



(10) **DE 10 2023 102 047 B4** 2024.12.12

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2023 102 047.1**
(22) Anmeldetag: **27.01.2023**
(43) Offenlegungstag: **01.08.2024**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **12.12.2024**

(51) Int Cl.: **H01S 5/20 (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:
**Miah, Mohammad Jarez, Dr., 10369 Berlin, DE;
Crump, Paul, Dr., 10245 Berlin, DE; Martin,
Christian Dominik, Dr., 10825 Berlin, DE**

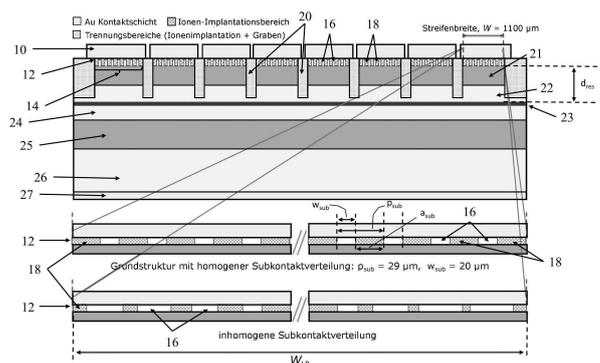
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2008 014 092	A1
DE	10 2016 106 949	A1
DE	10 2021 114 411	A1

MIAH, Md. Jarez [u.a.]: Optimizing vertical and lateral waveguides of kW-class laser bars for higher peak power, efficiency and lateral beam quality. In: IEEE Photonics Journal, Vol. 14, 2022, No. 3, Artikelnummer: 1525505 (5 S.). - ISSN 1943-0655 (E). DOI: 10.1109/JPHOT.2022.3165399. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=9757931> [abgerufen am 2023-02-17]

(54) Bezeichnung: **Halbleiterlaserbarren mit verbesserter Strahlqualität**

(57) Hauptanspruch: Laserbarren, umfassend eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Breitstreifen-Laseremittern, wobei mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter einen Kontaktbereich mit folgenden Merkmalen aufweist: eine Halbleiterkontaktschicht (12) einer Epitaxieschicht des Breitstreifen-Laseremitters, und eine metallische Kontaktschicht (10) zur flächigen Kontaktierung der Halbleiterkontaktschicht (12), wobei in der Halbleiterkontaktschicht (12) zur räumlichen Aufspaltung eines über die metallische Kontaktschicht (10) zuführbaren Betriebsstroms ein strukturierter Bereich (14) mit einzelnen Subkontakten (16) unterhalb der metallischen Kontaktschicht (10) ausgebildet ist, wobei die Breite w_{sub} und/oder der Abstand a_{sub} der einzelnen Subkontakte (16) in einer lateralen Richtung des Breitstreifen-Laseremitters variiert, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter mit besagtem Kontaktbereich im Randbereich des Laserbarrens angeordnet ist und die einzelnen Subkontakte (16) des Breitstreifen-Laseremitters in lateraler Richtung asymmetrisch bezüglich der Mitte des strukturierten Bereichs (14) ausgebildet sind.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Halbleiterlaser mit verbesserter Strahlqualität und insbesondere einen halbleiterbasierten Hochleistungs-Laserbarren mit verringerter thermischer Linse und reduzierter lateralen Fernfelddivergenz durch eine inhomogen ausgebildete Subkontaktstruktur in einem Kontaktbereich.

Stand der Technik

[0002] Hochleistungs-Halbleiterlaser mit geringer Strahldivergenz sind in vielen Anwendungen von entscheidender Bedeutung. So enthalten Halbleiterlaserbarren der kW-Klasse mehrere parallel zueinander angeordnete Breitstreifenlaser (engl. „broad area laser“, BAL), welche typischerweise eine laterale Streifenbreite W zwischen $50\ \mu\text{m}$ und $1200\ \mu\text{m}$ aufweisen. Entsprechende Laserbarren mit einer Leistung von ca. $2\ \text{kW}$ im quasikontinuierlichen bzw. $1\ \text{kW}$ kontinuierlichen Betrieb wurden bereits erfolgreich realisiert (M. J. Miah et al., „Optimizing vertical and lateral waveguides of kW-class laser bars for higher peak power, efficiency and lateral beam quality,“ IEEE Photon. J. 14 (3), p. 1525505, 2022; P. Crump et al., „Increased conversion efficiency at $800\ \text{W}$ continuous wave output from single 1-cm diode laser bars at $940\ \text{nm}$,“ CLEO/Europe-EQEC, 2021).

[0003] Das Wärme-/Temperaturprofil innerhalb der einzelnen Emitter sowie im gesamten Laserbarren stellt jedoch eine wesentliche Grenze zur Erreichung noch höherer Leistungen und für die Strahlqualität (d. h. für das Strahlparameterprodukt (engl. „beam parameter product“, BPP)) dar. Experimentelle Studien (M. Winterfeldt et al., „High beam quality in broad area lasers via suppression of lateral carrier accumulation,“ IEEE Photon. Technol. Lett. 27 (17), p. 1809, 2015; P. Crump et al., „Experimental studies into the beam parameter product of GaAs high-power diode lasers,“ IEEE J. Sei. Top. Quant. Electron 28 (1), p. 1501111, 2021) zeigen, dass sich während des Laserbetriebs eine starke thermische Linse ausbildet und der daraus resultierende Linseneffekt bei höherer Betriebsleistung immer deutlicher hervortritt.

[0004] Hierzu sind in **Fig. 1** beispielsweise die simulierten Temperaturverteilungen innerhalb eines $1\ \text{cm}$ breiten GaAs-Laserbarrens der kW-Klasse dargestellt, der 8 BAL-Emitter mit einer lateralen Streifenbreite $w \approx 1100\ \mu\text{m}$ bei unterschiedlichen Verlustleistungen umfasst. Um eine Anregung unerwünschter lateraler Moden zu vermeiden, haben die einzelnen Emitter des Laserbarrens homogen substrukturierte GaAs-Kontaktschichten, wobei in der beispielhaft gezeigten Simulation diese Strukturen in der Halbleiterkontaktschicht einzelne Subkontakte mit jeweils einer Breite von $20\ \mu\text{m}$ und einem Abstand von 9

μm (entspricht einer Periode von $29\ \mu\text{m}$) aufwiesen. Die mittleren 6 Emitter (Emitter 2 bis 7) des Laserbarrens zeigen symmetrische und weitgehend identische Temperaturverteilungen, während sich an den äußeren Randemittern (Emitter 1 und 8) asymmetrische Temperaturverteilungen mit einer deutlich verringerten Temperatur zu den Rändern des Emitters hin zeigen. Bei einer Betriebsleistung von $1\ \text{kW}$ (entsprechend einer Verlustleistung von etwa $603\ \text{W}$) beträgt die Temperaturabweichung ΔT zwischen dem Zentrum der mittleren Emitter und ihren Rändern $4,4\ \text{K}$. Bei den Randemittern (Emitter 1 und 8) steigt die Abweichung zwischen dem jeweiligen Zentrum und den Rändern sogar auf über $10\ \text{K}$. Die daraus resultierende thermische Linse, die in dem simulierten Laserbarren innerhalb jedes einzelnen Emitters erzeugt wird, lässt mehr Moden höherer Ordnung entstehen und verschlechtert folglich die Strahlqualität der Emitter.

[0005] Im Stand der Technik sind unterschiedliche Ansätze bekannt, um zur Verbesserung des BPP den thermischen Linseneffekt in den einzelnen Emittern sowie im Laserbarren abzuschwächen. Dies kann beispielsweise durch eine entsprechende Anpassung des Epitaxiedesigns (P. Crump et al., „Increased conversion efficiency at $800\ \text{W}$ continuous wave output from single 1-cm diode laser bars at $940\ \text{nm}$,“ CLEO/Europe-EQEC, 2021) oder die Ausbildung eines strukturierten Metallkontakts (A. Bachmann et al., „Recent brightness improvement of $976\ \text{nm}$ high power laser bars,“ Proc. SPIE 10086, p. 1008602, 2017) erfolgen.

