



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 114 411.6**
(22) Anmeldetag: **03.06.2021**
(43) Offenlegungstag: **08.12.2022**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **12.12.2024**

(51) Int Cl.: **H01S 5/024** (2006.01)
H01S 5/10 (2021.01)
H01S 5/22 (2006.01)
H01S 5/40 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Ferdinand-Braun-Institut gGmbH, Leibniz- Institut
für Höchstfrequenztechnik, 12489 Berlin, DE**

(74) Vertreter:
**Gulde & Partner Patent- und
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

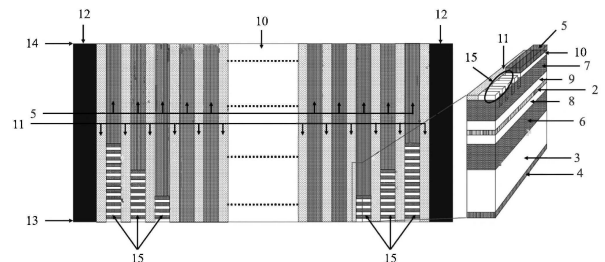
(72) Erfinder:
**Karow, Matthias M., 10439 Berlin, DE; Crump,
Paul, 10245 Berlin, DE; Miah, Mohammad Jarez,
10369 Berlin, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2006 044 782	A1
US	5 042 046	A
CN	1 06 058 643	A
JP	2008- 4 743	A

(54) Bezeichnung: **Laserbarren mit verringerter lateraler Fernfelddivergenz**

(57) Hauptanspruch: Laserbarren (1), umfassend ein Schichtsystem aus einem Halbleitermaterial mit einer aktiven Schicht (2), wobei das Schichtsystem einen n-Kontakt (4) und p-Kontakt (5) zur Injektion von Ladungsträgern in die aktive Schicht (2) aufweist, wobei durch eine Strukturierung des Schichtsystems eine Vielzahl von äquidistant parallel nebeneinander mit einheitlicher Breite angeordneten Emitterstrukturen ausgebildet ist, wobei sich die Emitterstrukturen in longitudinaler Richtung zwischen einer Frontfacette (13) und einer Rückfacette (14) und in lateraler Richtung von einer ersten Seite zu einer zweiten Seite erstrecken und zur Strukturierung die Emitterstrukturen jeweils durch eine sich in longitudinaler Richtung erstreckende Trennstruktur (11) voneinander getrennt sind; dadurch gekennzeichnet, dass zur Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der jeweils der ersten Seite und der zweiten Seite zugewandten äußeren Emitterstrukturen gegenüber den von den äußeren Emitterstrukturen eingeschlossenen inneren Emitterstrukturen erfolgt ist, wobei ein weitgehend homogenes Temperaturprofil hinsichtlich der Maximaltemperatur der einzelnen Emitterstrukturen beim Betrieb des Laserbarrens eingestellt wird, wobei eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der äußeren Emitterstrukturen graduell über mehrere nebeneinanderliegende äußere Emitterstrukturen hinweg erfolgt ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Laserbarren mit verringerter lateraler Fernfelddivergenz und insbesondere einen Laserbarren mit einem einheitlichen Temperaturprofil in lateraler Richtung zur Reduzierung der lateralen Fernfelddivergenz.

Stand der Technik

[0002] Laserbarren bestehen typischerweise aus mehreren Breitstreifenlasern (engl. broad-area diode lasers, BALs), die in lateraler Richtung parallel nebeneinander liegend auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind. Damit können insgesamt Ausgangsleistungen von 1500 W und mehr erreicht werden. Die Anzahl der in einem Laserbarren angeordneten Breitstreifenlaser kann dabei variieren, typische Werte hierfür liegen zwischen 5 und 200. Die laterale Streifenbreite der Breitstreifenlaser liegt typischerweise zwischen 5 μm und 100 μm , kann aber auch deutlich größer sein, wie etwa 1200 μm .

[0003] Üblicherweise werden die einzelnen Laserelemente als separate Emitterstrukturen in einer gemeinsamen Schichtstruktur ausgebildet, wobei für eine Separation der Emitterstrukturen zumeist eine Strukturierung der Ladungsträgerzuführung erfolgt, insbesondere über eine Strukturierung der einem n-Substrat gegenüberliegenden p-Kontaktschicht und der zugehörigen p-Kontakte. Über die p- und n-Kontakte erfolgt eine Injektion von Ladungsträgern in die zwischen den beiden Kontakten innerhalb der Schichtstruktur ausgebildete aktiven Zone. Da die injizierten Ladungsträger sich überwiegend auf direktem Weg ohne laterale Stromaufweitung in Richtung der aktiven Zone bewegen, kann durch entsprechende Trennstrukturen in der Ladungsträgerzuführung auch die Strahlungserzeugung innerhalb der aktiven Zone in lateraler Richtung entsprechend strukturiert werden. Als lokale Trennstrukturen zur Separierung der einzelnen Emitterstrukturen erfolgt dabei üblicherweise in der p-Kontaktschicht eine Implantation von Störstellen oder Fremdatomen, die Ausbildung von Gräben (engl. trenches) oder das lokale Einbringen von dielektrischen Abschnitten (z. B. erzeugt durch ein Auffüllen von Gräben mit einem dielektrischen Material).

[0004] Bei einem herkömmlichen Laserbarren wird durch eine Strukturierung insbesondere der p-Kontaktschicht somit eine Vielzahl identischer Emitterstrukturen erzeugt. Die von diesen Emitterstrukturen emittierte Strahlung sollte somit weitgehend identische Eigenschaften aufweisen. Obwohl die einzelnen Emitterstrukturen identisch aufgebaut sind, stellt sich in Laserbarren mit hohem Füllfaktor und kleinen Abständen zwischen den einzelnen Emitterstrukturen bei den äußeren Emitterstrukturen jedoch eine andere Temperaturverteilung als bei den inneren Emitterstrukturen des Laserbarrens ein. Die inneren Emitterstrukturen zeigen ein weitgehend ähnliches Temperaturprofil mit einer einheitlichen Maximaltemperatur und einer geringen Temperaturmodulation im Bereich zwischen den Emitterstrukturen aufgrund der starken thermischen Kopplung untereinander. Das Temperaturprofil bei den äußeren Emitterstrukturen ist hingegen stark asymmetrisch und die Maximaltemperaturen fallen aufgrund des fehlenden thermischen Beitrags von weiter außen gelegenen Emitterstrukturen einseitig ab.

[0005] Es wurde von den Erfindern festgestellt, dass ein solches asymmetrisches Temperaturprofil dazu führt, dass die laterale Fernfelddivergenz der äußeren Emitterstrukturen breiter ist als die der inneren Emitterstrukturen, was wesentlich zur Verbreiterung der gesamten Barren-Fernfelddivergenz beiträgt. Dabei können bis zu 2/3 der Emitterstrukturen in einem Laserbarren von solchen asymmetrischen Temperaturprofilen und der daraus resultierenden Fernfeldverbreiterung betroffen sein.

[0006] Die Druckschrift US 5 042 046 A betrifft eine Halbleiterlaservorrichtung mit einer Vielzahl von Oszillatorstreifen, so dass eine phasenstarre Oszillation in benachbarten Oszillatorstreifen erzeugt werden kann, wobei Dummy-Bereiche zum Übertragen eines Stroms, der nicht zur Laseroszillation beiträgt, auf beiden Seiten eines Bereichs, der die Oszillatorstreifen enthält, angeordnet sind.

[0007] Aus der Druckschrift JP 2008 004 743 A ist die Bereitstellung eines Halbleiter-Laserarrays, bei dem das Speckle-Rauschen durch eine einfache Struktur reduziert werden soll, bekannt.

[0008] In der Druckschrift CN 106 058 643 A wird ein Halbleiterlaserbarren vorgeschlagen, der das Problem der ungleichmäßigen Temperaturverteilung im aktiven Bereich jeder lichtemittierenden Einheit im Barren einfach und effektiv lösen und dadurch die Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Barrens verbessern soll.

[0009] Die Druckschrift DE 10 2006 044 782 A1 offenbart eine Laserdiodenvorrichtung umfassend eine Mehrzahl von lateral nebeneinander angeordneten, zur Strahlungserzeugung geeigneten aktiven Bereichen,

wobei eine Querabmessung der aktiven Bereiche in lateraler Richtung variiert und/oder der Abstand benachbarter aktiver Bereiche in lateraler Richtung variiert.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Laserbarren zur Verfügung zu stellen, bei dem durch eine Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung eine Verringerung der lateralen Fernfelddivergenz erreicht werden kann. Insbesondere soll durch eine solche Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung eine Anpassung der Temperatur der äußeren Emittierstrukturen an eine Temperatur der von den äußeren Emittierstrukturen eingeschlossenen inneren Emittierstrukturen erfolgen. Durch neuartige Barrenkonstruktionen und -anordnungen können die lateralen Temperaturverteilungen innerhalb der äußeren Emittier so eingestellt werden, dass sie möglichst nahe an denen der inneren Emittier liegen. Auf diese Weise können die Ausbildung eines asymmetrischen Temperaturprofils und das Auftreten einer dadurch bedingten Verbreiterung der lateralen Fernfelddivergenz vermieden werden.

[0011] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen enthalten.

[0012] Ein erfindungsgemäßer Laserbarren umfasst ein Schichtsystem aus einem Halbleitermaterial mit einer aktiven Schicht, wobei das Schichtsystem einen n-Kontakt und p-Kontakt zur Injektion von Ladungsträgern in die aktive Schicht aufweist, wobei durch eine Strukturierung des Schichtsystems eine Vielzahl von äquidistant parallel nebeneinander mit einheitlicher Breite angeordneten Emittierstrukturen ausgebildet ist, wobei sich die Emittierstrukturen in longitudinaler Richtung zwischen einer Frontfacette und einer Rückfacette und in lateraler Richtung von einer ersten Seite zu einer zweiten Seite erstrecken und zur Strukturierung die Emittierstrukturen jeweils durch eine sich in longitudinaler Richtung erstreckende Trennstruktur voneinander getrennt sind. Für eine erfindungsgemäß vorgesehene Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung erfolgt eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der jeweils der ersten Seite und der zweiten Seite zugewandten äußeren Emittierstrukturen gegenüber den von den äußeren Emittierstrukturen eingeschlossenen inneren Emittierstrukturen. Durch die Anpassung in lateraler Richtung soll ein weitgehend homogenes Temperaturprofil hinsichtlich der Maximaltemperatur der einzelnen Emittierstrukturen beim Betrieb des Laserbarrens erreicht werden.

[0013] Das Schichtsystem eines erfindungsgemäßen Laserbarrens kann dabei beispielsweise einen n-Kontakt (z. B. als metallische Kontaktfläche ausgebildet); ein n-Substrat, wobei das n-Substrat auf dem n-Kontakt angeordnet ist; eine n-Mantelschicht, wobei die n-Mantelschicht auf dem n-Substrat angeordnet ist; eine n-Wellenleiterschicht, wobei die n-Wellenleiterschicht auf der n-Mantelschicht angeordnet ist; eine aktive Schicht, wobei die aktive Schicht auf der n-Wellenleiterschicht angeordnet ist; eine p-Wellenleiterschicht, wobei die p-Wellenleiterschicht auf der aktiven Schicht angeordnet ist; eine p-Mantelschicht, wobei die p-Mantelschicht auf der p-Wellenleiterschicht angeordnet ist; eine strukturierte p-Kontaktschicht, wobei die p-Kontaktschicht auf der p-Mantelschicht angeordnet ist und durch die Strukturierung eine Vielzahl von parallel nebeneinander angeordnete Emittierstrukturen ausgebildet, wobei zur Strukturierung in der p-Kontaktschicht die Bereiche zwischen den Emittierstrukturen jeweils durch eine Trennstruktur voneinander getrennt sind und sich die Emittierstrukturen in longitudinaler Richtung zwischen einer Frontfacette und einer Rückfacette und in lateraler Richtung von einer ersten Seite (z. B. links) zu einer zweiten Seite (z. B. rechts) erstrecken; und mehrere p-Kontakte (z. B. als metallische Kontaktelemente ausgebildet), wobei die p-Kontakte 5 auf den Strukturen p-Kontaktschicht 10 aufliegen und eine Injektion von Ladungsträgern in die jeweiligen Emittierstrukturen ermöglichen, umfassen.

