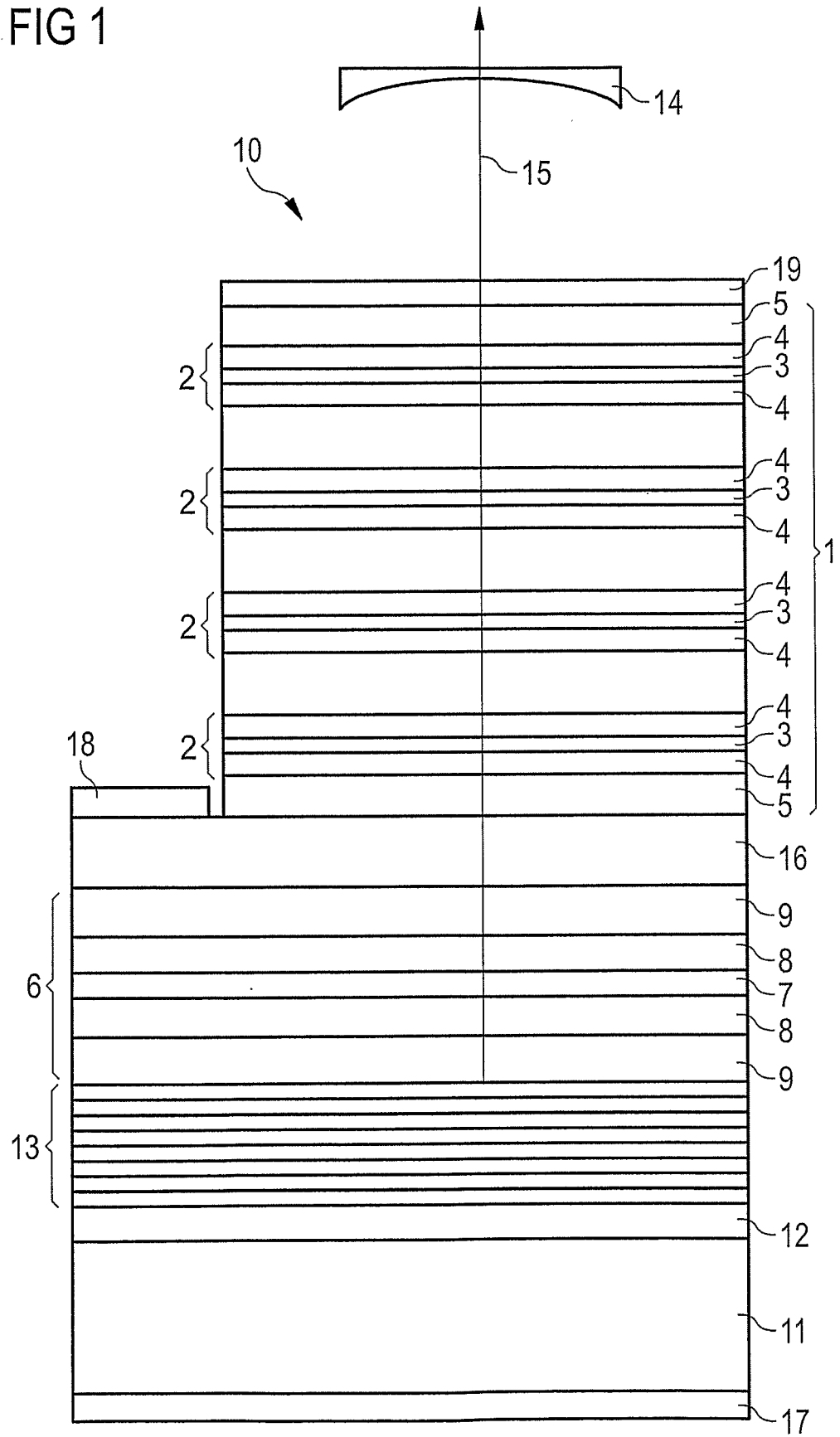


FIG 2