[0006] Weitere Ansätze zur Verbesserung des BPP von Hochleistungslasern bzw. Laserbarren durch Abflachung des Temperaturprofils innerhalb des Lasermoduls basieren beispielsweise auf einer Änderung des Designs der Epitaxieschicht (DE 10 2020 133 368 A1) und des lateralen Barrenlayouts, der Verwendung von Sockeln (J. G. Bai et al., Proc SPIE 7953, 79531 F-1, 2011) oder einem zusätzlichem Wärmeeintrag (J. P. Hohimer et al., „Mode control in broad-area diode lasers by thermally induced lateral index tailoring,“ Appl. Phys. Lett. 52 (4), 260-262, 1988). Obwohl mit den im Stand der Technik bekannten Maßnahmen der thermische Linseneffekt bereits deutlich reduziert werden kann, muss dieser zur Bereitstellung noch höherer Leistungen und zur weiteren Verbesserung der Strahlqualität weiter unterdrückt werden.

[0007] DE 10 2016 106 949 A1 betrifft einen kantemittierenden Halbleiterlaser, welcher einen Kontaktbereich mit einem mehrere übereinander angeordnete Metallschichten umfassenden Kontaktsteg aufweist, wobei wenigstens eine der Metallschichten mit einer Strukturierung versehen ist, so dass diese Metallschicht den Kontaktbereich nur zum Teil bedeckt und mindestens eine Öffnung und/oder

Unterbrechung aufweist, wodurch Verspannungen der Halbleiterschichtenfolge und/oder des Kontaktstegs aufgrund unterschiedlicher Temperaturexpansionskoeffizienten der Metallschichten und/oder der Halbleiterschichtenfolge verringert werden.

[0008] DE 10 2008 014 092 A1 offenbart einen kantenemittierenden Halbleiterlaserchip mit einer aktiven Zone, in der im Betrieb des Halbleiterlaserchips elektromagnetische Strahlung erzeugt wird und zumindest einem strukturierten Kontaktstreifen, der derart strukturiert ist, dass eine Ladungsträgerinjektion in die aktive Zone zu einer Seite des Halbleiterlaserchips hin abnimmt, an der sich eine Auskoppelfacetten des Halbleiterlaserchips befindet.

[0009] DE 10 2021 114 411 A1 betrifft einen Laserbarren mit einem einheitlichen Temperaturprofil in lateraler Richtung zur Reduzierung der lateralen Fernfelddivergenz.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Halbleiterlaser mit verringerter thermischer Linse und reduzierter lateraler Fernfelddivergenz zur Verfügung zu stellen, bei dem zur Verbesserung des BPP der thermische Linseneffekt in den einzelnen Emittieren bzw. im Laserbarren durch eine Variation des Temperaturprofils in lateraler Richtung auf Grundlage einer vorhandenen Epitaxiestruktur, d. h. ohne aufwendige Anpassungen beim grundlegenden Epitaxiedesign oder im Schichtaufbau, verringert wird.

[0011] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten. Insbesondere wird hierzu eine im Stand der Technik bereits bekannte homogene Substrukturverteilung im Kontaktbereich von Breitstreifen-Laseremittieren in Laserbarren angepasst (M. J. Miah et al., „Optimizing vertical and lateral waveguides of kW-class laser bars for higher peak power, efficiency and lateral beam quality,“ IEEE Photon. J. 14 (3), p. 1525505, 2022) und zur Lösung der gestellten Aufgabe grundlegend weiterentwickelt.

[0012] Ein erfindungsgemäßer Kontaktbereich eines Breitstreifen-Laseremitters umfasst eine Halbleiterkontaktschicht einer Epitaxieschicht des Breitstreifen-Laseremitters, eine metallische Kontaktschicht zur flächigen Kontaktierung der Halbleiterkontaktschicht, wobei in der Halbleiterkontaktschicht zur räumlichen Aufspaltung eines über die metallische Kontaktschicht zuführbaren Betriebsstroms ein strukturierter Bereich mit einzelnen Subkontakten unterhalb der metallischen Kontaktschicht ausgebildet ist, wobei die Breite w_{sub} und/oder der

Abstand a_{sub} der einzelnen Subkontakte in einer lateralen Richtung des Breitstreifen-Laseremitters variiert (d. h. innerhalb einer einzelnen Laserdiode entlang der langsamen Achse). Weiterhin wird ein Breitstreifen-Laseremitter mit einem erfindungsgemäßen Kontaktbereich bereitgestellt.

[0013] Breitstreifen-Laseremitter sind im Stand der Technik hinreichend bekannt, diesbezüglich wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen. Solche Halbleiterlaserstrukturen weisen eine Epitaxieschicht aus unterschiedlich dotierten Halbleitermaterialien auf, wobei zur Strahlungserzeugung an der Grenze zwischen einem n-dotierten und einem p-dotierten Gebiet eine Rekombination von entsprechenden Ladungsträgern stattfindet. Die Ladungsträger werden üblicherweise über eine metallische Kontaktschicht in die Epitaxiestruktur eingebracht (entlang der vertikalen Achse des Halbleiterlasers). Zur Anpassung an die metallische Kontaktschicht weist die Epitaxieschicht an der Grenze zur metallischen Kontaktschicht eine sogenannte Halbleiterkontaktschicht als Anpassungsschicht auf. Durch diese Schicht kann der Metall-Halbleiterübergang mit einem möglichst geringen Übergangswiderstand realisiert werden.

[0014] Weiterhin bekannt ist im Stand der Technik die Ausbildung einer unterhalb der metallischen Kontaktschicht ausgebildeten Substruktur in der Halbleiterkontaktschicht (M. J. Miah et al., „Optimizing vertical and lateral waveguides of kW-class laser bars for higher peak power, efficiency and lateral beam quality,“ IEEE Photon. J. 14 (3), p. 1525505, 2022). Diese dient insbesondere dazu, eine Anregung unerwünschter lateraler Moden im Breitstreifen-Laseremitter zu vermeiden. Im Stand der Technik werden die Substrukturen jedoch derart ausgebildet, dass die Breite w_{sub} und der Abstand a_{sub} der einzelnen Subkontakte in der Halbleiterkontaktschicht unterhalb der metallischen Kontaktschicht in einer lateralen Richtung konstant ist. Die Substrukturverteilung ist somit homogen ausgebildet. Im Gegensatz dazu wird bei der vorliegenden Erfindung eine inhomogene Substrukturverteilung realisiert, so dass die Breite w_{sub} und/oder der Abstand a_{sub} der einzelnen Subkontakte in der Halbleiterkontaktschicht unterhalb der metallischen Kontaktschicht des Laseremitters in einer lateralen Richtung variiert.

[0015] Der strukturierte Bereich mit den einzelnen Subkontakten kann auf die Halbleiterkontaktschicht begrenzt sein und sich teilweise oder vollständig durch diese hindurch (in tangentialer Richtung des Breitstreifen-Laseremitters) erstrecken. Der strukturierte Bereich kann sich auch darüber hinaus in eine oder mehrere darunterliegende Epitaxieschichten erstrecken. Durch die Strukturierung werden abwechselnd leitfähige Bereiche mit geringem elektrischen Widerstand (Subkontakte) und Bereiche mit

hohem elektrischen Widerstand (Sperrbereiche zwischen benachbarten Subkontakten im strukturierten Bereich eines einzelnen Breitstreifen-Halbleiterlasers) ausgebildet.

[0016] In denjenigen Bereichen, die über die einzelnen Subkontakte (d. h. durch die einzelnen in der strukturierten Halbleiterkontaktschicht ausgebildeten stromführenden Bereiche) mit Strom versorgt werden, wird verstärkt Wärme erzeugt. Ändert man die Verteilung der durch den Stromfluss strukturiert gepumpten Bereiche innerhalb des Laserstreifens, so ändert sich damit auch die im Emitter resultierende Wärmeverteilung, was erfindungsgemäß für den positiven Effekt der Abflachung der thermischen Linse genutzt werden kann. Bei der vorgestellten Erfindung wird die Wärmeverteilung somit durch eine Veränderung bei der Größe und der gegenseitigen Anordnung der einzelnen Subkontakte einer an sich bereits bekannten Substruktur mit homogener Substrukturverteilung innerhalb der Halbleiterkontaktschicht umverteilt.