[0014] Die Idee der Erfindung ist somit, einen Laserbarren mit verringerter lateraler Fernfelddivergenz zur Verfügung zu stellen, bei dem eine Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung dadurch erfolgt, dass eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung (lokalen Wärme) der jeweils der ersten Seite und der zweiten Seite zugewandten äußeren Emittierstrukturen gegenüber den von den äußeren Emittierstrukturen eingeschlossenen inneren Emittierstrukturen vorgenommen wird. Im Gegensatz zu konventionellen Laserbarren gemäß dem Stand der Technik werden die einzelnen Emittierelemente somit nicht identisch zueinander ausgebildet, sondern zur Verringerung der lateralen Fernfelddivergenz können durch geeignete Maßnahmen einige der Emittierelemente derart verändert werden, dass deren dissipierte thermische Leistung angepasst wird. Dadurch kann insbesondere eine Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung zur Anpassung der Temperatur der äußeren Emittierstrukturen an eine Temperatur der von den äußeren Emittierstrukturen eingeschlossenen inneren Emittierstrukturen erfolgen.

[0015] Es erfolgt eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der äußeren Emittierstrukturen graduell über mehrere nebeneinanderliegende äußere Emittierstrukturen hinweg. Es konnte nämlich durch die Erfinder gezeigt werden, dass bereits die Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der jeweils äußersten Emittierelemente eines Laserbarrens zu einer deutlichen Anpassung des Temperaturprofils in lateraler Richtung führen kann. Abhängig vom Laserbarrendesign kann eine verbesserte Anpassung jedoch dadurch erreicht werden, dass zusätzlich zu den jeweils äußersten Emittierstrukturen auch bei benachbarten Emittierstrukturen die dissipierte thermische Leistung entsprechend angepasst wird. Besonders bevorzugt nimmt die Stärke der Anpassung in Richtung zu den inneren Emittierstrukturen hin ab. Eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der äußeren Emittierstrukturen graduell über mehrere nebeneinanderliegende äußere Emittierstrukturen hinweg kann konkret beispielsweise über jeweils drei oder vier oder mehr der äußeren Emittierelemente erfolgen.

[0016] Vorzugsweise werden zur Erhöhung der dissipierten thermischen Leistung die elektrischen und/oder optischen Eigenschaften der äußeren Emittierstrukturen gegenüber den inneren Emittierstrukturen angepasst. Die dissipierte thermische Leistung kann dabei insbesondere durch eine Steigerung der Verluste innerhalb der äußeren Emittierstrukturen erhöht werden. Hierzu können im Wesentlichen optische (d. h. die Strahlungsführung betreffend), im Wesentlichen elektrische (d. h. die Stromführung betreffend) oder gemischte (d. h. die Strahlungsführung und die Stromführung betreffend) Anpassungen vorgenommen werden.

[0017] Ein effektiver Weg zur Anpassung der elektrischen und/oder optischen Eigenschaften der Emittier und damit zur Erhöhung der dissipierten thermischen Leistung besteht darin, die äußeren Emittierstrukturen (d. h. den innerhalb der Emittierstrukturen gebildeten optischen Resonator) zu modifizieren. Insbesondere können zur Anpassung höhere optische Leistungen innerhalb der äußeren Emittierstrukturen eingeschlossen werden, der Wärmeabtransport aus den äußeren Emittierstrukturen verschlechtert werden, zusätzliche interne optische Verluste (z. B. Streuverluste) bei den äußeren Emittierstrukturen eingeführt werden, die Effektivität der aktiven Bereiche der äußeren Emittierstrukturen verschlechtert werden und/oder hochohmige Strukturen in die Emittierstrukturen eingeführt werden (insbesondere in die inneren Emittierstrukturen).

[0018] Vorzugsweise ist zur Erhöhung der internen Resonatorverluste bei den äußeren Emittierstrukturen die Facettenreflektivität den äußeren Emittierstrukturen gegenüber der Facettenreflektivität der inneren Emittierstrukturen erhöht. Es konnte gezeigt werden, dass eine effektive Möglichkeit die abgegebene thermische Leistung der Emittierelemente anzupassen darin besteht, die Facettenreflektivität der Emittierstrukturen (d. h. des innerhalb der Emittierstrukturen ausgebildeten optischen Resonators) zu verändern. Dabei führt eine höhere Facettenreflektivität zu einer Erhöhung der in den Emittierstrukturen gespeicherten optischen Leistung, was wiederum zu einer Erhöhung der internen Resonatorverluste und damit auch zu einer Erhöhung der Temperatur der jeweiligen Emittierstrukturen führt.

[0019] Vorzugsweise kann die Facettenreflektivität der Emittierstrukturen durch Reflektoren mittels einer Integration von verteilten Bragg-Gittern (engl. distributed Bragg reflector, DBR), insbesondere von frontseitigen DBR und/oder rückseitigen DBR, oder durch das Aufbringen dielektrischer Spiegelschichten auf die Frontfacetten und/oder die Rückfacetten eingestellt ist. Die Facettenreflektivität kann dabei über die Reflektivität der Reflektorelemente eingestellt werden. Die Einstellung der optischen Eigenschaften eines Resonators durch Anpassung der Reflektivitäten an den Enden ist dem Fachmann an sich bekannt, diese Abhängigkeit wird hier jedoch zur gezielten Anpassung der Temperatur einzelner Emittierelemente eines Laserbarrens zur Verringerung der lateralen Fernfelddivergenz genutzt.

[0020] Durch eine Anpassung der Facettenreflektivität kann die Intensität des in den Emittierstrukturen eingeschlossenen Lichts (bzw. des ausgekoppelten Lichts, auch bekannt als Spiegelverlust) kontrolliert werden. Mit zunehmenden Reflexionsgraden der äußeren Emittierstrukturen verringern sich deren Spiegelverluste, es wird mehr optische Energie in den Emittierstrukturen gespeichert und somit steigt auch der Wärmeeintrag im Inneren der Emittierstrukturen. Durch einen erhöhten Wärmeeintrag steigt auch die Temperatur der äußeren Emittierstrukturen.

[0021] Vorzugsweise liegt die Reflektivität eines frontseitigen Reflektors (R_f) der äußeren Emittierstrukturen zwischen 1 % und 30 %, besonders bevorzugt zwischen 1 % und 12 %. Dieser Wertebereich ergibt sich für typische Laserbarren aus dem gemessenen Temperaturabfall bei den äußeren Emittierstrukturen. Mit diesen Werten für die Reflektivität kann typischerweise eine Erhöhung der Temperatur im Bereich bis zu 10 K gegenüber Emittierstrukturen ohne zusätzliche Reflektoren erreicht werden.

[0022] Vorzugsweise wird zur Erhöhung des thermischen Widerstandes (R_{th}) der äußeren Emitterstrukturen gegenüber den inneren Emitterstrukturen bei den äußeren Emitterstrukturen die Länge des gepumpten Bereichs gegenüber der Länge des gepumpten Bereichs der inneren Emitterstrukturen durch eine Ausbildung nicht gepumpter Bereiche verkürzt. Es konnte gezeigt werden, dass eine weitere effektive Möglichkeit die abgegebene thermische Leistung der Emitterelemente anzupassen darin besteht, den thermischen Widerstandes der Emitterstrukturen zu verändern. Ein erhöhter thermischer Widerstand reduziert die Wärmeabfuhr aus den Emitterstrukturen und kann damit auch zu einer Erhöhung der Temperatur der jeweiligen Emitterstrukturen führen.

[0023] Vorzugsweise liegt bei den äußeren Emitterstrukturen die Länge des gepumpten Bereichs gegenüber der Länge des gepumpten Bereichs der inneren Emitterstrukturen zwischen 90 % und 20 %, bevorzugter zwischen 80% und 35 %. Beispielsweise beträgt eine typische Länge für den gepumpten Bereich einer inneren Emitterstruktur 4 mm und entspricht der Länge des Resonators. Die Länge des gepumpten Bereichs der äußeren Emitterstrukturen kann dann für eine typischerweise erforderliche Temperaturerhöhung bei diesen Emitterstrukturen beispielsweise auf 1,4 mm verkürzt werden.

[0024] Durch eine Verkürzung der Länge des gepumpten Bereichs durch Einführung eines oder mehrerer nicht gepumpter Bereiche innerhalb der äußeren Emitterstrukturen im Gegensatz zu den inneren Emitterstrukturen kann die Wärmeabfuhrfähigkeit der äußeren Emitterstrukturen reduziert werden. Durch die Verkürzung des gepumpten Bereichs nehmen der elektrische Serienwiderstand und der thermische Widerstand zu. Der elektrische Serienwiderstand erhöht sich mit abnehmender Pumplänge ($L_{gain} < L_{resonator}$) nach der Formel $R_s = \rho_s / (wL_{gain})$, während der Serienwiderstand der inneren Emitter $R_s = \rho_s / (wL_{resonator})$ folgt. Durch den erhöhten elektrischen Serienwiderstand sinkt der maximale Strom durch die äußeren Emitterstrukturen (bei konstanter zugeführter Spannung) und damit die Wärmeleistung der Emitterstrukturen. Durch den zu stark erhöhten thermischen Widerstand erhöht sich jedoch die Gesamttemperatur innerhalb dieser Emitterstrukturen.

[0025] Vorzugsweise erfolgt eine Ausbildung nicht gepumpter Bereiche angrenzend an die Frontfacette und die Rückfacette. Bevorzugt ist dabei eine symmetrische Anordnung der nicht gepumpten Bereiche. Die Lage der gepumpten Bereiche entlang der longitudinalen Achse der Emitterstrukturen kann jedoch frei gewählt werden und für verschiedene Emitterstrukturen individuell bestimmt sein.

[0026] Um einen nicht gepumpten Bereich zu erzeugen, kann im einfachsten Fall eine Abscheidung von Kontaktmetall auf diese Bereiche unterdrückt werden. Als Ergebnis wird der Strom größtenteils auf die Abschnitte mit einem darüber befindlichen Kontaktmetall begrenzt. Dabei kann sich jedoch ein Teil der injizierten Ladungsträger ausbreiten und dennoch in die nicht gepumpten Bereiche diffundieren.

[0027] Vorzugsweise sind zur Reduzierung der Ladungsträgerausbreitung in den nicht gepumpten passiven Bereichen inerte Ionen mittels tiefer Ionenimplantation implantiert. Es konnte gezeigt werden, dass die nicht gepumpten Bereiche durch Implantation von inerten Ionen effektiver ausgebildet werden können. Die Tiefe der Implantation kann dabei auf eine Implantation bis in die p-Kontaktschicht hinein beschränkt sein. Die Implantation kann sich jedoch auch über die p-Kontaktschicht hinaus bis in die p-Wellenleiterschicht hinein erstrecken. Durch die Ionenimplantation bzw. die tiefe Ionenimplantation wird die Leitfähigkeit der hochgradig p-dotierten Kontakt-, Mantel- und Wellenleiterschichten aufgehoben. Einerseits lässt sich durch eine Ionenimplantation somit der Ladungsträgerfluss auf die gepumpten Bereiche einschränken. Andererseits verhindert diese auch, dass die Ladungsträger in die nicht gepumpten Bereiche diffundieren können.

[0028] Vorzugsweise sind zur Erhöhung der internen optischen Verluste (α_{int}) bei den äußeren Emitterstrukturen Verlustelemente ausgebildet. Der Effekt einer Erhöhung von internen Resonatorverlusten wurde voranstehend bereits erläutert. Diese Verlustelemente können durch das Einbringen von 1-, 2- oder 3-dimensionalen Verlustzentren über lokale Veränderung der Brechzahl oder durch Ätzen von wellenförmigen Strukturen entlang der Längsrichtung des Laserresonators oder durch lokale Erhöhung der Ladungsträgerdichte, z. B. durch Eindiffundieren von Dotierstoffen in die Kristallstruktur erzeugt werden. Solche Strukturen bewirken zusätzliche Streu- und Absorptionsverluste durch Wechselwirkung mit dem Laserlicht. Die daraus resultierende reduzierte Steilheitseffizienz (η_{slope}) des Emitters erhöht die Verlustleistung und bewirkt somit einen Anstieg der Temperatur innerhalb der Emitterstrukturen.

[0029] Vorzugsweise liegen die internen optischen Verluste (α_{int}) der äußeren Emitterstrukturen zwischen $0,6 \text{ cm}^{-1}$ und $1,5 \text{ cm}^{-1}$, bevorzugter zwischen 1 cm^{-1} und $1,5 \text{ cm}^{-1}$, und noch bevorzugter zwischen $1,2 \text{ cm}^{-1}$

und $1,5 \text{ cm}^{-1}$. Die internen optischen Verluste bei den für Hochleistungslaserdioden typischerweise verwendeten epitaktischen Materialien liegt etwa zwischen $0,3 \text{ cm}^{-1}$ und $0,4 \text{ cm}^{-1}$.