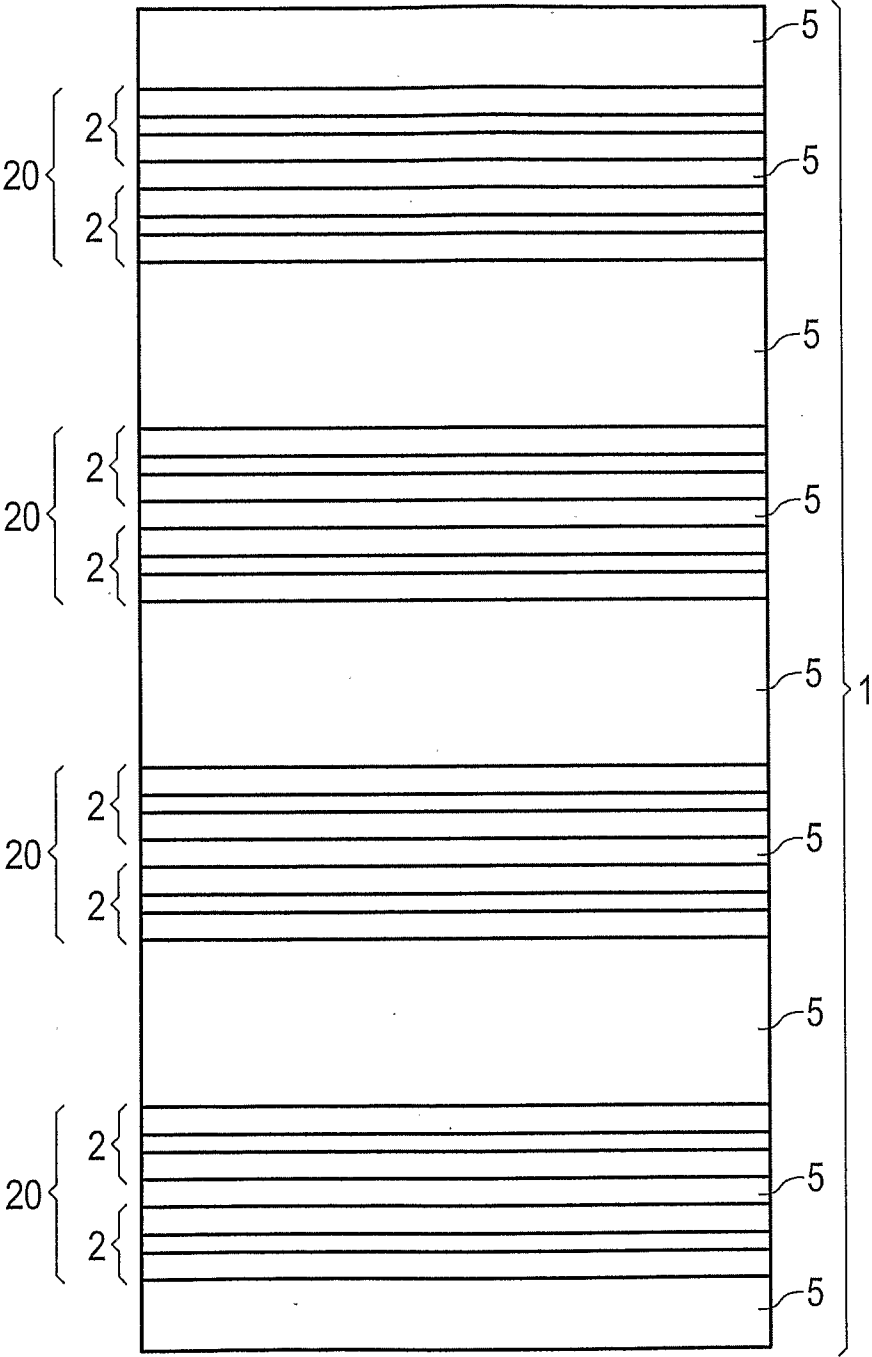


FIG 3

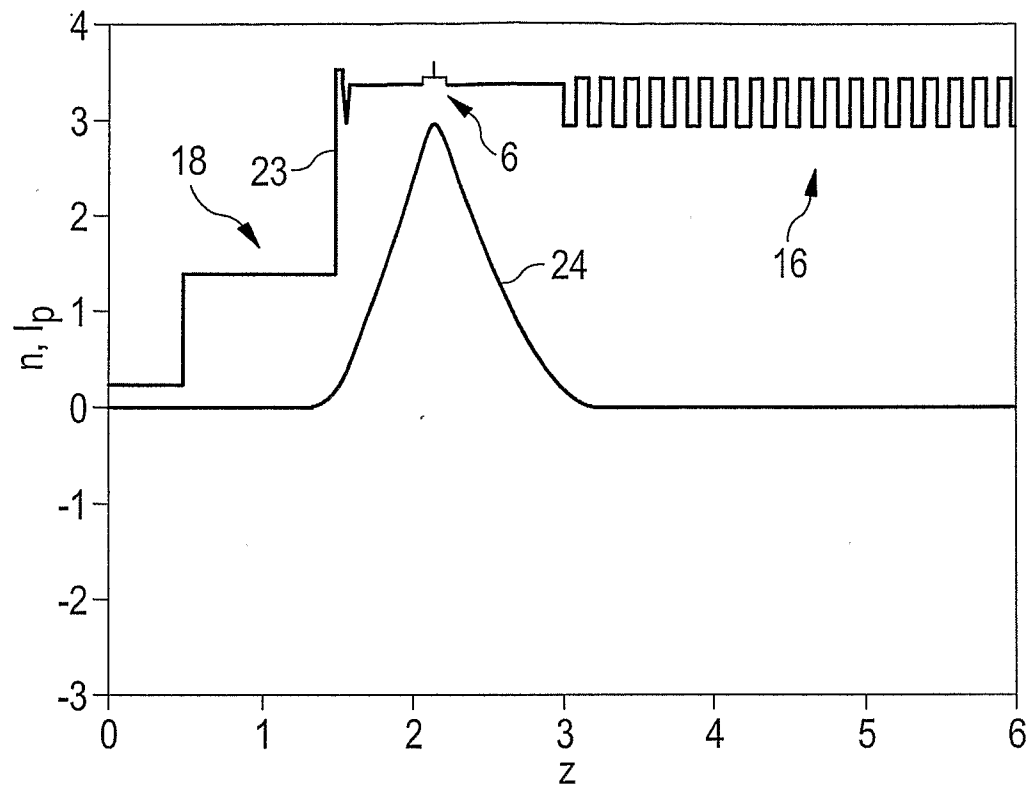