[0017] Wenn beispielsweise die Breite der einzelnen Subkontakte an den Rändern des Laserstreifens erhöht wird, ermöglicht dies aufgrund des zunehmend geringer werdenden elektrischen Widerstands einen höheren Gesamtstrom, was wiederum zu einer höheren lokalen Gesamtverlustleistung der Subkontakt führt. Breitere Subkontakte weisen somit insgesamt eine höhere Wärmelast auf und erhöhen den Anteil der Erwärmung zu den Streifenrändern des Laserstreifens hin. Dies minimiert wiederum den Temperaturabfall an den Rändern des Emitters und führt letztlich zu einem insgesamt flacheren Temperaturprofil.

[0018] Nimmt zusätzlich der gegenseitige Abstand der einzelnen Subkontakte ab, so weisen die gepumpten Bereiche untereinander eine stärkere thermische Wechselwirkung auf, was einen signifikanten Temperaturabfall im ungepumpten Bereich zwischen den gepumpten Bereichen verhindert und somit ebenfalls eine flachere Temperaturverteilung bewirkt.

[0019] Die Idee der vorliegenden Erfindung basiert somit darauf, dass zur Abflachung des Temperaturprofils innerhalb eines einzelnen Halbleiter-Laseremitters (auch als Laserstreifen, Laserdiode, Breitstreifenemitter o. ä. bezeichnet) und somit zur Verringerung der lateralen Strahldivergenz ein inhomogen strukturierter Kontaktbereich verwendet wird. Im Gegensatz zu homogenen, periodisch strukturierten Kontaktbereichen im Stand der Technik, welche sich entsprechend über die gesamte Breite jedes einzelnen Laserstreifens in einem herkömmlichen Laserbarren erstrecken (siehe **Fig. 1**), werden bevorzugt breitere Subkontakte zu den Rändern der Emitters hin verwendet. Dieser Ansatz kann zur Verbesse-

rung der Leistung und der Strahlqualität sowohl von Einzelemittlern mit großer Apertur als auch von aus mehreren solcher Einzelemittler aufgebauten Laserbarren genutzt werden, wenn die Substrukturverteilung entsprechend auf deren thermische Profile zugeschnitten ist.

[0020] Vorzugsweise erstreckt sich der Kontaktbereich des Breitstreifen-Laseremitters über eine laterale Streifenbreite $W \geq 150 \mu\text{m}$, bevorzugter $W \geq 200 \mu\text{m}$. Hierbei handelt es sich um die laterale Streifenbreite W eines einzelnen Breitstreifen-Laseremitters. Bevorzugt weist der Breitstreifen-Laseremitter in longitudinaler Richtung eine Länge von $L \geq 2 \text{ mm}$ auf. Vorzugsweise ist die Breite eines Subkontakts $w_{\text{sub}} \leq 200 \mu\text{m}$, bevorzugter $w_{\text{sub}} < 50 \mu\text{m}$.

[0021] Vorzugsweise ist der Abstand zwischen benachbarten Subkontakten $a_{\text{sub}} \leq 50 \mu\text{m}$, bevorzugter $a_{\text{sub}} < 20 \mu\text{m}$, noch bevorzugter $a_{\text{sub}} < 10 \mu\text{m}$. Bevorzugt ist der Abstand zwischen benachbarten Subkontakten der Substruktur $a_{\text{sub}} > 1 \mu\text{m}$. Solche Mindestabstände ermöglichen eine vereinfachte Bereitstellung der Strukturen, beispielsweise mit Hilfe von Photolack. Durch kleine Abstände zwischen benachbarten Subkontakten lässt sich ein hoher Füllfaktor F bei der Substruktur erreichen. Dadurch lassen sich Verluste (z. B. durch vergrößerte elektrische Serienwiderstände) vermeiden.

[0022] Die Periode der Subkontakte p_{sub} ist über w_{sub} und a_{sub} durch $p_{\text{sub}} = w_{\text{sub}} + a_{\text{sub}}$ definiert. Vorzugsweise variiert p_{sub} weniger als 20 %, bevorzugter weniger als 10 %, in einem einzelnen Breitstreifen-Laseremitter, noch bevorzugter ist p_{sub} für alle Subkontakte und Abstände a_{sub} gleich.

[0023] Vorzugsweise liegt ein Füllfaktor F der Substruktur zwischen 30 % und 95 %, bevorzugter zwischen 60 % und 95 %. Der Füllfaktor F ist dabei definiert als das Verhältnis zwischen der gepumpten Fläche (also der Gesamtbreite aller n Subkontakte, $n \times w_{\text{sub}}$) innerhalb des Einzelemitters und der Gesamtbreite des Einzelemitters W (Breite aller Subkontakte und deren Abstände), $F = (n \times w_{\text{sub}}) / W$.

[0024] Vorzugsweise nimmt die Breite der Subkontakte w_{sub} in der Halbleiterkontaktschicht unterhalb der metallischen Kontaktschicht zu den Rändern des strukturierten Bereichs hin zu und/oder der Abstand der Subkontakte a_{sub} in der Halbleiterkontaktschicht unterhalb der metallischen Kontaktschicht zu den Rändern des strukturierten Bereichs hin ab, wobei die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} von der von der Mitte des strukturierter Bereichs zu dessen Ränder hin vorzugsweise mindestens 10 % beträgt. Unter einer Variation der Breite wird dabei die relative Differenz der Breite der Subkontakte in der Mitte des Emitters zur Breite der Subkontakte am Rand des Emitters verstanden.

In ähnlicher Weise wird unter einer Variationen des Abstandes der Subkontakte die relative Differenz des Abstands der Subkontakte in der Mitte des Emitters zum Abstand der Subkontakte am Rand des Emitters verstanden.

[0025] Vorzugsweise variiert die Breite w_{sub} und/oder der Abstand a_{sub} der Subkontakte in der Halbleiterkontaktschicht unterhalb der metallischen Kontaktschicht zusätzlich in einer longitudinalen Richtung von einer Vorderseite des Breitstreifen-Laseremitters zu einer Rückseite des Breitstreifen-Laseremitters hin. Bevorzugt nimmt dabei die Breite der Subkontakte w_{sub} in der longitudinalen Richtung zu und/oder der Abstand der Subkontakte a_{sub} in der longitudinalen Richtung ab, wobei die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} von der Vorderseite des Breitstreifen-Laseremitters zur Rückseite des Breitstreifen-Laseremitters vorzugsweise mindestens 10 % beträgt. Eine solche Variation der Substruktur entlang der Resonatorachse kann vor allem zum Ausgleich von Temperaturschwankungen in Längsrichtung genutzt werden. Insbesondere können zur Reduzierung des Stromflusses und zur Senkung der lokalen Temperatur die einzelnen Subkontakte unterhalb der metallischen Kontaktschicht an der Vorderseite des Breitstreifen-Laseremitters mindestens 10 % schmaler als an der Rückseite des Breitstreifen-Laseremitters ausgebildet sein.

[0026] Vorzugsweise ist der erfindungsgemäße Kontaktbereich durch Strukturierung des Widerstands der Halbleiterkontaktschicht mittels Implantierung oder Dotierung von Fremdatomen, oder durch Implementierung von p-n-Übergängen, beispielsweise über eine Zweischritt-Epitaxie oder den Einbau von Schichten mit breiter Bandlücke erzeugt. Bevorzugt wird dadurch in den implantierten oder dotierten Bereichen eine Erhöhung des elektrischen Widerstands um das 100-fache realisiert. Die Substrukturen können unter Verwendung von Implantations- und/oder epitaktische Überwachstumstechniken mit einer typischen Restschichtdicke $2 \mu\text{m} > d_{\text{res}} > 0 \mu\text{m}$ erzeugt werden. Als Restschichtdicke wird dabei der Abstand zwischen einer Seite der aktiven Schicht (z. B. deren Oberseite) und der der aktiven Schicht zugewandten Seite des implantierten/dotierten Bereichs (z. B. deren Unterseite) bezeichnet. Bei einer metallischen Kontaktschicht kann es sich vorzugsweise um eine Galvanik-Gold-Schicht (Au) auf mindestens einem Metalllegierungsschichtstapel (z. B. Ti/Pt/Au) handeln.