[0030] Vorzugsweise sind zur Erhöhung der Wärmeleistung der äußeren Emitterstrukturen gegenüber den inneren Emitterstrukturen bei den äußeren Emitterstrukturen zur Erhöhung der strahlungslosen Rekombination und damit zur Verringerung der internen Quanteneffizienz (η_{int}) inerte Ionen zumindest abschnittsweise in Richtung der aktiven Schicht hinein implantiert. Durch die dadurch auftretenden selektiven Ladungsträgerverluste kann die interne Quanteneffizienz in diesen Emitterstrukturen herabgesetzt werden, wodurch die Konversionseffizienz (PCE) der äußeren Emitterstrukturen verschlechtert wird. Zur Realisierung können zumindest einzelne Bereiche der Halbleitermaterialien mit inerten Ionen tiefimplantiert werden. Durch die bei der Tiefenimplantation eingebrachten Defekte in der Nähe der aktiven Verstärkungsmaterialien steigt die strahlungslose Rekombination gegenüber der strahlenden Rekombination an. Folglich steigt die thermische Verlustleistung innerhalb der modifizierten Emitterstrukturen. Eine Verschlechterung der internen Quanteneffizienz erhöht die interne Erwärmung, indem die strahlungslose Rekombination verstärkt und somit der Wirkungsgrad der Leistungsumwandlung verringert wird.

[0031] Die Emitterstruktur kann als Anordnung von implantierten und nicht implantierten Bereichen ausgeführt sein. Bevorzugt ist eine symmetrische Anordnung der implantierten und der nicht implantierten Bereiche, insbesondere können die einzelnen Bereiche jeweils die gleichen Längen aufweisen. Die Lage und Länge der implantierten und nicht implantierten Bereiche entlang der longitudinalen Achse der Emitterstrukturen kann jedoch frei gewählt werden und für verschiedene Emitterstrukturen individuell bestimmt sein. Die Tiefe der Implantation erstreckt sich vorzugsweise von der p-Kontaktschicht über die p-Mantelschicht, p-Wellenleiterschicht und die aktive Schicht bis hinunter zur n-Wellenleiterschicht.

[0032] Vorzugsweise sind ausreichend Defekte in die äußeren Emitterstrukturen eingebracht, so dass die internen Quanteneffizienzen (η_{int}) der äußeren Emitterstrukturen zwischen 50 % und 92 %, bevorzugter zwischen 84 % und 92 % liegen. Die typischerweise erreichbare interne Quanteneffizienz bei für Hochleistungslaserdioden üblicherweise verwendeten epitaktischen Materialien liegt etwa zwischen 95% und 100%.

[0033] Vorzugsweise sind zur Erhöhung des Serienwiderstandes (ρ_s) der inneren Emitterstrukturen inerte Ionen zumindest abschnittsweise in Richtung der aktiven Schicht hinein implantiert. Durch die Erhöhung des Serienwiderstands der inneren Emitterstrukturen kann ein höherer Stromfluss durch die äußeren Emitter erzwungen und dadurch eine zusätzliche Erwärmung der äußeren Emitterstrukturen bewirkt werden. Um den Serienwiderstand der inneren Emitttern zu erhöhen, können vorzugsweise Teile der Halbleitermaterialien, z. B. deren Kontaktbereich, mit inerten Ionen implantiert werden. Im Gegensatz zu der voranstehend beschriebenen Ausführungsform einer stromsperrenden Ionenimplantation besteht der Zweck der Ionenimplantation ist darin, den spezifischen Serienwiderstand ρ_s zu erhöhen, während die Pumplänge L_{gain} weiterhin der Resonatorlänge ($L_{\text{gain}} = L_{\text{resonator}}$) entspricht. Aufgrund des resultierenden erhöhten Serienwiderstandes durch Vergrößerung von ρ_s gemäß der Formel $R_s = \rho_s / (wL_{\text{resonator}})$ bei den inneren Emitterstrukturen erhöht sich der Betrag des Stromflusses durch die äußeren Emitterstrukturen (bei konstant zugeführter Spannung). Folglich kann auch in den äußeren Emitterstrukturen durch den höheren Strom die hohe Temperatur der inneren Emitterstrukturen erreicht werden. Bevorzugt ist dabei eine symmetrische Anordnung der implantierten und der nicht implantierten Bereiche, insbesondere können die einzelnen Bereiche jeweils die gleichen Längen aufweisen.

[0034] Die Emitterstruktur kann als Anordnung von implantierten und nicht implantierten Bereichen ausgeführt sein oder der implantierte Bereich kann sich über die gesamte Länge einer Emitterstruktur erstrecken. Bevorzugt ist eine symmetrische Anordnung der implantierten und der nicht implantierten Bereiche, insbesondere können die einzelnen Bereiche jeweils die gleichen Längen aufweisen. Die Lage und Länge der implantierten und nicht implantierten Bereiche entlang der longitudinalen Achse der Emitterstrukturen kann jedoch frei gewählt werden und für verschiedene Emitterstrukturen individuell bestimmt sein. Die Tiefe der Implantation kann von einer Implantation nur in die p-Kontaktschicht bis hin zu einer Implantation, die sich von der p-Kontaktschicht bis in die p-Wellenleiterschicht erstreckt, reichen.

[0035] Vorzugsweise ist der spezifische Serienwiderstand der inneren Emitterstrukturen um einen Faktor 1,2 bis 1,6 gegenüber den äußeren Emitterstrukturen erhöht.

[0036] In den untenstehenden Tabellen sind für jede der genannten Ausführungsformen der Erfindung beispielhaft die zur Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der jeweils der ersten Seite und der zweiten Seite zugewandten äußeren Emitterstrukturen gegenüber den von den äußeren Emitterstrukturen einge-

geschlossenen inneren Emitterstrukturen erforderlichen Werte für einen typischen Hochleistungslaser angegeben. Die Werte wurden durch Simulation ermittelt, um die Praktikabilität dieses Ansatzes aufzuzeigen. Abhängig von der Art des Laserbarrens können die erforderlichen Anpassungen jedoch auch deutlich von den hier gezeigten Werten abweichen.

[0037] Dabei sind in den Tabellen auf der linken Seite jeweils der thermische Widerstand R_{th} in K/W, die Maximaltemperaturen der inneren bzw. äußeren Emitterstrukturen T_i und T_a bei einer herkömmlichen Hochleistungslaserdiode und die sich daraus ergebende Differenz dT zwischen den jeweiligen Maximaltemperaturen der Emitterstrukturen angegeben. Demgegenüber sind in den Tabellen auf der rechten Seite jeweils der entsprechende Variationsparameter und dessen Auswirkungen bei einer erfindungsgemäßen Anpassung dargestellt. Dabei sind die durch die Variation erzielte Temperaturveränderung dT , eine daraus resultierende Änderung der Konversionseffizienz ΔPCE und ein Faktor P_{diss} , um den die dissipierte thermische Leistung in den äußeren Emitterstrukturen durch die erfolgten Anpassungen angehoben wird, angegeben.

Tabelle 1:

R_{th} (K/W)	T_i (°C) @ 900 W	T_a (°C) @ 900 W	dT (K)	R_f (%)	dT (K)	ΔPCE (%)	ΔP_{diss} (Faktor)
0,05	60,58	57,08	3,50	12	3,68	-4,80	1,16
0,2	73,88	65,40	8,48	29	8,64	-11,28	1,37

[0038] In Tabelle 1 ist gezeigt, dass mit einem erhöhten Reflektionsgrad R_f von 12 % bzw. 29 % der Frontfacette der äußeren Emitterstrukturen eine entsprechende Anpassung der Temperaturen erreicht werden kann. Durch einen erhöhten Reflektionsgrad R_f der Frontfacette können die optischen Eigenschaften der äußeren Emitterstrukturen geändert werden und somit die in den Emitterstrukturen gespeicherte optische Leistung erhöht werden. Dadurch steigen auch die auftretenden Verluste und somit auch die Temperatur der Emitter.

Tabelle 2:

R_{th} (K/W)	T_i (°C) @900 W	T_a (°C) @ 900 W	dT (K)	L_{gain} (μm)	dT (K)	ΔPCE (%)	ΔP_{diss} (Faktor)
0,05	60,58	57,08	3,50	1750	3,54	-4,47	0,50
0,2	73,88	65,40	8,48	1400	8,54	-10,82	0,47

[0039] In Tabelle 2 ist gezeigt, dass durch eine Verkürzung der Länge des gepumpten Bereichs L_{gain} der äußeren Emitterstrukturen gegenüber der Länge des gepumpten Bereichs L_{gain} der inneren Emitterstrukturen eine entsprechende Anpassung der Temperaturen erreicht werden kann. Die Länge des gepumpten Bereichs L_{gain} der inneren Emitterstrukturen entsprach in diesem Beispiel der Resonatorlänge 4000 μm .

Tabelle 3:

R_{th} (K/W)	T_i (°C) @ 900 W	T_a (°C) @ 900 W	dT (K)	α_{int} (cm ⁻¹)	dT (K)	ΔPCE (%)	ΔP_{diss} (Faktor)
0,05	60,58	57,08	3,50	0,85	3,39	-4,43	1,14
0,2	73,88	65,40	8,48	1,50	8,74	-11,39	1,37

[0040] In Tabelle 3 ist gezeigt, dass durch eine Erhöhung der internen optischen Verluste α_{int} der äußeren Emitter eine entsprechende Anpassung der Temperaturen erreicht werden kann.

[0041] Die internen optischen Verluste können insbesondere durch das Einbringen von Verlustelementen in die Emitterstrukturen erhöht werden. Die Verlustelemente können durch das Einbringen von 1-, 2- oder 3-dimensionalen Verlustzentren in die Kristallstruktur erzeugt werden.

Tabelle 4:

R_{th} (K/W)	T_i (°C) @ 900 W	T_a (°C) @ 900 W	dT (K)	η_{int}	dT (K)	ΔPCE (%)	ΔP_{diss} (Faktor)
0,05	60,58	57,08	3,50	0,92	3,76	-4,90	1,16
0,2	73,88	65,40	8,48	0,84	8,65	-11,28	1,37

[0042] In Tabelle 4 ist gezeigt, dass durch eine Herabsetzung der internen Quanteneffizienz η_{int} der äußeren Emittersstrukturen eine entsprechende Anpassung der Temperaturen erreicht werden kann. Die interne Quanteneffizienz η_{int} kann insbesondere über eine Verstärkung der strahlungslosen Rekombination an injizierten Ladungsträgern (d. h. an Elektronen und Löchern) erfolgen.

Tabelle 5:

R_{th} (K/W)	T_i (°C) @ 900 W	T_a (°C) @ 900 W	dT (K)	ρ_s	dT (K)	ΔPCE (%)	ΔP_{diss} (Faktor)
0,05	60,58	57,08	3,50	1,2 ρ_{s0}	-4,02	-0,11	0,84
0,2	73,88	65,40	8,48	1,6 ρ_{s0}	-8,74	-0,94	0,64

[0043] In Tabelle 5 ist gezeigt, dass durch eine Erhöhung des spezifischen Serienwiderstands ρ_s der inneren Emittersstrukturen (beispielsweise durch implantierte inerte Ionen) um einen Faktor 1,2 bis 1,6 gegenüber dem spezifischen Serienwiderstand ρ_{s0} der äußeren Emittersstrukturen (d. h. der nicht mit inerten Ionen implantierten Emitters) eine entsprechende Anpassung der Temperaturen erreicht werden kann.