FIG 4

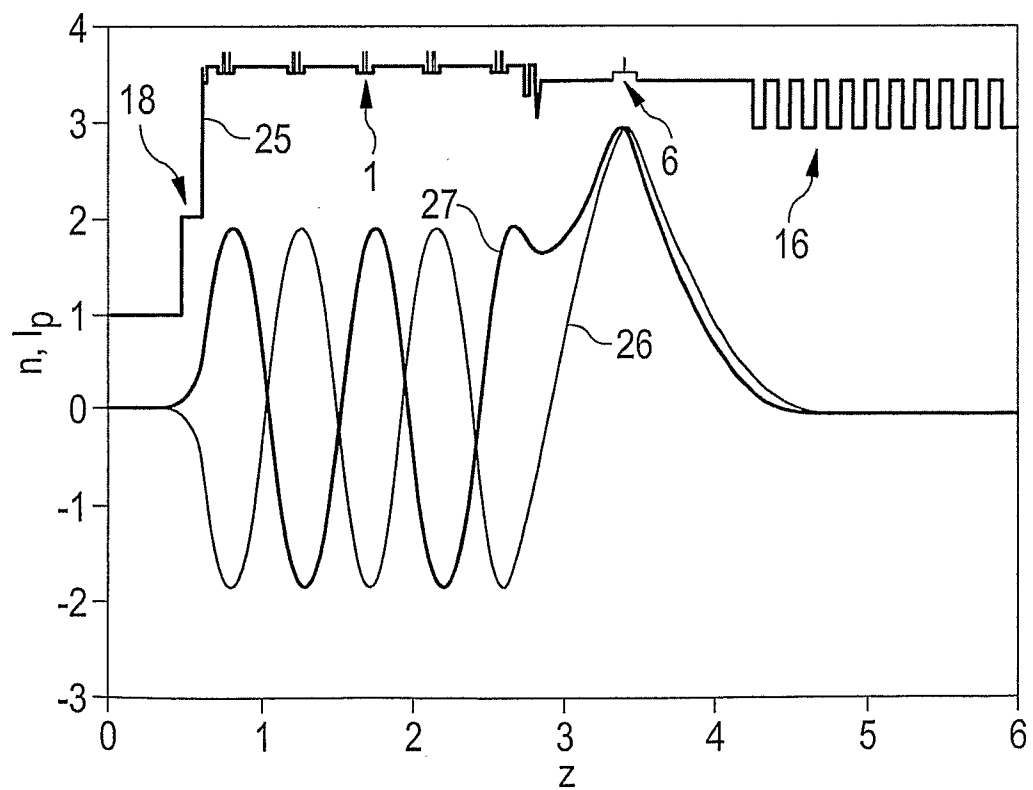