[0027] Ein erfindungsgemäßer Laserbarren umfasst eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Breitstreifen-Laseremittern, wobei mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter mit einem erfindungsgemäßen Kontaktbereich ausgebildet ist. Vorzugsweise sind alle Breitstreifen-Laseremitter des Laserbarrens mit einem erfindungsgemäßen

Kontaktbereich ausgebildet. In einem exemplarischen Laserbarren mit einer typischen Barrenbreite $W_{\text{LB}} = 1 \text{ cm}$ können dabei abhängig von der konkreten Auslegung bevorzugt zwischen etwa 5 und 80 Einzelemitter angeordnet sein.

[0028] Vorzugsweise ist mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter mit einem erfindungsgemäßen Kontaktbereich im mittleren Bereich des Laserbarrens angeordnet und die einzelnen Subkontakte des Breitstreifen-Laseremitters sind in lateraler Richtung symmetrisch bezüglich der Mitte des strukturierten Bereichs ausgebildet. Vorzugsweise weisen alle im mittleren Bereich des Laserbarrens angeordneten Breitstreifen-Laseremitter einen erfindungsgemäßen Kontaktbereich auf, wobei die einzelnen Subkontakte dieser Breitstreifen-Laseremitter in lateraler Richtung symmetrisch bezüglich der Mitte des strukturierten Bereichs ausgebildet sind.

[0029] Mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter mit einen erfindungsgemäßen Kontaktbereich ist im Randbereich des Laserbarrens angeordnet und die einzelnen Subkontakte des Breitstreifen-Laseremitters sind in lateraler Richtung asymmetrisch bezüglich der Mitte des strukturierten Bereichs ausgebildet. Vorzugsweise weisen alle im Randbereich des Laserbarrens angeordneten Breitstreifen-Laseremitter einen erfindungsgemäßen Kontaktbereich auf, wobei die einzelnen Subkontakte dieser Breitstreifen-Laseremitter sind in lateraler Richtung asymmetrisch bezüglich der Mitte des strukturierten Bereichs ausgebildet sind.

[0030] Vorzugsweise ist die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} der Subkontakte von der Mitte des strukturierten Bereichs in Richtung des mittleren Bereichs des Laserbarrens geringer ist als in Richtung der Ränder des Laserbarrens, wobei der Unterschied in der Variation vorzugsweise mindestens 10 % beträgt.

[0031] Da beispielsweise in dem in **Fig. 1** exemplarisch gezeigten 1-cm-Diodenlaserbarren mit 8 Emittier die mittleren Emittier (Emittier 2-7) einen symmetrischen Temperaturverlauf aufweisen, sollten die Subkontakte der einzelnen Breitstreifen-Laseremitter mit einem erfindungsgemäßen Kontaktbereich auf ihren beiden Seiten (d. h. links und rechts der Mitte jedes der entsprechenden Emittier) bevorzugt symmetrisch angeordnet sein. Vorzugsweise vergrößert sich dabei die Breite der Subkontakte w_{sub} zu beiden Rändern der entsprechenden Emittier hin symmetrisch und monoton. Ebenso bevorzugt ist, dass sich der Abstand a_{sub} zwischen den Subkontakten zu beiden Rändern der entsprechenden Emittier hin symmetrisch und monoton verringert.

[0032] Die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} der Subkontakte sollte dabei bevor-

zugt mindestens 10 % von der Mitte zu den Rändern der entsprechenden Emitter hin betragen. Solche inhomogenen Subkontakte mit einer symmetrischen Anordnung bezüglich der Mitte der entsprechenden Emitter können bevorzugt in den zentralen Emittlern des Laserbarrens verwendet werden, die in der Regel mindestens 30 % der gesamten Emitter im Laserbarren ausmachen.

[0033] Da die in **Fig. 1** gezeigten Randemitter (Emitter 1 und 8) gegenüber den mittleren Emittlern hingegen ein stark asymmetrisches Temperaturprofil aufweisen (stärkere Variation an den äußeren Ränder), sollten die Subkontakte auf ihren beiden Seiten bevorzugt ebenfalls asymmetrisch angeordnet sein. Da der Temperaturabfall auf einer Seite viel größer ist als auf der anderen, sollte bevorzugt auch die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstand a_{sub} der Subkontakte auf dieser Seite von der Mitte des Emitters ausgehend größer sein.

[0034] Für ein Randemitter sollte die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} der Subkontakte von der Mitte zum äußeren Rand des Emitters, wo der Temperaturabfall höher ist, bevorzugt mindestens 20 % betragen, während die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} der Subkontakte auf der anderen Seite des Emitters, wo der Temperaturabfall geringer ist, bevorzugt kleiner sein sollte. Solche inhomogenen Subkontakte mit einer asymmetrischen Anordnung bezüglich der Mitte der entsprechenden Emitter sollten bevorzugt in den Emittlern in der Nähe der Ränder bzw. Kanten des Laserbarrens verwendet werden, die in der Regel mindestens einen bis etwa 35 % der gesamten Emitter auf jeder Seite des Laserbarrens ausmachen.

[0035] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0036] Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0037] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 simulierte laterale Temperaturverteilungen in einem herkömmlichen 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse mit 8 Emittlern (Breite $W = 1100 \mu\text{m}$) bei unterschiedlicher Verlustleistung auf einem Kühlkörper mit einem thermischen Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05 \text{ K/W}$;

Fig. 2 (a) simulierte laterale Temperaturverteilungen entlang eines einzelnen Emitters (Breite

$W = 1100 \mu\text{m}$) in einem 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse mit thermischen Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05 \text{ K/W}$ bei 0,6 kW und 1,0 kW Betriebsleistung und einem Emitterabstand von $d = 255 \mu\text{m}$ (7 Emitter, stärkere thermische Linse) und $d = 65 \mu\text{m}$ (8 Emitter, schwächere thermische Linse) sowie (b) die gemessenen lateralen Fernfeld-Divergenzwinkel von einzelnen Emittlern in einem 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse mit thermischen Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05 \text{ K/W}$ und deren Abhängigkeit von der Betriebsleistung bis 1 kW ($d = 255 \mu\text{m}$ mit einem breiteren lateralen Fernfeld und $d = 65 \mu\text{m}$ mit einem schmaleren lateralen Fernfeld);

Fig. 3 eine schematische Darstellung zur Ausbildung von Substrukturen mit herkömmlicher homogener sowie erfindungsgemäßer inhomogener Substrukturverteilung;

Fig. 4 simulierte Temperaturverteilungen innerhalb eines Emitters (Breite $w = 1100 \mu\text{m}$) in einem 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse (8 Emitter) bei 1 kW Betriebsleistung auf einem Kühlkörper mit einem thermischen Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05 \text{ K/W}$, passend zu einem mittleren Emitter mit (a) herkömmlicher homogener und (b) erfindungsgemäßer symmetrisch-inhomogener Substrukturverteilung, als auch passend zu einem Randemitter mit (c) herkömmlicher homogener und (d) erfindungsgemäßer asymmetrisch-inhomogener Substrukturverteilung;

Fig. 5 Darstellungen zu gemessenen (a) Ausgangsleistungen, Spannungen und Konversionseffizienzen in Abhängigkeit vom Betriebsstrom und (b) Fernfeld-Divergenzwinkel bei unterschiedlichen Betriebsleistungen für einen 1-cm-Laserbarren der kW-Klasse mit konventioneller homogener Substrukturverteilung und zwei verschiedene Varianten eines 1-cm-Diodenlaserbarrens der kW-Klasse mit erfindungsgemäßer inhomogener Substrukturverteilung bei geringer Wärmelast (thermischer Widerstand $R_{\text{th}} = 0,02 \text{ K/W}$) sowie (c), (d) die entsprechenden Messungen bei hoher Wärmelast (thermischer Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05 \text{ K/W}$).