[0044] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0045] Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0046] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer exemplarischen herkömmlichen Laserbarrenstruktur in a) Schrägansicht, b) Seitansicht und c) Aufsicht;

Fig. 2 a) laterale Temperaturprofile in konventionellen Laserbarren mit 37 Emitters für thermische Widerstände R_{th} von 0,05 K/W (links) und 0,20 K/W (rechts) bei unterschiedlichen Betriebsleistungen P_{op} , b) normierte Temperaturprofile der Laserbarren in ihren jeweiligen maximalen Arbeitspunkten und c) die Abhängigkeit der lateralen Temperaturprofile eines Laserbarrens mit $R_{th} = 0,05$ K/W vom Randwärmefaktor BH („boundary heat factor“) der äußeren Emittersstrukturen an ihrem jeweiligen maximalen Arbeitspunkten;

Fig. 3a eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht;

Fig. 3b eine Abhängigkeit der Reflektorverluste („mirror loss“), der Steigungseffizienz η_{slope} („slope efficiency“) und des Schwellstroms I_{th} („threshold current“) in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad R_f an der Frontfacette;

Fig. 3c eine Abhängigkeit der Ausgangsleistung P_{out} („output power“) und der Konversionseffizienz PCE in Abhängigkeit vom Betriebsstrom I für unterschiedliche Reflexionsgrade R_f an der Frontfacette;

Fig. 3d eine Abhängigkeit der Verlustleistung P_{diss} („dissipated power“), der Konversionseffizienz PCE und des Temperaturanstiegs dT in der aktiven Zone ($dT = T_{active\ zone} - T_{heat\ sink}$) in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad R_f an der Frontfacette bei maximaler Betriebsspannung ($\sim 1,55$ V);

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht,

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht,

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht,

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht,

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer sechsten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht, und

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer siebten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0047] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer exemplarischen herkömmlichen Laserbarrenstruktur in a) Schrägansicht, b) Seitansicht und c) Aufsicht. Der Laserbarren 1 umfasst einen n-Kontakt 4 (z. B. als metallische Kontaktfläche ausgebildet); ein n-Substrat 3, wobei das n-Substrat 3 auf dem n-Kontakt 4 angeordnet ist; eine n-Mantelschicht 6, wobei die n-Mantelschicht 6 auf dem n-Substrat 3 angeordnet ist; eine n-Wellenleiterschicht 8, wobei die n-Wellenleiterschicht 8 auf der n-Mantelschicht 6 angeordnet ist; eine aktiven Schicht 2, wobei die aktive Schicht 2 auf der n-Wellenleiterschicht 8 angeordnet ist; eine p-Wellenleiterschicht 9, wobei die p-Wellenleiterschicht 9 auf der aktiven Schicht 2 angeordnet ist; eine p-Mantelschicht 7, wobei die p-Mantelschicht 7 auf der p-Wellenleiterschicht 9 angeordnet ist; eine strukturierte p-Kontaktschicht 10, wobei die p-Kontaktschicht 10 auf der p-Mantelschicht 7 angeordnet ist und durch die Strukturierung eine Vielzahl von parallel nebeneinander angeordnete Emitterstrukturen ausbildet, wobei zur Strukturierung in der p-Kontaktschicht 10 die Bereiche zwischen den Emitterstrukturen jeweils durch eine Trennstruktur 11 voneinander getrennt sind und sich die Emitterstrukturen in longitudinaler Richtung zwischen einer Frontfacette 13 und einer Rückfacette 14 und in lateraler Richtung von einer ersten Seite (z. B. links) zu einer zweiten Seite (z. B. rechts) erstrecken; und mehrere p-Kontakte 5 (z. B. als metallische Kontaktelemente ausgebildet), wobei die p-Kontakte 5 auf den Strukturen p-Kontaktschicht 10 aufliegen und eine Injektion von Ladungsträgern in die jeweiligen Emitterstrukturen ermöglichen.

[0048] Den Abschluss zu den beiden Außenseiten des Laserbarrens 1 bildet typischerweise jeweils ein nicht aktiver Blindemitter 12, welcher insbesondere als einfaches dielektrisches Gebiet, als Graben oder als strahlungsloser Emitter ausgebildet sein kann. Die Blindemitter 12 dienen insbesondere dem Schutz des Laserbarrens 1 an den Seitenflächen. Der Bereich in der Mitte des Laserbarrens 1 wurde aus Gründen der besseren Übersicht nur angedeutet, es handelt sich jedoch um eine einfache Fortsetzung der angrenzend gezeigten Strukturen. Der Schichtaufbau kann von dem gezeigten abweichen, insbesondere können die n- und p-Seiten hinsichtlich des Substrates (p-Substrat) vertauscht sein.

[0049] Es ist zu erkennen, dass die die einzelnen Laserelemente in einer gemeinsamen Schichtstruktur ausgebildet sind, wobei zur Separation eine Strukturierung der p-Kontaktschicht 10 vorhanden ist. Bei den eingebrachten Trennstrukturen 11 kann es sich insbesondere um mit Ionen implantierte Bereiche (erste Ionenimplantationszonen), Gräben oder dielektrische Bereiche handeln. Alternativ können die einzelnen Laserelemente auch durch eine entsprechende Strukturierung einer n-Kontaktschicht, durch einzelne n-Kontakte oder einer p-Kontaktschicht und einer n-Kontaktschicht separiert werden. Ein Laserbarren 1 kann typischerweise eine Anzahl N von 5 bis 200 Laserelementen umfassen, wobei die Laserelemente als Breitstreifenlaser mit einer laterale Breite w zwischen 5 μm und 1200 μm ausgebildet sein können, die Länge der Laserelemente in longitudinaler Richtung beispielsweise zwischen etwa 2 mm und 6 mm liegt und der Abstand d zwischen den einzelnen Laserelementen typischerweise etwa 30 μm bis 100 μm beträgt.

[0050] Fig. 2 zeigt a) laterale Temperaturprofile in konventionellen Laserbarren mit 37 Emittlern für thermische Widerstände R_{th} von 0,05 K/W (links) und 0,20 K/W (rechts) bei unterschiedlichen Betriebsleistungen P_{op} , b) normierte Temperaturprofile der Laserbarren in ihren jeweiligen maximalen Arbeitspunkten und c) die Abhängigkeit der lateralen Temperaturprofile eines Laserbarrens mit $R_{th} = 0,05$ K/W vom Randwärmefaktor BH („boundary heat factor“) der äußeren Emitterstrukturen an ihrem jeweiligen maximalen Arbeitspunkten. Insbesondere handelt es sich um Temperaturprofile eines Laserbarrens der kW-Klasse bei einer dissipierten thermischen Verlustleistung P_{diss} („dissipated power“) von 603 W, wobei die Konversionseffizienz („PCE“) bei 60 % lag. Die einzelnen Laserelemente hatten einen Abstand von 64 μm .

[0051] In den Fig. 2a und 2b ist zu erkennen, dass insbesondere die drei jeweils außenliegenden Laserelemente im Betrieb eine geringere Temperatur (Gleichgewichtstemperatur zwischen Wärmeeintrag durch den Laserprozess und Wärmeabtrag durch eine entsprechende Kühlung, jeweils gemessen in der Mitte der aktiven Zone der einzelnen Laserelemente) aufweisen als die inneren Laserelemente. Mit steigendem thermischen Widerstand R_{th} und entsprechenden erhöhten Gleichgewichtstemperaturen kann insbesondere das jeweilige Außenlaserelement eine bis zu 20 % geringere Maximaltemperatur im Vergleich zu den übrigen Laserelementen des Laserbarrens aufweisen. Die mittleren Laserelemente zeigen bei einem thermischen Widerstand R_{th} von 0,2 K/W dabei in Abhängigkeit von der Betriebsleistungen P_{op} einheitliche Temperaturen zwischen etwa 45 °C und 75 °C. Im Bereich zwischen den einzelnen Laserelementen kann die Temperatur wie in Fig. 2b beispielhaft gezeigt jedoch um bis zu 45 % gegenüber dem jeweiligen Maximalwert abfallen.

[0052] Die Fig. 2c zeigt hingegen, dass das laterale Temperaturprofil des Laserbarrens durch eine gezielte Erhöhung der Verlustleistung (d. h. der dissipierten Wärme) an den Randemittern modifiziert und somit eine gleichmäßige Temperaturverteilung unter den Emitterstrukturen im Barren erreicht werden kann. Zu diesem Zweck wurde als relatives Maß zur Abschätzung der Stärke der erforderlichen Anpassung ein sogenannter Randwärmefaktor BH („boundary heat factor“) der jeweils ganz außen liegenden Emitterstrukturen definiert, welcher angibt, um welchen Faktor die Verlustleistung P_{diss} der äußeren Emitterstrukturen erhöht werden muss, um ein weitgehend homogenes Temperaturprofil zu erhalten.

[0053] Im dargestellten Beispiel führt ein Randwärmefaktor BH von 1,16 zu einer annähernd homogenen Temperaturverteilung zwischen den Emitterstrukturen. Es ist zu beachten, dass der Randwärmefaktor BH auch auf die direkt an die jeweils ganz außen liegenden Emitterstrukturen angrenzenden inneren Emitterstrukturen wirkt und somit auch deren Temperaturen beeinflussen kann. Eine Erhöhung des Randwärmefaktors BH kann also dazu genutzt werden, den Temperaturabfall der Emitterstrukturen an den Außenrändern eines Laserbarrens zu kompensieren. Insbesondere kann eine Verringerung des lateralen Divergenzwinkels der Gesamtemission des Laserbarrens dadurch erreicht werden, dass ein durch ein asymmetrisches Temperaturprofil auftretender Linseneffekt reduziert wird.

[0054] Fig. 3a zeigt eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht. Der prinzipielle Aufbau des gezeigten Schichtsystems entspricht dem zu Fig. 1 beschriebenen, die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung zu einzelnen Merkmalen gelten daher entsprechend.

[0055] Zur Erhöhung der Temperatur der Außenemitter des Laserbarrens wurde im Bereich der Frontfacetten 13 dieser Laserelemente ein verteiltes Bragg-Gitter 15 (engl. distributed Bragg reflector, DBR) in die Struktur integriert. Solche DBR-Strukturen sind als Rückkoppelemente zur spektralen Filterung der emittierten Laserstrahlung dem Fachmann bekannt, so dass deren Implementierung ohne Weiteres mit bekannten Technologien erfolgen kann. Der gezeigte frontseitige DBR 15 wird durch eine in der p-Kontaktschicht 10 angeordnete und vorzugsweise bis in die p-Mantelschicht 7 reichende Kammstruktur mit Gräben oder einer den Gräben entsprechenden Brechzahlmodulation erzeugt. Anstatt des frontseitigen DBR 15 kann auch eine dielektrische Verspiegelung der Frontfacetten 13 zur Ausbildung eines Reflektors erfolgen.

[0056] Durch die Struktur des DBR 15 oder eines anderen Reflektors lässt sich der Reflexionsgrad R_f an der Frontfacette 13 einstellen. Dadurch können die optischen Eigenschaften des Resonators geändert werden, wodurch sich dessen Auskoppelverluste reduzieren. Beim DBR 15 kann der Reflexionsgrad R_f insbesondere über die Anzahl der Schichtpaare des Spiegels eingestellt werden. Ein höherer Reflexionsgrad R_f führt zu einer geringeren Auskopplung von Laserstrahlung und einer höheren optischen Leistung innerhalb der Emitterstruktur, d. h. im Inneren des zwischen der Frontfacette 13 und der Rückfacette 14 ausgebildeten Resonators, wodurch in der Folge mehr Leistung abgeführt wird und eine höhere Temperatur innerhalb der Emitterstruktur entsteht. Über eine entsprechende Auslegung des Reflexionsgrades R_f an der Frontfacette 13 bei den Außenlaserelementen kann somit die Temperatur der äußeren Laserelemente an das Temperaturniveau der inneren Laserelemente angepasst werden.

[0057] In dem gezeigten Ausführungsbeispiel wurde zusätzlich auch jeweils das zweite und dritte äußere Laserelement entsprechend mit einem DBR 15 im Bereich der Frontfacetten 13 versehen. Durch die unterschiedliche Länge der gezeigten DBR-Strukturen soll angedeutet werden, dass der eingestellte Reflexionsgrad R_f in Richtung auf die inneren Laserelemente hin abnehmen soll. Die genaue Art der Abnahmefunktion und wie viele Laserelemente an den Außenseiten davon erfasst werden ist jedoch abhängig vom konkreten Design der Laserbarren 1 und der thermischen Kopplung zwischen den einzelnen Laserelementen. Die Dar-

stellung dieser Ausführungsform ist daher rein beispielhaft und steht für eine Vielzahl an möglichen Ausführungsformen.

[0058] Unabhängig vom gezeigten Ausführungsbeispiel kann es sich bei dem zur Erhöhung des Reflexionsgrades R und damit der auftretenden thermischen Verlustleistung verwendeten DBR auch um einen rückseitigen Reflektor handeln oder die Anordnung der einzelnen Reflektoren kann für jedes entsprechend modifizierte Laserelement individuell bestimmt sein. Insbesondere bei Hochleistungslaserbarren ist jedoch im Allgemeinen bereits ein hochreflektierender rückseitiger Reflektor (z. B. ein DBR oder eine dielektrische Spiegelschicht) zur Erhöhung der frontseitig ausgekoppelten optischen Leistung vorhanden, so dass eine weitere Erhöhung der Reflektivität dort nicht mehr möglich ist.

[0059] Fig. 3b zeigt eine Abhängigkeit der Reflektorverluste („mirror loss“), der Steigungseffizienz η_{slope} („slope efficiency“) und des Schwellstroms I_{th} („threshold current“) in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad R_f an der Frontfacette. Als Reflektorverlust (α_m in cm^{-1}) wird hierbei die aus dem Laserelement durch den Reflektor ausgekoppelte Strahlungsleistung betrachtet. Mit zunehmenden Reflexionsgrad R_f an der Frontfacette sinken die Reflektorverluste stark ab, wobei die stärkste Abnahme bereits bei kleinen Reflexionsgraden R_f bis etwa 15 % auftritt. Ein ganz ähnliches Verhalten zeigt der Schwellstrom I_{th} . Die Steigungseffizienz η_{slope} nimmt hingegen etwa linear mit dem Reflexionsgrad R_f an der Frontfacette ab.