FIG 5

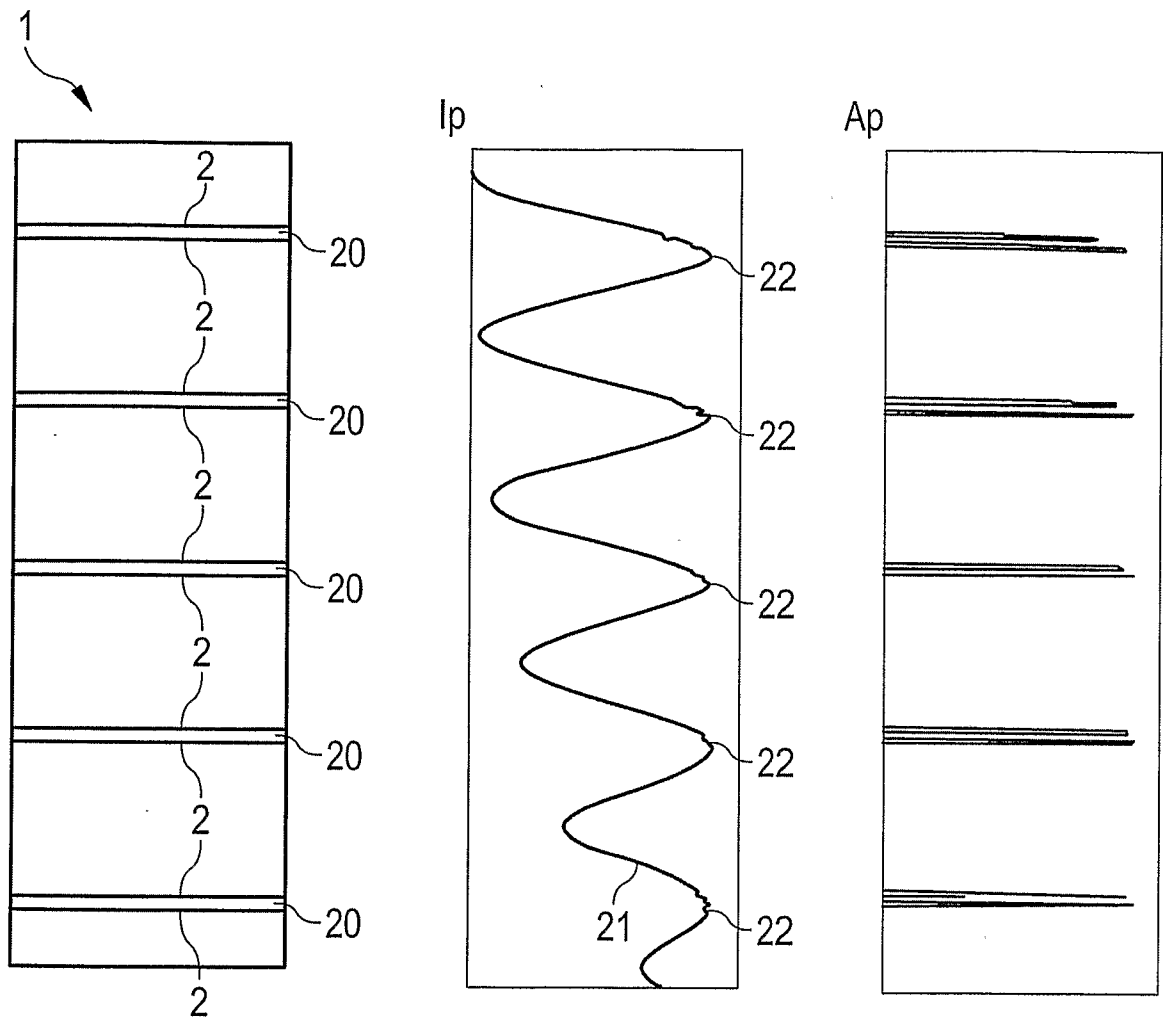


FIG 6