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0038] **Fig. 1** zeigt simulierte Temperaturverteilungen in einem herkömmlichen 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse mit 8 Emittlern (Breite $W = 1100 \mu\text{m}$) bei unterschiedlicher Verlustleistung, die auf einem Kühlkörper mit einem thermischen Widerstand von $R_{\text{th}} = 0,05 \text{ K/W}$ montiert ist. Insbesondere handelt es sich hierbei um einen GaAs-basierten Halbleiterlaser. Der thermische Widerstand betrifft die Veränderung der mittleren Temperatur der aktiven Zone bezogen auf die gesamte gepumpte Fläche des Laserbarrens mit zunehmender Verlustleistung (Wärme). Um eine Anregung unerwünschter

lateralen Moden zu vermeiden, haben die einzelnen Emittler des Laserbarrens homogen substrukturierte Kontaktschichten, wobei in der lediglich beispielhaft gezeigten Simulation die strukturierten Bereiche einzelne Subkontakte mit jeweils einer Breite von $20\ \mu\text{m}$ und einen gegenseitigen Abstand von $9\ \mu\text{m}$ (entspricht einer Periode p_{sub} von $29\ \mu\text{m}$) aufwiesen. Die mittleren 6 Emittler (Emittler 2 bis 7) des Laserbarrens zeigen symmetrische und weitgehend identische Temperaturverteilungen, während sich an den äußeren Randemittern (Emittler 1 und 8) des Laserbarrens asymmetrische Temperaturverteilungen mit einer deutlich verringerten Temperatur zu den Rändern des Emittlers hin zeigen. Bei einer Betriebsleistung von $1\ \text{kW}$ (entsprechend einer Verlustleistung von etwa $603\ \text{W}$) beträgt die Temperaturabweichung ΔT zwischen dem Zentrum der mittleren Emittler und ihren Rändern $4,4\ \text{K}$. Bei den Randemittern steigt die Abweichung sogar auf über $10\ \text{K}$. Die daraus resultierende thermische Linse, die innerhalb der einzelnen Emittler erzeugt wird, lässt mehr Moden höherer Ordnung entstehen und verschlechtert folglich die Strahlqualität der Emittler.

[0039] Fig. 2 zeigt (a) simulierte laterale Temperaturverteilungen entlang eines einzelnen Emittlers (Breite $W = 1100\ \mu\text{m}$) in einem 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse mit thermischen Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05\ \text{K/W}$ bei $0,6\ \text{kW}$ und $1,0\ \text{kW}$ Betriebsleistung und einem Emittlerabstand von $d = 255\ \mu\text{m}$ (7 Emittler, stärkere thermische Linse) und $d = 65\ \mu\text{m}$ (8 Emittler, schwächere thermische Linse) sowie (b) die gemessenen lateralen Fernfeld-Divergenzwinkel von einzelnen Emittern in einem 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse mit thermischen Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05\ \text{K/W}$ und deren Abhängigkeit von der Betriebsleistung bis $1\ \text{kW}$ ($d = 255\ \mu\text{m}$ mit einem breiteren lateralen Fernfeld und $d = 65\ \mu\text{m}$ mit einem schmaleren lateralen Fernfeld). Daran wird die direkte Auswirkung einer reduzierten thermischen Verbiegung (Linsenausbildung) innerhalb der einzelnen Emittler des Laserbarrens auf die Fernfelddivergenz erkennbar. Bei dem Laserbarren mit dem kleineren Emittlerabstand haben die Emittler untereinander eine stärkere thermische Wechselwirkung, was einen signifikanten Temperaturabfall im ungepumpten Bereich zwischen den Emittern verhindert und somit eine flachere Temperaturverteilung im Vergleich zu den Emittlern im Laserbarren mit dem größeren Emittlerabstand bewirken sollte. Dies wird durch die gezeigte Simulation bestätigt (Fig. 2(a)). Die verringerte thermische Linse innerhalb des Emittlers verringert die Anzahl und den Divergenzwinkel der lateralen Moden und reduziert den Gesamtstrahldivergenzwinkel deutlich (Fig. 2(b)), obwohl die Randemitter (in der Abbildung mit einem Kreis markiert) immer noch eine vergleichbare Strahldivergenz aufweisen wie die Emittler im Laserbarren mit dem größeren Abstand.

[0040] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung zur Ausbildung eines strukturierten Bereichs 14 mit herkömmlicher homogener sowie erfindungsgemäßer inhomogener Substrukturverteilung. Die Kontaktbereiche werden hierbei jeweils durch eine metallische Kontaktschicht 10 zur flächigen Kontaktierung einer darunter befindlichen Halbleiterkontaktschicht 12 einer Epitaxieschicht ausgebildet. In der Halbleiterkontaktschicht 12 ist zur räumlichen Aufspaltung eines über die metallische Kontaktschicht 10 zuführbaren Betriebsstroms ein strukturierter Bereich 14 mit einzelnen Subkontakten 16 unterhalb der metallischen Kontaktschicht 10 ausgebildet. Die einzelnen Subkontakte 16 eines Breitstreifen-Laseremitters bilden dabei eine Substrukturverteilung aus. Die gezeigten strukturierten Bereiche 14 sind beispielhaft als Teil eines Laserbarrens mit einer Vielzahl von nebeneinander angeordneten Breitstreifen-Laseremittern dargestellt. Bei dem gezeigten Kontaktbereich mit homogener Substrukturverteilung gemäß Stand der Technik sind die Breite w_{sub} und der Abstand a_{sub} der einzelnen Subkontakte 16 des strukturierten Bereichs 14 in der Halbleiterkontaktschicht 12 unterhalb der metallischen Kontaktschicht 10 in lateraler Richtung (langsame Achse) jeweils konstant. Bei dem gezeigten erfindungsgemäßen Kontaktbereich mit inhomogener Substrukturverteilung hingegen variiert die Breite w_{sub} und/oder der Abstand a_{sub} der einzelnen Subkontakte 16 des strukturierten Bereichs 14 in der Halbleiterkontaktschicht 12 unterhalb der metallischen Kontaktschicht 10 in lateraler Richtung (langsame Achse). Eine erfindungsgemäße inhomogene Substrukturverteilung kann vorzugsweise durch Strukturierung des Widerstands der Halbleiterkontaktschicht 12 mittels Implantierung oder Dotierung von Fremdatomen, oder durch Implementierung von p-n-Übergängen oder Schichten mit breiter Bandlücke erfolgen. Vorzugsweise kann es sich bei den ungepumpten Bereichen 18 zwischen den einzelnen Subkontakten 16 daher um Ionen-Implantationsbereiche handeln.

[0041] Die einzelnen Breitstreifen-Laseremitter des gezeigten Laserbarrens sind jeweils durch Trennungsbereiche 20 voneinander abgegrenzt. Diese können durch entsprechende Strukturierung der Epitaxieschichten, beispielsweise mittels Tiefenimplantation oder eine entsprechende Dotierung mit Fremdatomen, zur Erhöhung des elektrischen Widerstands in diesen Bereichen sowie durch geätzte Trenngräben zur optischen Isolation zwischen den einzelnen Emittlern ausgebildet sein. Die Trennungsbereiche 20 können sich dabei über die Halbleiterkontaktschicht 12 bis in darunterliegende Epitaxieschichten erstrecken.

[0042] Die Figur zeigt weiterhin beispielhaft ein epitaktisches Schichtsystem wie es typischerweise zum Aufbau von Breitstreifen-Laseremittern bzw. von entsprechenden Laserbarren verwendet wird. Dieses

umfasst eine auf einem n-dotierten Substrat 26 aufgewachsene Abfolge umfassend eine n-dotierte Mantelschicht 25, eine n-dotierte Wellenleiterschicht 24, eine p-dotierte Wellenleiterschicht 22 und eine p-dotierte Mantelschicht 21. Zwischen der n-dotierten Wellenleiterschicht 24 und der p-dotierten Wellenleiterschicht 22 ist eine aktive Schicht 23 ausgebildet. Die Halbleiterkontaktschicht 12 ist oberhalb der p-dotierten Mantelschicht 21 angeordnet und trennt diese von der metallischen (p-seitigen) Kontaktschicht 10. Eine elektrische Kontaktierung des n-dotierten Substrats 26 kann über eine zusätzliche n-Kontaktschicht 27 (Metallkontakt) erfolgen.