[0060] Fig. 3c zeigt eine Abhängigkeit der Ausgangsleistung P_{out} („output power“) und der Konversionseffizienz PCE in Abhängigkeit vom Betriebsstrom I für unterschiedliche Reflexionsgrade R_f an der Frontfacette. Entsprechend den in Fig. 3b gezeigten Abhängigkeiten sinken mit steigendem Reflexionsgrad R_f die erreichbaren Ausgangsleistungen P_{out} und die Konversionseffizienzen PCE. Dies bedeutet jedoch andererseits, dass ein größerer Anteil der in die Laserelemente eingebrachten Energie in Verlustwärme umgesetzt wird und diese zur Anpassung der Temperatur der äußeren Laserelemente genutzt werden kann.

[0061] Fig. 3d zeigt eine Abhängigkeit der Verlustleistung P_{diss} („dissipated power“), der Konversionseffizienz PCE und des Temperaturanstiegs dT in der aktiven Zone in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad R_f an der Frontfacette bei maximaler Betriebsspannung ($\sim 1,55$ V). Die Verlustleistung P_{diss} und die Konversionseffizienz PCE zeigen ein gegensätzliches lineares Anstiegsverhalten, wobei sich mit Reflexionsgraden R_f zwischen 1 % und 50% an der Frontfacette die Verlustleistung P_{diss} um eine Faktor 1,6 variieren lässt. Die Abhängigkeit im Kurvenverlauf der Verlustleistung P_{diss} kann unmittelbar einem entsprechenden Temperaturanstieg dT innerhalb der aktiven Zone zugeordnet werden. Dabei können mit Reflexionsgraden R_f zwischen 1 % und 50 % an der Frontfacette auf den Kühlkörper bezogene Temperaturerhöhungen im aktiven Bereich zwischen 24,5 °C und 41 °C erreicht werden. Zum Ausgleich der in Fig. 2 für $R_{\text{th}} = 0,05$ K/W gezeigten Temperaturabweichung bei den Außenemittern herkömmlicher Laserbarren wären daher Reflexionsgrade R_f zwischen 1 % und 12 % für die in Fig. 3a gezeigte Ausführungsform mit frontseitigen Reflektoren ausreichend.

[0062] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht. Der prinzipielle Aufbau des gezeigten Schichtsystems entspricht dem zu Fig. 3a beschriebenen, die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung zu einzelnen Merkmalen gelten daher entsprechend. Bei dieser Ausführungsform sind zusätzlich zu den in Fig. 3a gezeigten frontseitigen DBR 15 zusätzlich rückseitige DBR 16 im Bereich der Rückfacette 14 angeordnet. In Gegensatz zur Ausführungsform nach Fig. 3a ist hierbei auch ein optisches Feedback von spektral schmalbandigen DBR Gittern möglich, die ein stabileres und schmalbandigeres Emissionsspektrum erzeugen können. Die Anordnung der einzelnen DBR kann auch vertauscht sein. Ebenfalls möglich ist, dass die Anordnung der beiden DBR für jedes entsprechend modifizierte Laserelement individuell bestimmt ist.

[0063] Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht. Der prinzipielle Aufbau des gezeigten Schichtsystems entspricht dem zu Fig. 1 beschriebenen, die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung zu einzelnen Merkmalen gelten daher entsprechend. Bei dieser Ausführungsform wird in den Außenlaserelementen die Länge des gepumpten Bereichs L_{gain} verkürzt. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass der auf der p-Kontaktschicht 10 aufliegende metallische p-Kontakt 5 nicht über die gesamte Länge $L_{\text{resonator}}$ der Laserelemente ausgebildet wird, sondern stattdessen eine Injektion von Ladungsträgern jeweils nur über einen bestimmten Teilbereich erfolgt. In der gezeigten Darstellung sind jeweils die drei äußeren Laserelemente entsprechend angepasst, wobei die Länge der gepumpten Bereiche L_{gain} nach außen hin abnimmt. Die Verkürzung erfolgt dabei vorzugsweise symmetrisch zu beiden Enden der Laserelemente.

[0064] Die Verkürzung der Länge der gepumpten Bereiche L_{gain} führt zu einer Vergrößerung des elektrischen Serienwiderstandes und des thermischen Widerstandes. Durch den erhöhten Serienwiderstand wird der maximal durch die Emittierstruktur fließende Strom verringert. Durch den deutlich erhöhten thermischen Widerstand wird zudem die Temperatur innerhalb der Emittierstrukturen erhöht. Die Lage der gepumpten Bereiche entlang der longitudinalen Achse der Emittierstrukturen kann dabei frei gewählt werden und für verschiedene Laserelemente individuell bestimmt sein.

[0065] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht. Der prinzipielle Aufbau des gezeigten Schichtsystems entspricht dem zu Fig. 5 beschriebenen, die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung zu einzelnen Merkmalen gelten daher entsprechend. Bei dieser Ausführungsform erfolgte zusätzlich zu den in Fig. 5 gezeigten Verkürzungen der Länge des gepumpten Bereichs L_{gain} durch eine zusätzliche Implantation von inerten Ionen in die nicht gepumpten Bereiche der Außenlaserelemente. Dadurch kann eine Diffusion von Ladungsträgern in die nicht gepumpten Bereiche unterdrückt werden. Die Tiefe 18 dieser zweiten Implantationszonen 17 erstreckt sich dabei vorzugsweise von der p-Kontaktschicht 10 bis hinunter in die p-Wellenleiterschicht 9.

[0066] Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht. Der prinzipielle Aufbau des gezeigten Schichtsystems entspricht dem zu Fig. 1 beschriebenen, die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung zu einzelnen Merkmalen gelten daher entsprechend. Bei dieser Ausführungsform sind zusätzliche Verlustelemente 19 als verlustinduzierende Strukturen hinzugefügt. Die Verlustelemente 19 können beispielsweise 1-, 2- oder 3-dimensionale Verlustzentren über einen lokal veränderten Brechungsindex, geätzte wellenförmige Strukturen entlang der Längsrichtung des Laserresonators, oder Kristallbereiche mit lokal erhöhter Ladungsträgerdichte zum Beispiel durch eindiffundierende Dotierstoffe.

[0067] In der Darstellung sind als das Beispiel für Verlustelemente 19 geätzte wellenförmige Strukturen gezeigt. Solche Strukturen führen zu zusätzlichen Streu- und Absorptionsverlusten durch Wechselwirkung des Laserlichts an den Verlustzentren. Die daraus resultierende reduzierte Steilheitseffizienz des Emitters würde die Verlustleistung erhöhen und die Temperatur innerhalb der äußeren Emittier steigern. Die Form und Größe der Verlustzentren ist nicht auf die in der Abbildung gezeigten beschränkt. Die Verlustelementen 19 könne jedoch auch an anderer Stelle im Schichtsystem angeordnet werden. Eine Reduzierung der Breite der p-Kontakte 5 ist nicht notwendig.

[0068] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung einer sechsten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht. Der prinzipielle Aufbau des gezeigten Schichtsystems entspricht dem zu Fig. 1 beschriebenen, die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung zu einzelnen Merkmalen gelten daher entsprechend. Bei dieser Ausführungsform sind bei den äußeren Emittierstrukturen inerte Ionen zumindest abschnittsweise bis in die aktive Schicht 2 hinein implantiert. Die Tiefe 21 dieser dritten Implantationszonen 20 kann sich dabei vorzugsweise von der p-Kontaktschicht 10 durch die aktive Schicht 2 hindurch bis hinunter in die n-Wellenleiterschicht 8, bevorzugter bis hinunter in die n-Mantelschicht 6, erstrecken. In einem implantierten Bereich, der sich bis hinunter zur aktiven Zone 2 erstreckt, sind die Verluste an injizierten Ladungsträgern durch strahlungslose Rekombination deutlich erhöht und somit wird die interne Quanteneffizienz η_{int} verringert. Die injizierten Ladungsträger, die dadurch bevorzugt strahlungslos rekombinieren, erhöhen somit die Temperatur der jeweiligen Emittierstruktur. Für eine wirksame Verringerung der internen Quanteneffizienz durch Erhöhung der strahlungslosen Rekombination ist bevorzugt, dass die Implantation über die aktive Zone hinausgeht (oder zumindest bis in diese hineinreicht).

[0069] Fig. 9 zeigt eine schematische Darstellung einer siebenten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbarrenstruktur in kombinierter Auf- und Schrägansicht. Der prinzipielle Aufbau des gezeigten Schichtsystems entspricht dem zu Fig. 1 beschriebenen, die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung zu einzelnen Merkmalen gelten daher entsprechend. Bei dieser Ausführungsform sind bei den inneren Emittierstrukturen inerte Ionen zumindest abschnittsweise bis in die p-Wellenleiterschicht 9 hinein implantiert. Die Tiefe 23 dieser vierten Implantationszonen 22 kann sich dabei vorzugsweise von der p-Kontaktschicht 10 bis hinunter in die p-Wellenleiterschicht 9 erstrecken. In dieser Ausführungsform werden mit inerten Ionen versehene Abschnitte 22 eingeführt, um den spezifischen elektrischen Serienwiderstand der Halbleiterschichten zu erhöhen. Der daraus für die inneren Emittierstrukturen resultierende erhöhte spezifische Serienwiderstand ρ_s ($\rho_s > \rho_{s0}$) erzwingt einen höheren Stromfluss durch die äußeren Emittierstrukturen und folglich kann somit auch bei dieser Ausführungsform die Temperatur der äußeren Emittierstrukturen die Temperatur der inneren Emittierstrukturen erreichen.

Bezugszeichenliste

1	Laserbarren
2	aktive Schicht
3	n-Substrat
4	n-Kontakt
5	p-Kontakt
6	n-Mantelschicht
7	p-Mantelschicht
8	n-Wellenleiterschicht
9	p-Wellenleiterschicht
10	p-Kontaktschicht
11	Trennstruktur (erste Ionenimplantationszone/Graben/dielektrischer Bereich)
12	Blindemitter (dielektrischer Bereich/Graben/strahlungsloser Emitter)
13	Frontfacette
14	Rückfacette
15	frontseitiger DBR
16	rückseitiger DBR
17	zweite Ionenimplantationszone
18	Tiefe der zweiten Ionenimplantationszone
19	Verlustelemente
20	dritte Implantationszone
21	Tiefe der dritten Implantationszone
22	vierte Ionenimplantationszone
23	Tiefe der vierten Implantationszone

Patentansprüche

1. Laserbarren (1), umfassend ein Schichtsystem aus einem Halbleitermaterial mit einer aktiven Schicht (2), wobei das Schichtsystem einen n-Kontakt (4) und p-Kontakt (5) zur Injektion von Ladungsträgern in die aktive Schicht (2) aufweist, wobei durch eine Strukturierung des Schichtsystems eine Vielzahl von äquidistant parallel nebeneinander mit einheitlicher Breite angeordneten Emitterstrukturen ausgebildet ist, wobei sich die Emitterstrukturen in longitudinaler Richtung zwischen einer Frontfacette (13) und einer Rückfacette (14) und in lateraler Richtung von einer ersten Seite zu einer zweiten Seite erstrecken und zur Strukturierung die Emitterstrukturen jeweils durch eine sich in longitudinaler Richtung erstreckende Trennstruktur (11) voneinander getrennt sind; **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der jeweils der ersten Seite und der zweiten Seite zugewandten äußeren Emitterstrukturen gegenüber den von den äußeren Emitterstrukturen eingeschlossenen inneren Emitterstrukturen erfolgt ist, wobei ein weitgehend homogenes Temperaturprofil hinsichtlich der Maximaltemperatur der einzelnen Emitterstrukturen beim Betrieb des Laserbarrens eingestellt wird, wobei eine Anpassung der dissipierten thermischen Leistung der äußeren Emitterstrukturen graduell über mehrere nebeneinanderliegende äußere Emitterstrukturen hinweg erfolgt ist.

2. Laserbarren (1) nach Anspruch 1, wobei zur Erhöhung der dissipierten thermischen Leistung die elektrischen und/oder optischen Eigenschaften der äußeren Emitterstrukturen gegenüber den inneren Emitterstrukturen angepasst sind.

3. Laserbarren (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei zur Erhöhung der in den Emittierstrukturen umlaufenden Lichtintensität bei den äußeren Emittierstrukturen die Facettenreflektivität gegenüber der Facettenreflektivität der inneren Emittierstrukturen erhöht ist.