[0043] Fig. 4 zeigt simulierte Temperaturverteilungen innerhalb eines Emitters (Breite $w = 1100 \mu\text{m}$) in einem 1-cm-Diodenlaserbarren der kW-Klasse (8 Emitter) bei 1 kW Betriebsleistung auf einem Kühlkörper mit einem thermischen Widerstand $R_{\text{th}} = 0.05 \text{ K/W}$, passend zu einem mittleren Emitter mit (a) herkömmlicher homogener und (b) erfindungsgemäßer symmetrisch-inhomogener Substrukturverteilung, als auch passend zu einem Randemitter mit (c) herkömmlicher homogener und (d) erfindungsgemäßer asymmetrisch-inhomogener Substrukturverteilung. Die Breiten w_{sub} der einzelnen Subkontakte sind dabei in den entsprechenden Insets dargestellt. Die Temperaturabweichung ΔT in der erfindungsgemäßen Struktur sinkt auf 0,6 K und ist damit 7-mal niedriger als bei der Grundstruktur mit herkömmlicher homogener Substrukturverteilung. Aufgrund der stärker asymmetrischen Temperaturverteilung in den Randemittern, wird in diesen vorzugsweise eine asymmetrische Substrukturierung mit noch breiteren Subkontakten als bei dem mittleren Emitterstrukturen verwendet (vgl. Fig. 4(a), 4(c) und 4(b), 4(d)). Dies reduziert die nachteilige Temperaturabweichung ΔT in den Randemittern auf $\pm 1,6 \text{ K}$, was eine mehr als 5-fache Verbesserung gegenüber der Grundstruktur darstellt.

[0044] Fig. 5 zeigt Darstellungen zu gemessenen (a) Ausgangsleistungen, Spannungen und Konversionseffizienzen in Abhängigkeit vom Betriebsstrom und (b) Fernfeld-Divergenzwinkel bei unterschiedlichen Betriebsleistungen für einen 1-cm-Laserbarren der kW-Klasse mit konventioneller homogener Substrukturverteilung und zwei verschiedene Varianten eines 1-cm-Diodenlaserbarrens der kW-Klasse mit erfindungsgemäßer inhomogener Substrukturverteilung bei geringer Wärmelast (thermischer Widerstand $R_{\text{th}} = 0,02 \text{ K/W}$) sowie (c), (d) die entsprechenden Messungen bei hoher Wärmelast (thermische Widerstand $R_{\text{th}} = 0,05 \text{ K/W}$). Für diese Untersuchungen wurden zwei verschiedene Varianten von Laserbarren mit einer Vielzahl von Emittlern, die eine erfindungsgemäße inhomogene Substrukturverteilung (d. h. eine erfindungsgemäßen Kontaktbereich) aufweisen, hergestellt und anschließend bei unterschiedlicher Wärmelast, die praktisch durch

eine Variation der Einschaltdauer erreicht wurden, betrieben. Die Substrukturverteilungen der Variante A entsprechen der in den Fig. 4(b) und 4(d) beschriebenen Ausführungsform. Bei der Variante B sind die Breiten der Substrukturen w_{sub} um $5 \mu\text{m}$ vergrößert, ohne eine Variation in der Periode p_{sub} . Zum Vergleich wurde weiterhin eine Grundstruktur mit homogener Substrukturverteilung entsprechend der in den Fig. 4(a) und 4(c) beschriebenen Ausführungsform untersucht.

[0045] Die sich erfindungsgemäß durch die inhomogene Substrukturverteilung ergebenden Vorteile sind hierbei über den gesamten untersuchten Betriebsbereich zu beobachten. Bei geringer Wärmelast weist Variante A zwar einen etwas geringeren Wirkungsgrad auf (z. B. $\approx 2 \%$ Wirkungsgradabfall bei 0,8 kW), Variante B mit erhöhtem Füllfaktor F bietet jedoch einen ähnlichen Wirkungsgrad wie die Grundstruktur. Darüber hinaus erzeugen beide Varianten einen engeren Divergenzwinkel als die Grundstruktur. Bei hoher Wärmelast liefern beide Varianten über den gesamten Betriebsbereich eine höhere Ausgangsleistung und eine geringere Strahldivergenz als die Grundstruktur. Insbesondere ergibt sich ein größerer Vorteil bei der höheren Betriebsleistung, was eine bis zu 2° geringere Strahldivergenz zur Folge hat. Der höchste Wirkungsgrad wird hierbei mit den Substrukturverteilungen der Variante B aufgrund eines besonders flachen Temperaturprofils und größerem Füllfaktor F (kleinerer elektrische Widerstand) erreicht.

Bezugszeichenliste

10	metallische Kontaktschicht (z. B. Au Kontaktschicht)
12	Halbleiterkontaktschicht (z. B. p-dotierte Halbleiterkontaktschicht)
14	strukturiertes Bereich (der Halbleiterkontaktschicht, z. B. durch flache Implantation von Ionen ausgebildet)
16	Subkontakte (durch die Struktur des strukturierten Bereichs ausgebildet)
18	ungepumpter Bereich (zwischen den einzelnen Subkontakten)
20	Trennungsbereiche (zwischen benachbarten Breitstreifen-Laseremittern eines Laserbarrens, z. B. durch tiefe Implantation oder geätzte Trenngräben ausgebildet)
21	p-dotierte Mantelschicht
22	p-dotierte Wellenleiterschicht
23	aktive Schicht
24	n-dotierte Wellenleiterschicht

- 25 n-dotierte Mantelschicht
- 26 n-dotiertes Substrat
- 27 n-Kontaktschicht (Metallkontakt)

Patentansprüche

1. Laserbarren, umfassend eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Breitstreifen-Laseremittern, wobei mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter einen Kontaktbereich mit folgenden Merkmalen aufweist:

eine Halbleiterkontaktschicht (12) einer Epitaxieschicht des Breitstreifen-Laseremitters, und eine metallische Kontaktschicht (10) zur flächigen Kontaktierung der Halbleiterkontaktschicht (12), wobei in der Halbleiterkontaktschicht (12) zur räumlichen Aufspaltung eines über die metallische Kontaktschicht (10) zuführbaren Betriebsstroms ein strukturierter Bereich (14) mit einzelnen Subkontakten (16) unterhalb der metallischen Kontaktschicht (10) ausgebildet ist,

wobei die Breite w_{sub} und/oder der Abstand a_{sub} der einzelnen Subkontakte (16) in einer lateralen Richtung des Breitstreifen-Laseremitters variiert, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter mit besagtem Kontaktbereich im Randbereich des Laserbarrens angeordnet ist und die einzelnen Subkontakte (16) des Breitstreifen-Laseremitters in lateraler Richtung asymmetrisch bezüglich der Mitte des strukturierten Bereichs (14) ausgebildet sind.

2. Laserbarren nach Anspruch 1, wobei sich der Kontaktbereich über eine laterale Streifenbreite $W \geq 150 \mu\text{m}$ erstreckt.

3. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Breite eines Subkontakts (16) $w_{\text{sub}} \leq 200 \mu\text{m}$ ist.

4. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstand zwischen benachbarten Subkontakten (16) $a_{\text{sub}} \leq 50 \mu\text{m}$ ist, wobei der Abstand a_{sub} vorzugsweise größer als $1 \mu\text{m}$ ist.

5. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Periode der Subkontakte (16) p_{sub} um weniger als 10% variiert oder die Periode der Subkontakte (16) p_{sub} konstant ist.

6. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Füllfaktor F der strukturierten Kontaktschicht (14) zwischen 30 % und 95 % liegt.

7. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Breite der Subkontakte (16) w_{sub} zu den Rändern hin zunimmt und/oder der Abstand der Subkontakte (16) a_{sub} zu den Rändern hin abnimmt, wobei die Variation der Breite w_{sub}

und/oder des Abstands a_{sub} von der Mitte des strukturierten Bereichs (14) zu dessen Ränder hin vorzugsweise mindestens 10 % beträgt.

8. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Breite w_{sub} und/oder der Abstand a_{sub} der Subkontakte (16) zusätzlich in einer longitudinalen Richtung von einer Vorderseite des Breitstreifen-Laseremitters zu einer Rückseite des Breitstreifen-Laseremitters variiert.

9. Laserbarren nach Anspruch 8, wobei die Breite der Subkontakte (16) w_{sub} in der longitudinalen Richtung zunimmt und/oder der Abstand der Subkontakte (16) a_{sub} in der longitudinalen Richtung abnimmt, wobei die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} von der Vorderseite des Breitstreifen-Laseremitters zur Rückseite des Breitstreifen-Laseremitters vorzugsweise mindestens 10 % beträgt.

10. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Kontaktbereich durch Strukturierung des Widerstands der Halbleiterkontaktschicht (12) mittels Implantierung oder Dotierung von Fremdatomen, oder durch Implementierung von p-n-Übergängen oder Schichten mit breiter Bandlücke erzeugt ist.

11. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens ein Breitstreifen-Laseremitter einer zweiten Art mit einem Kontaktbereich gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 im mittleren Bereich des Laserbarrens angeordnet ist und die einzelnen Subkontakte (16) des Breitstreifen-Laseremitters der zweiten Art in lateraler Richtung symmetrisch bezüglich der Mitte des strukturierten Bereichs (14) ausgebildet sind.

12. Laserbarren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Variation der Breite w_{sub} und/oder des Abstands a_{sub} der Subkontakte (16) von der Mitte des strukturierten Bereichs (14) in Richtung des mittleren Bereichs des Laserbarrens geringer ist als in Richtung der Ränder des Laserbarrens, wobei der Unterschied in der Variation vorzugsweise mindestens 10 % beträgt.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

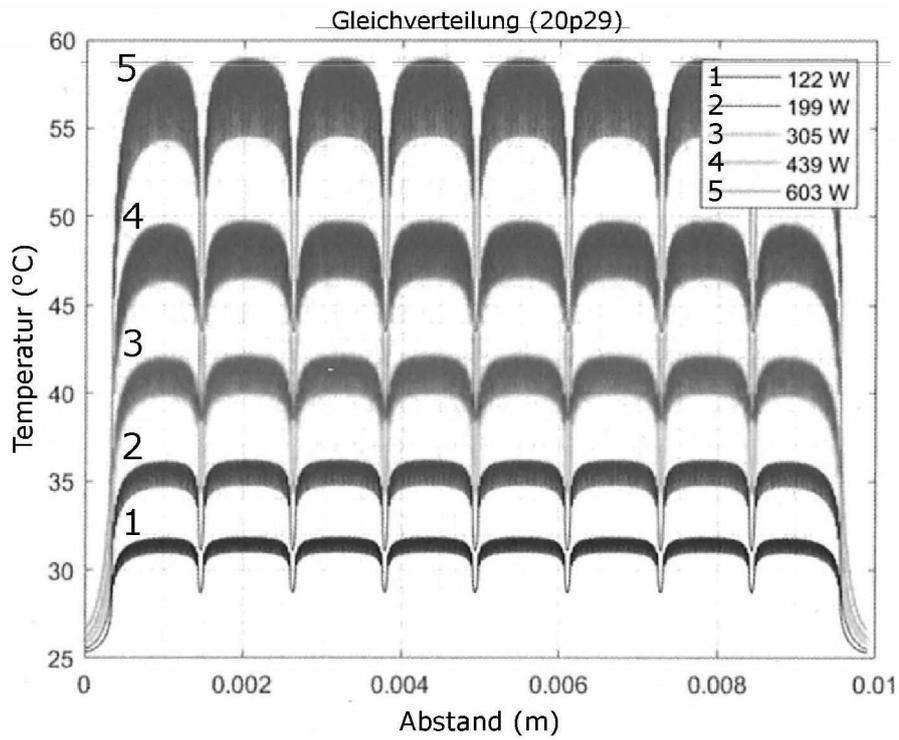


FIG. 1 Stand der Technik

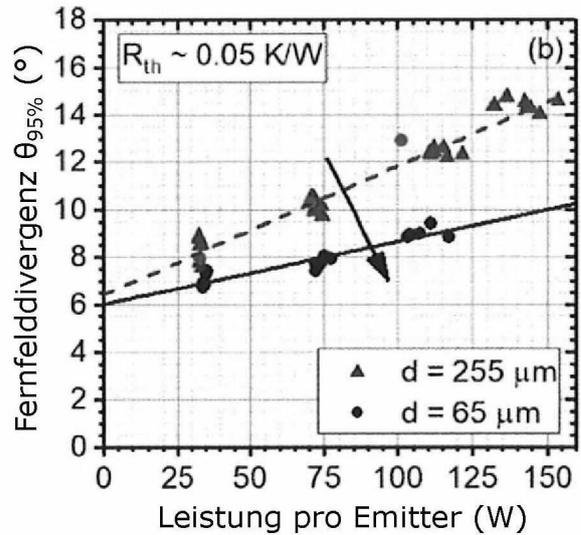
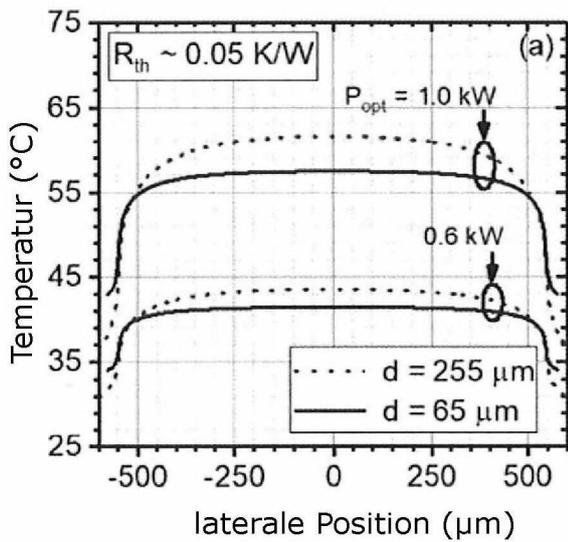