4. Laserbarren (1) nach Anspruch 3, wobei die Facettenreflektivität der Emittierstrukturen durch Reflektoren mittels einer Integration von frontseitigen DBR (15) und/oder rückseitigen DBR (16), oder durch das Aufbringen dielektrischer Spiegelschichten auf die Frontfacetten (13) und/oder die Rückfacetten (14) eingestellt ist.

5. Laserbarren (1) nach Anspruch 4, wobei die Reflektivität eines frontseitigen Reflektors der äußeren Emittierstrukturen zwischen 1 % und 30 % beträgt.

6. Laserbarren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Erhöhung des Serienwiderstandes sowie des thermischen Widerstandes der äußeren Emittierstrukturen gegenüber den inneren Emittierstrukturen bei den äußeren Emittierstrukturen die Länge des gepumpten Bereichs gegenüber der Länge des gepumpten Bereichs der inneren Emittierstrukturen durch eine Ausbildung nicht gepumpter Bereiche verkürzt ist.

7. Laserbarren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei den äußeren Emittierstrukturen die Länge des gepumpten Bereichs gegenüber der Länge des gepumpten Bereichs der inneren Emittierstrukturen zwischen 90 % und 30 % beträgt.

8. Laserbarren (1) nach Anspruch 6 oder 7, wobei zur Reduzierung der Ladungsträgerausbreitung unter die nicht gepumpten passiven Bereiche inerte Ionen mittels tiefer Ionenimplantation implantiert sind.

9. Laserbarren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Erhöhung der internen optischen Verluste bei den äußeren Emittierstrukturen Verlustelemente (19) ausgebildet sind.

10. Laserbarren (1) nach Anspruch 9, wobei die internen optischen Verluste der äußeren Emittierstrukturen zwischen $0,6 \text{ cm}^{-1}$ und $1,5 \text{ cm}^{-1}$ betragen.

11. Laserbarren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Erhöhung der Wärmeleistung der äußeren Emittierstrukturen gegenüber den inneren Emittierstrukturen bei den äußeren Emittierstrukturen zur Erhöhung der strahlungslosen Rekombination und damit zur Verringerung der internen Quanteneffizienz inerte Ionen zumindest abschnittsweise in Richtung der aktiven Schicht (2) hinein implantiert sind.

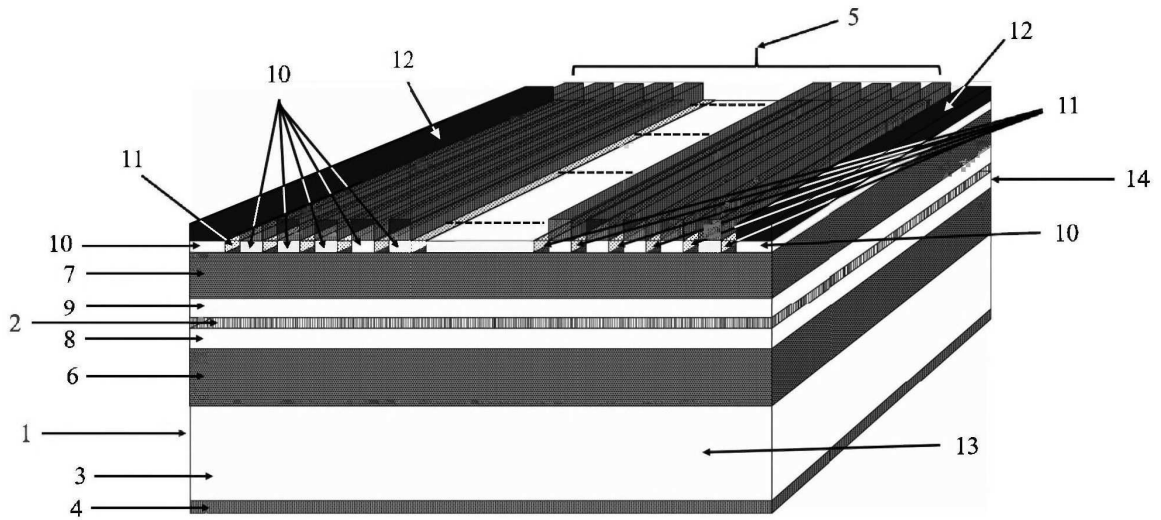
12. Laserbarren (1) nach Anspruch 11, wobei die internen Quanteneffizienzen der äußeren Emittierstrukturen zwischen 50 % und 92 % betragen.

13. Laserbarren (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei zur Erhöhung des Serienwiderstandes der inneren Emittierstrukturen inerte Ionen zumindest abschnittsweise in Richtung der aktiven Schicht (2) hinein implantiert sind.

14. Laserbarren (1) nach Anspruch 13, wobei der spezifische Serienwiderstand der inneren Emittierstrukturen um einen Faktor 1,2 bis 1,6 gegenüber dem spezifischen Serienwiderstand der äußeren Emittierstrukturen erhöht ist.

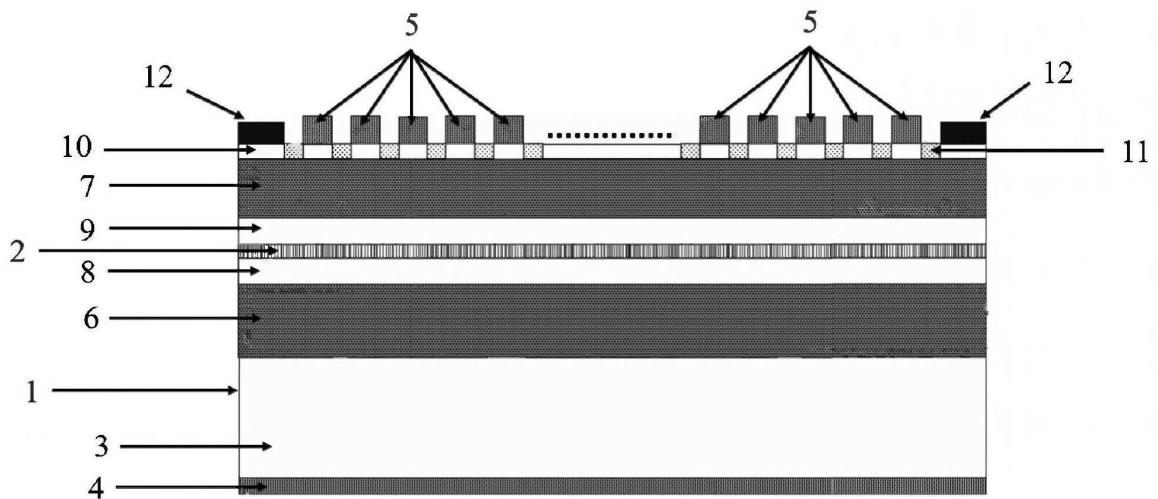
Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



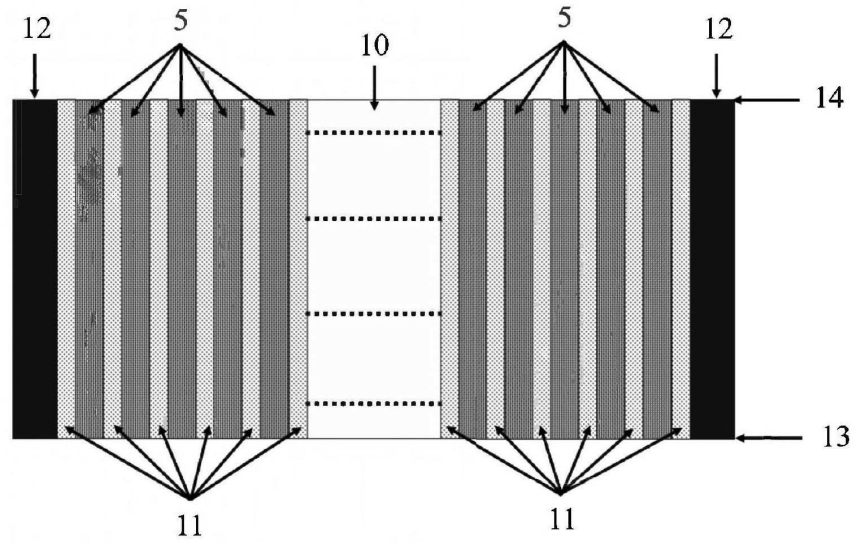
Stand der Technik

FIG. 1a



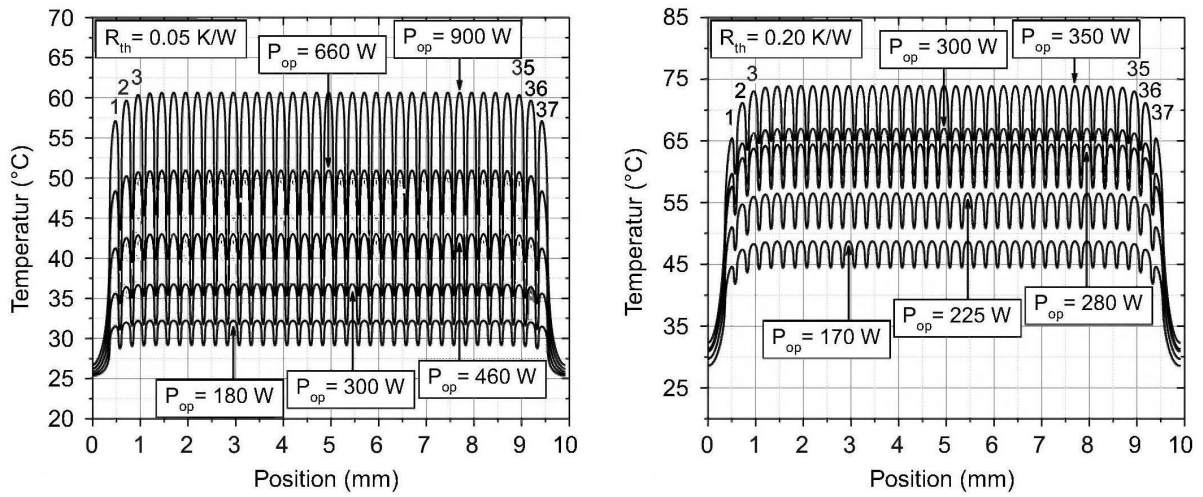
Stand der Technik

FIG. 1b



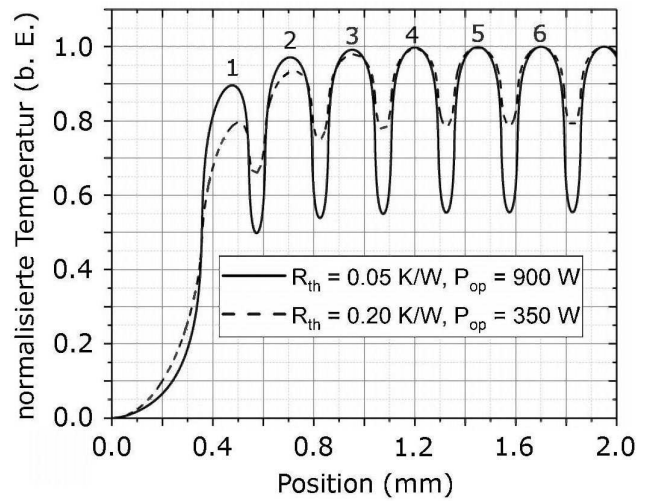
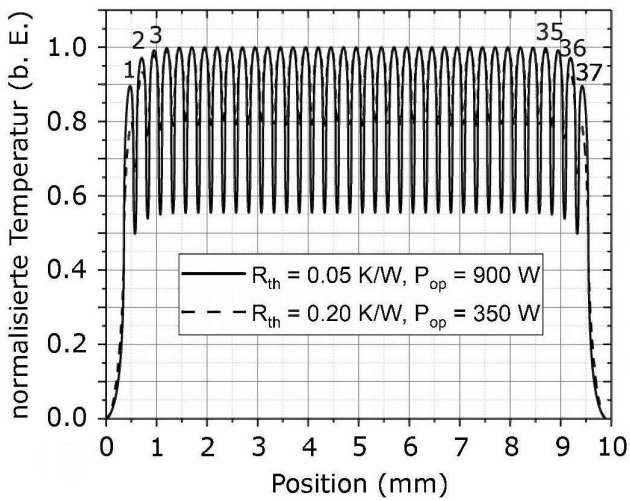
Stand der Technik