FIG. 2

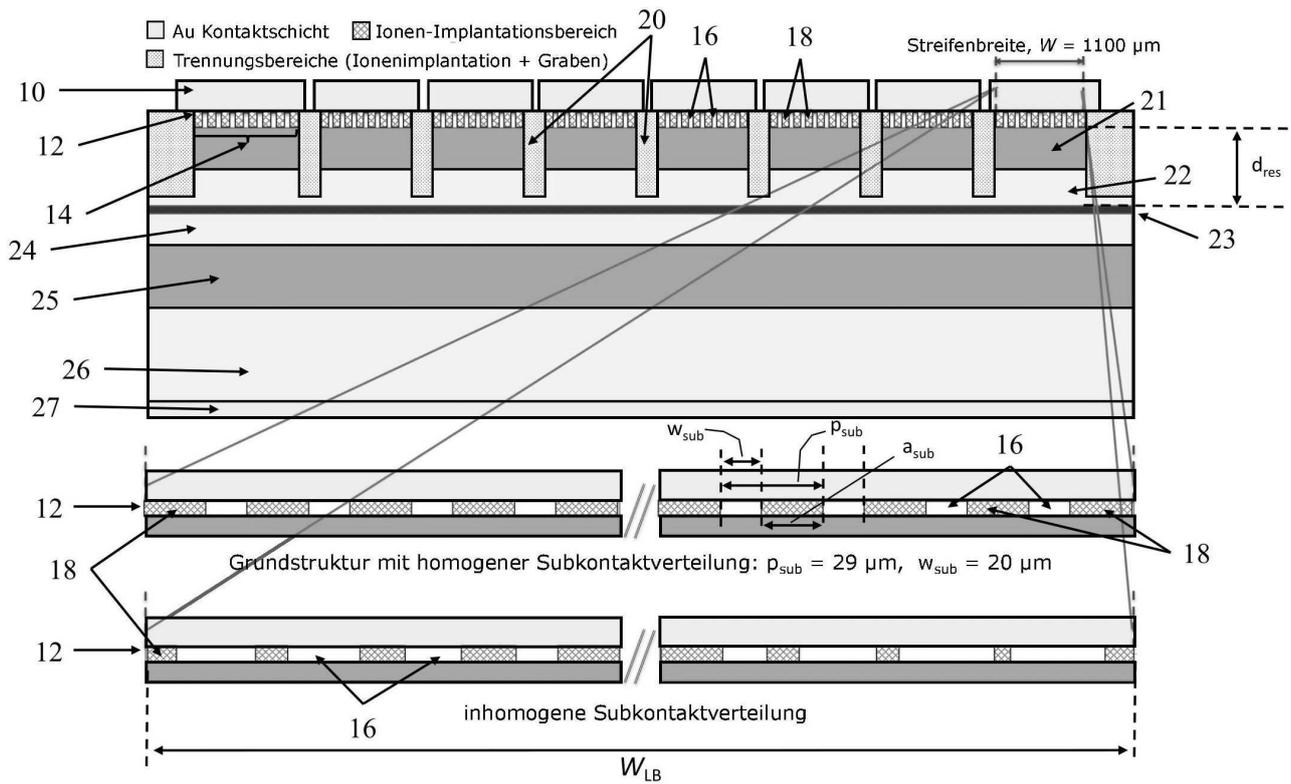


FIG. 3

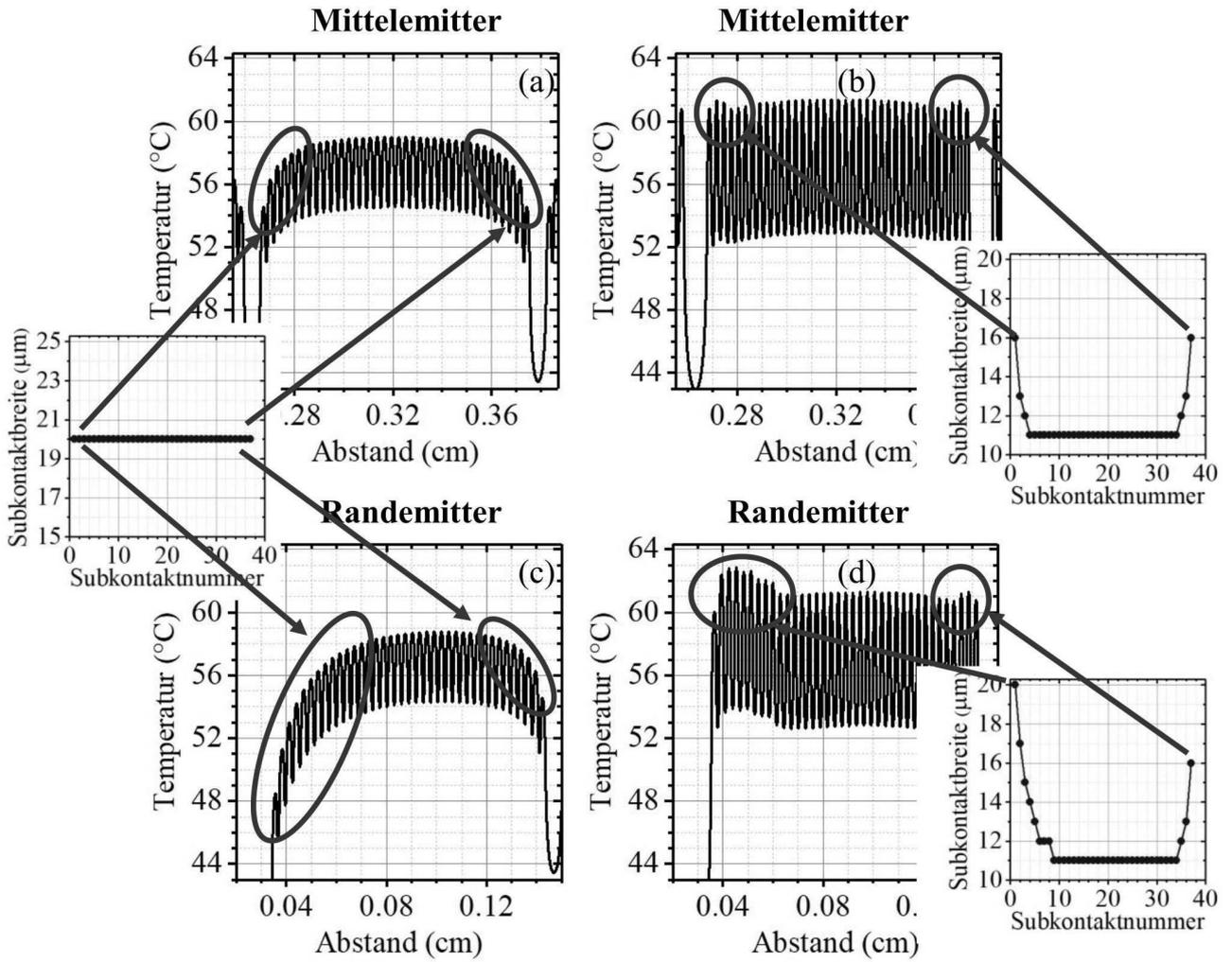


FIG. 4

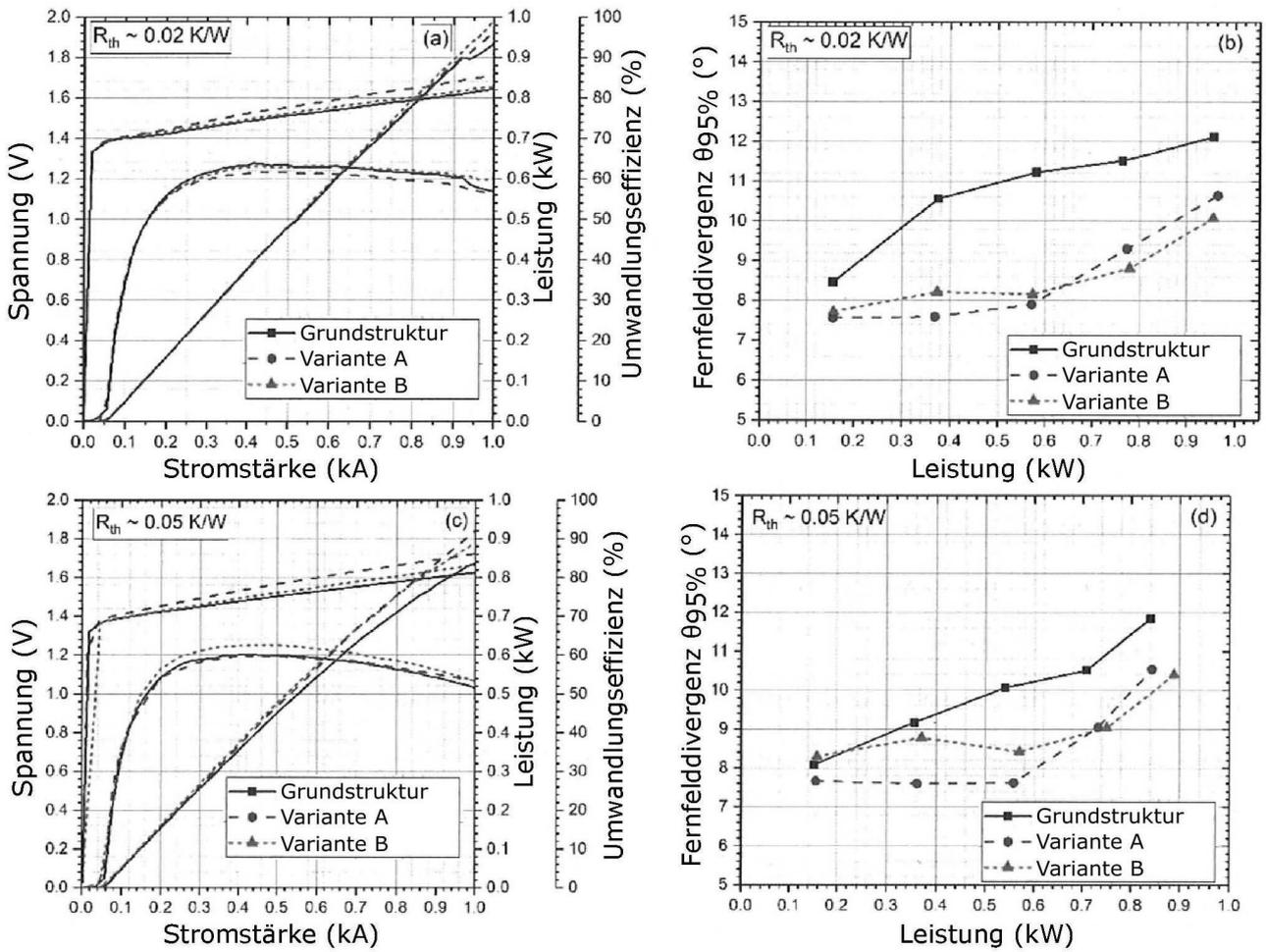


FIG. 5