FIG. 1c



Stand der Technik

FIG. 2a



Stand der Technik

FIG. 2b

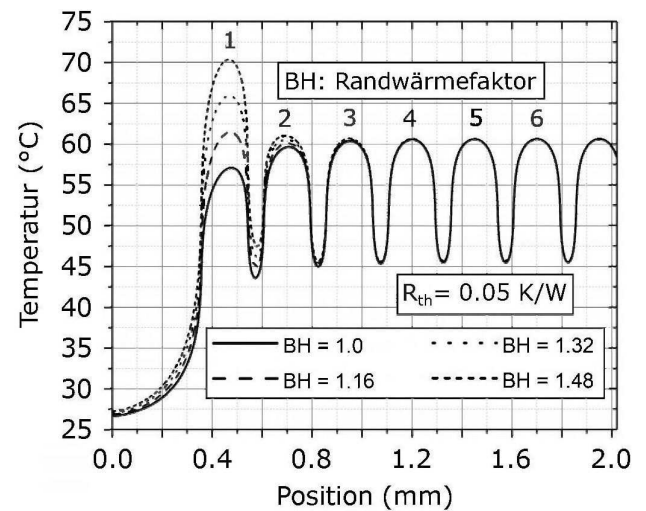
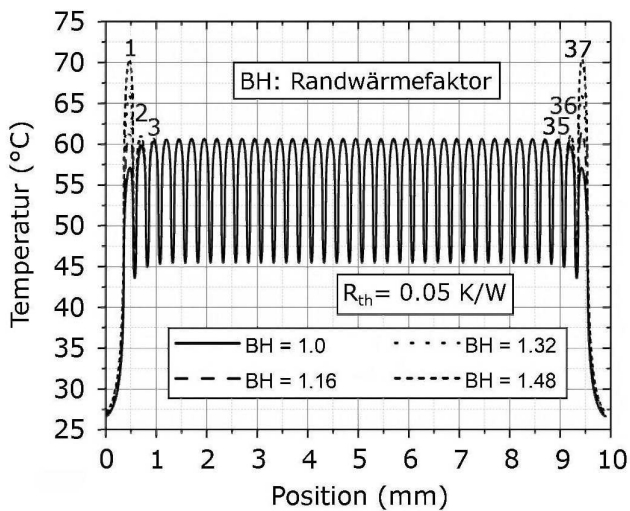


FIG. 2c

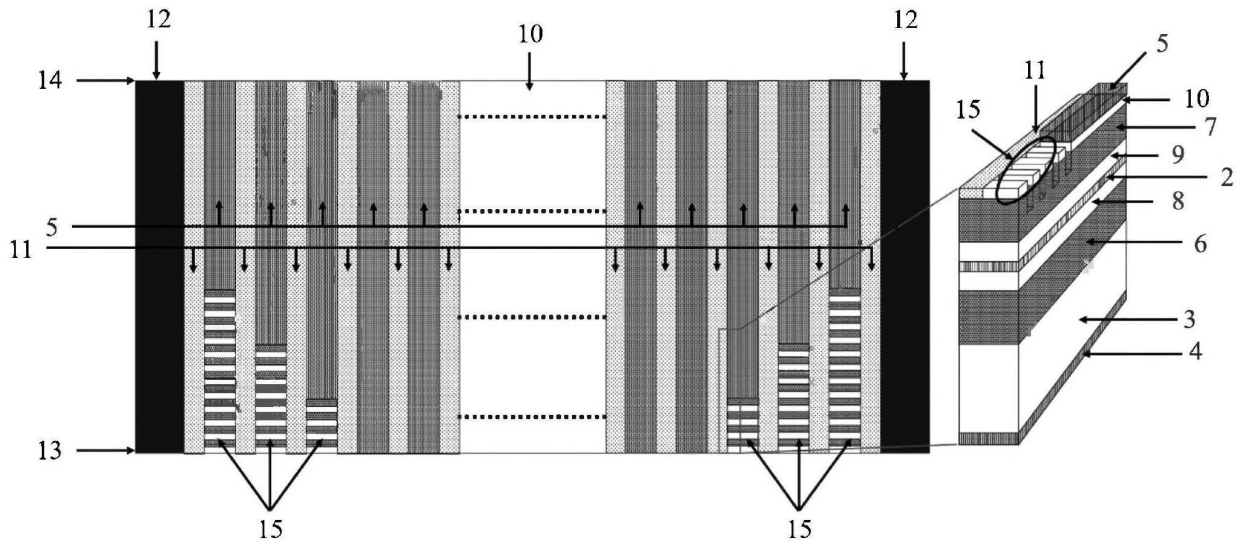


FIG. 3a

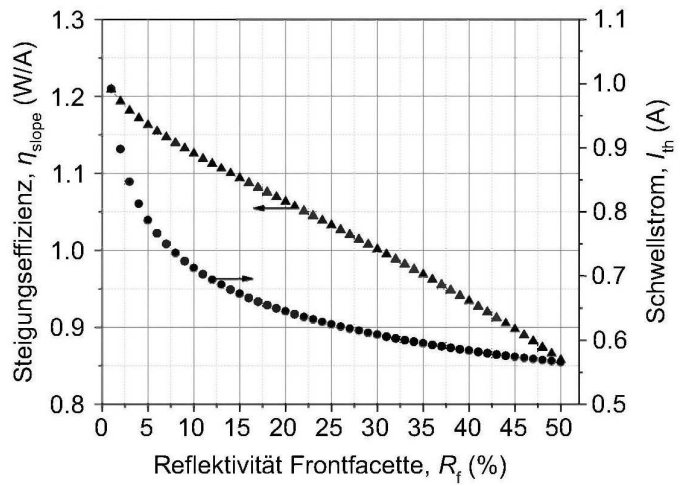
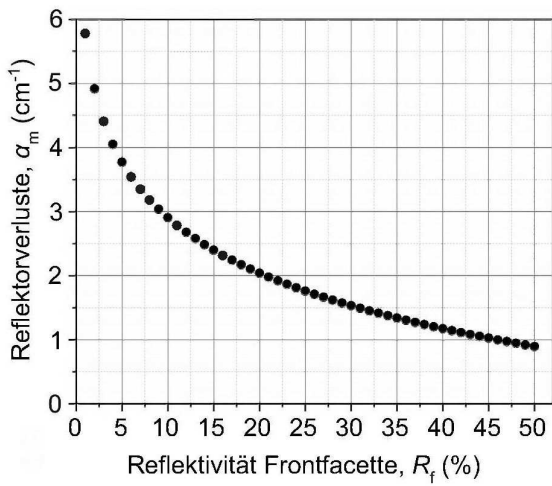


FIG. 3b

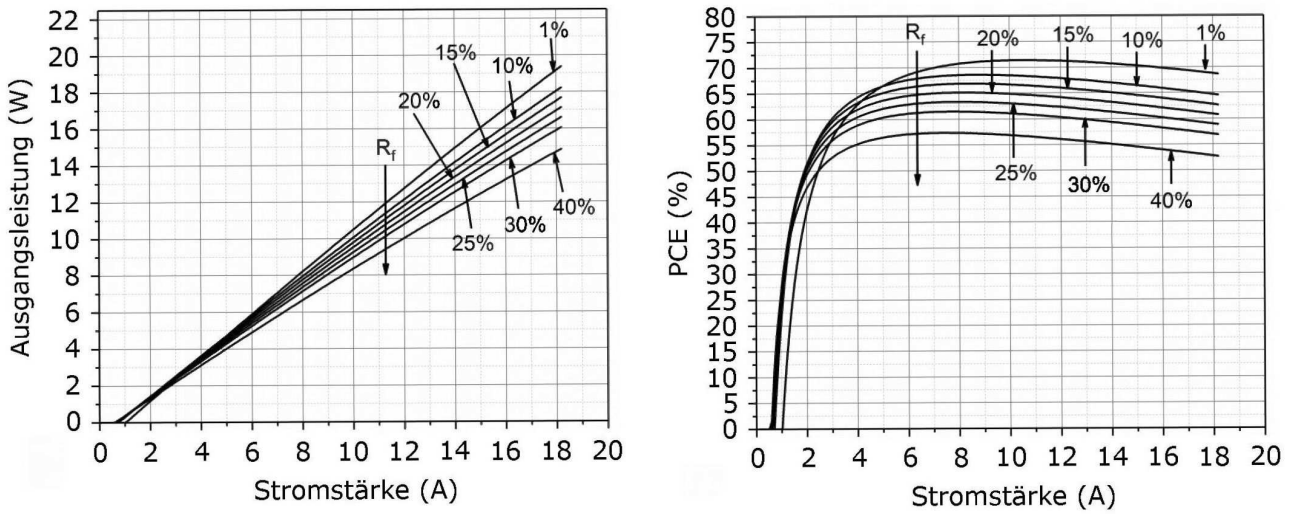


FIG. 3c

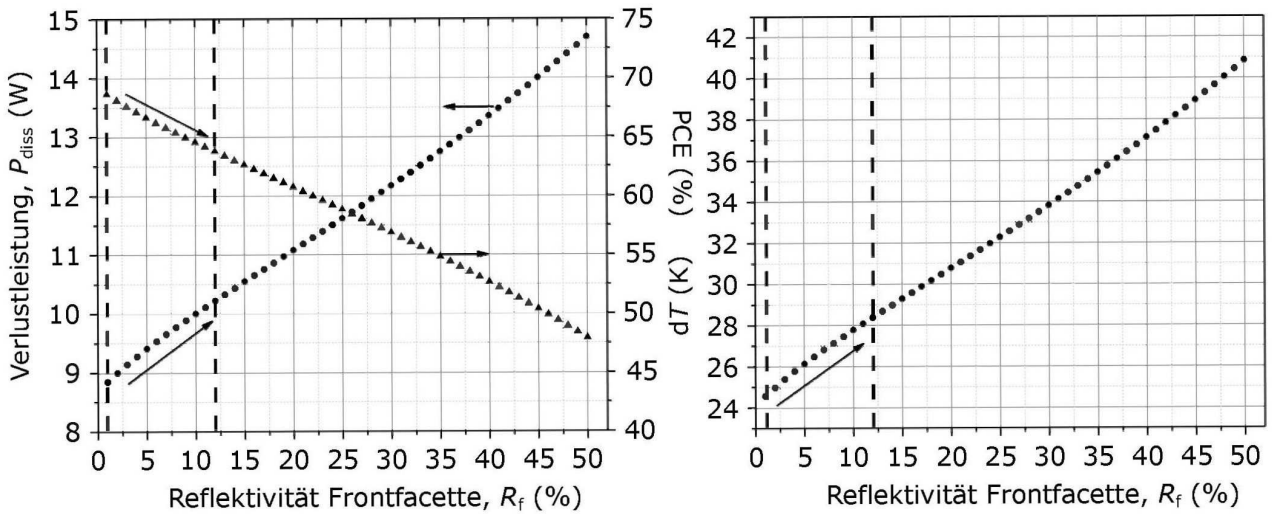


FIG. 3d

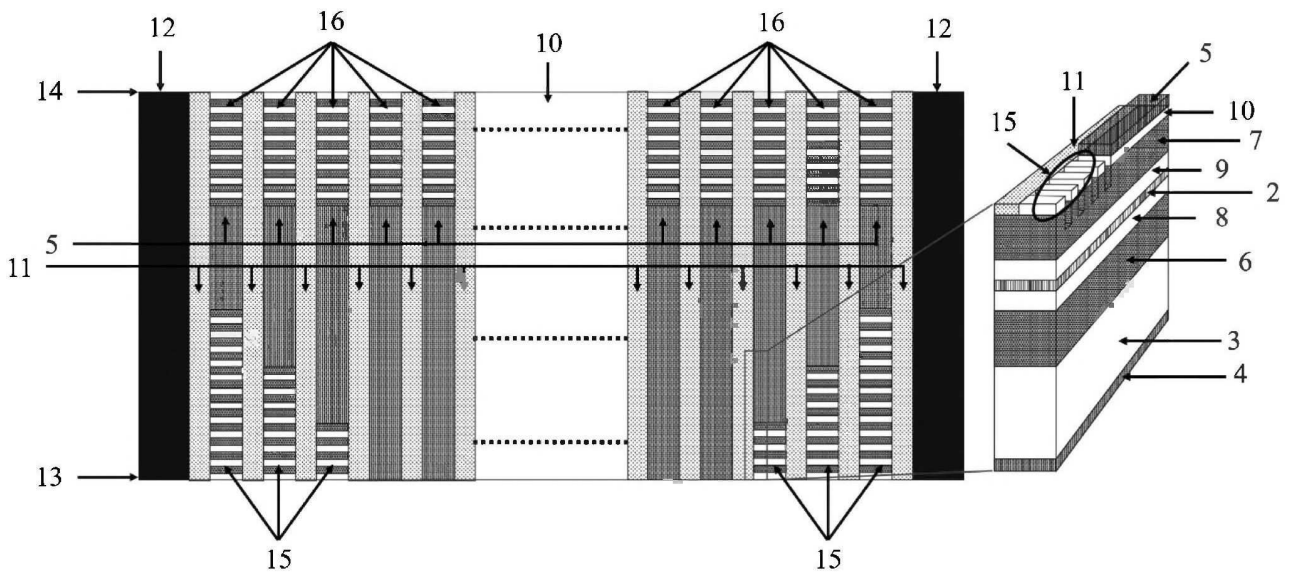


FIG. 4

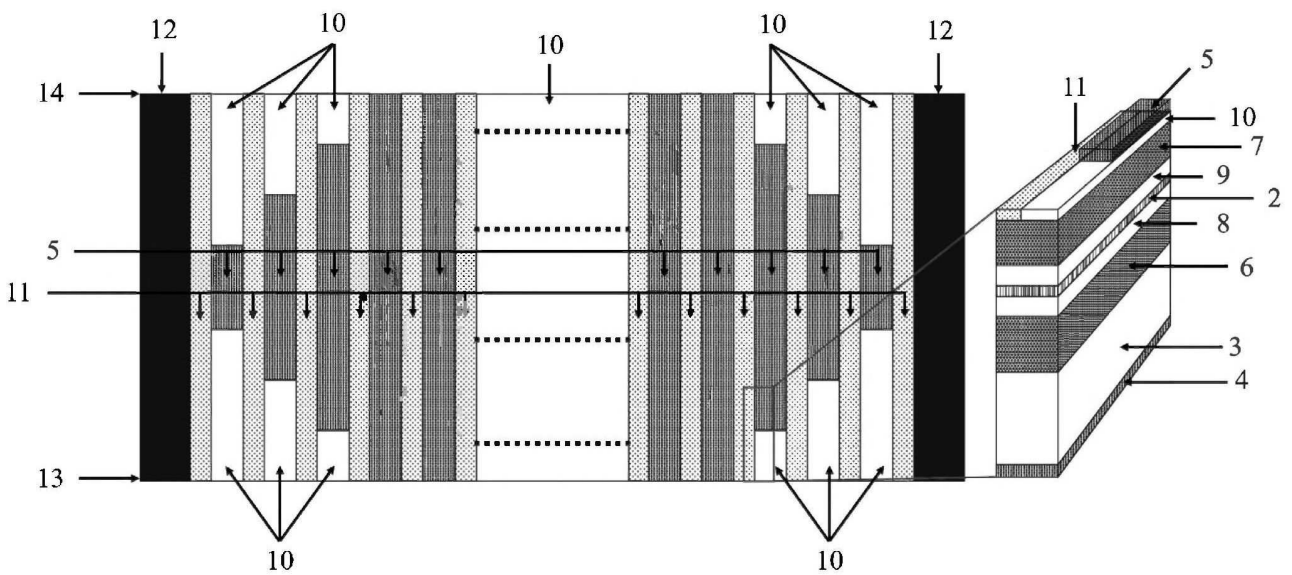


FIG. 5

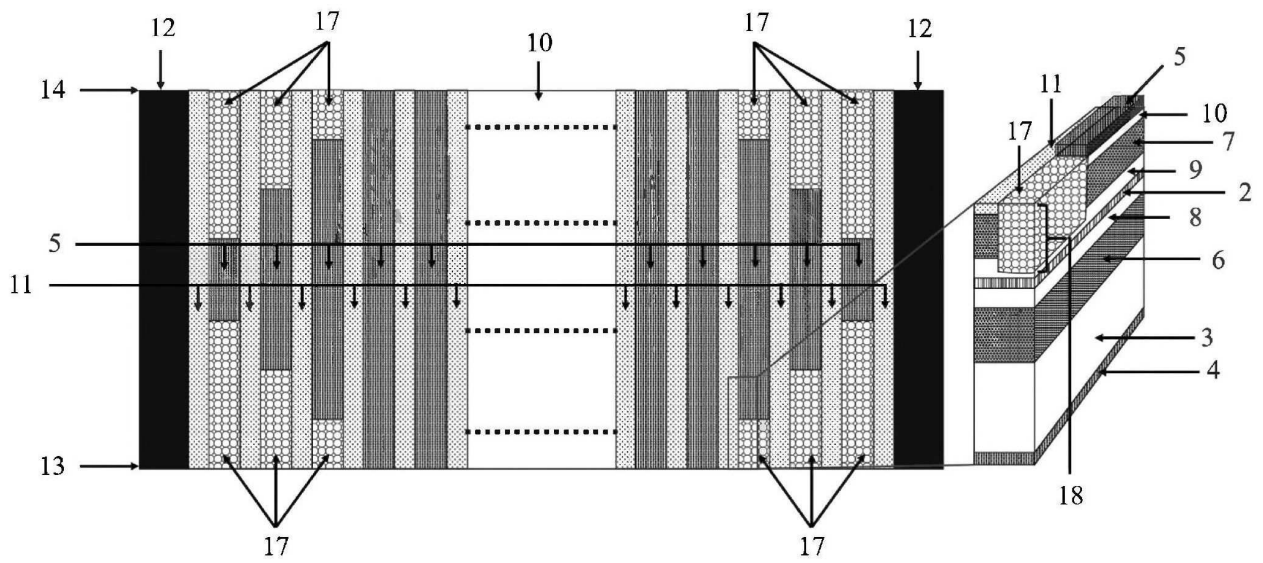


FIG. 6

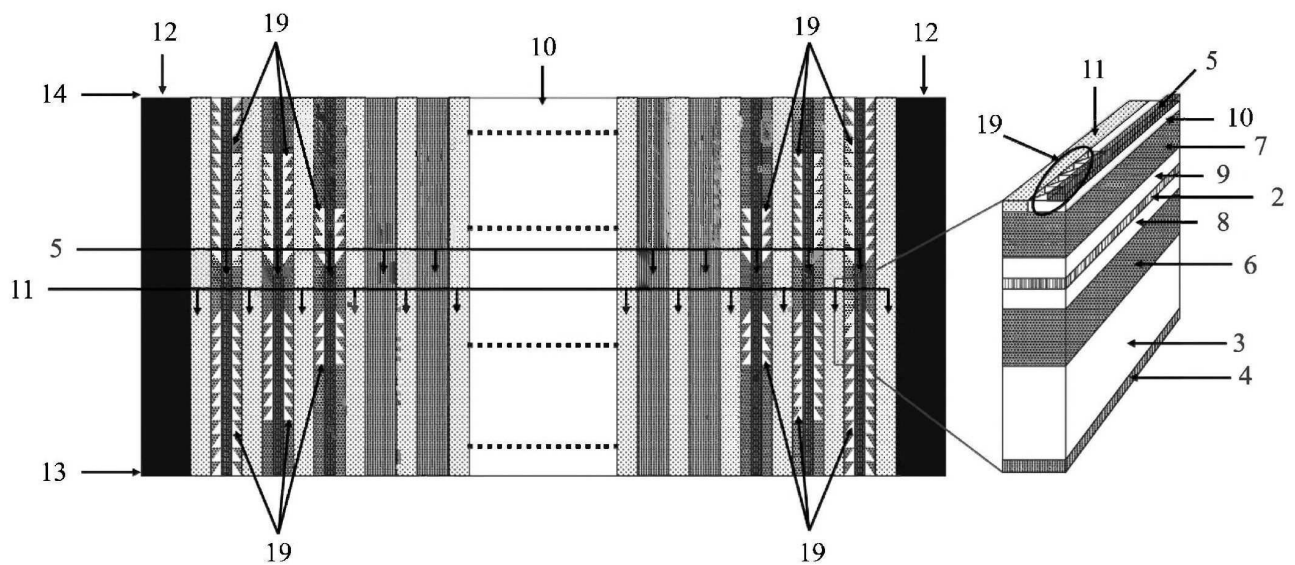


FIG. 7

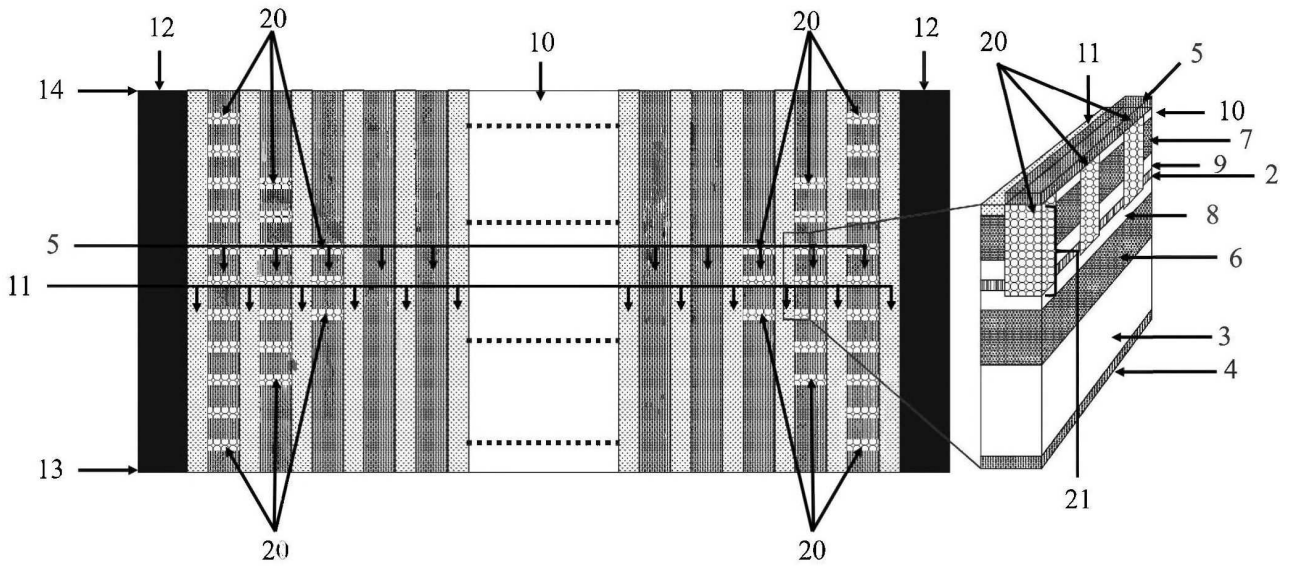


FIG. 8

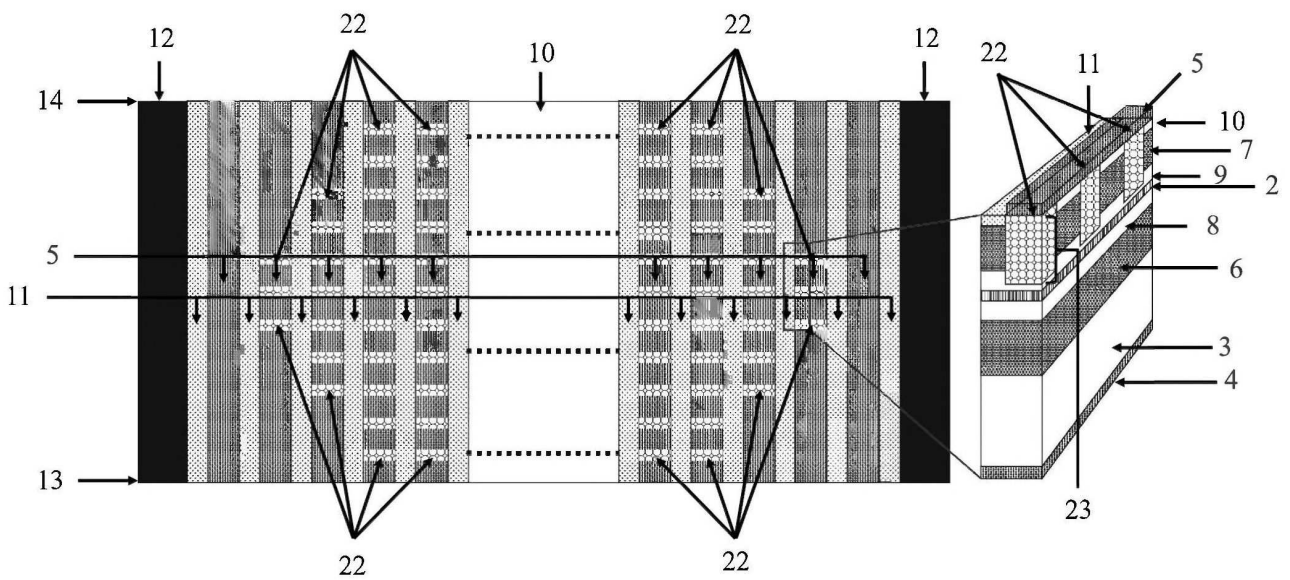


FIG. 9