

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
23. Juli 2015 (23.07.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/106972 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 5/024 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/000092

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Januar 2015 (20.01.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 000 510.0
20. Januar 2014 (20.01.2014) DE

(71) Anmelder: JENOPTIK LASER GMBH [DE/DE];
Göschwitzer Strasse 29, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: WOLF, Jürgen; Rabis 27, 07646 Schlöben
(DE). SCHRÖDER, Matthias; Schillerstraße 32, 07646
Stadtroda (DE). HENNIG, Petra; Am Räderweg 18,
07646 Mörsdorf (DE).

(74) Anwalt: WALDAUF, Alexander; JENOPTIK AG, Carl-
Zeiss-Strasse 1, D-07743 Jena (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LASER WITH ANISOTROPIC HEAT DISSIPATION

(54) Bezeichnung : HALBLEITERLASER MIT ANISOTROPER WÄRMEABLEITUNG

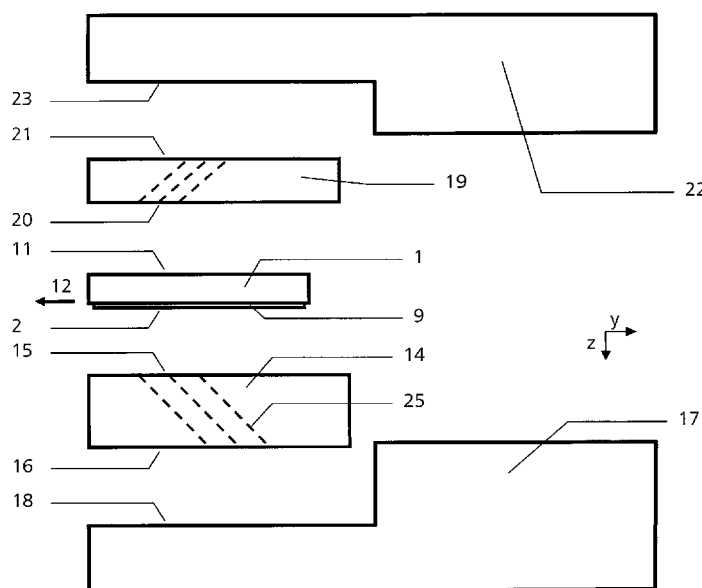


Fig. 9

(57) Abstract: The invention relates to a semiconductor laser comprising: a laser element (1); a first heat spreading body (14) with anisotropic heat conductivity having the lowest heat conductivity in a direction z' ; and a first heat sink (17) wherein the laser element has a first contact surface (2) that is in thermal contact with a heat inlet surface of the first heat spreading body, wherein the heat inlet surface (15) of the first heat spreading body has a first surface normal n , and wherein the first heat spreading body also has a heat outlet surface (16) that is in thermal contact with a heat-absorbing surface (18) of the first heat sink. According to the invention, a direction z' of the lowest heat conductivity of the first heat spreading body comprises a first angle α of greater than 5° in relation to the surface normal n of the heat inlet surface of the first heat spreading body.

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der Erfindung ist ein Halbleiterlaser, umfassend ein Laserelement (1), einen ersten Wärmespreizkörper (14) mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit, die eine Richtung z' die geringsten Wärmeleitfähigkeit aufweist, und eine erste Wärmesenke (17), wobei das Laserelement eine erste

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



-
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Kontaktfläche (2) aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers steht und die Wärmeeintrittsfläche (15) des ersten Wärmespreizkörpers eine erste Flächennormale n hat und der erste Wärmespreizkörper weiterhin eine Wärmeaustrittsfläche (16) aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeaufnahme­fläche (18) der ersten Wärmesenke steht. Erfindungsgemäß schließt eine Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers einen ersten Winkel α von mehr als 5° zur Flächennormalen n der Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers ein.

Halbleiterlaser mit anisotroper Wärmeableitung

Die Erfindung betrifft einen Halbleiterlaser, der bevorzugt als Diodenlaserbarren mit einem oder mehreren Emittern ausgeführt sein kann und mit Maßnahmen ausgestattet ist, die eine effiziente
5 Ableitung der Abwärme gestatten und zudem eine verbesserte elektrische Kontaktierung gewährleisten.

Stand der Technik

In der Literatur sind zahlreiche Maßnahmen zur Kühlung von Diodenlaserbarren beschrieben, bei
10 denen Elemente vorhanden sind, die gleichzeitig zur Stromzuführung und zur Wärmeableitung dienen.

Bekannt ist die isotrope Wärmespreizung mit Metallkörpern zum Beispiel aus DE 10 2008 026 229 A1 und aus US 8,486,766 B1. Die Wärmespreizkörper dienen dabei gleichzeitig als elektrische
15 Kontaktelemente. Dazu werden Wärmespreizkörper aus Metallen wie beispielsweise Kupfer oder Wolframkupfer verwendet. Ebenso sind metallbeschichtete Keramikkörper bekannt. Solche Wärmespreizkörper aus Metall oder Keramik weisen eine geringe Elastizität auf, so dass mechanische Spannungen im Laserelement auftreten können. Außerdem ist die Wärmeleitfähigkeit begrenzt. Kupfer hat beispielsweise eine Wärmeleitfähigkeit von weniger als $400 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Zur Verminderung
20 mechanischer Verspannungen muss zudem oftmals eine duktile Indiumschicht vorgesehen werden. Eine Indiumbeschichtung ist aufwendig und teuer.

Weiterhin ist aus US 8,340,144B1 die Montage von Diodenlaserelementen mit pyrolytischer
25 Karbonfolie bekannt. Pyrolytische Karbonfolie enthält hochgradig orientiertes Grafit, welches so orientiert ist, dass die c-Richtung der Grafitstruktur in Richtung der Oberflächennormale zeigt. Unter der c- Richtung wird im Folgenden die Richtung verstanden, in der das Grafit die geringste Wärmeleitfähigkeit aufweist. Zur c-Richtung senkrecht kann man eine a-Richtung definieren, und zu a und c senkrecht eine b-Richtung. Es ist bekannt, dass Grafit eine hexagonale Kristallstruktur aufweist, die in der ab-Ebene, welche auch als Basalebene bezeichnet wird, eine gleichmäßig sehr hohe
30 Wärmeleitfähigkeit aufweist. Als ab-Ebene wird die Ebene bezeichnet, in der die hexagonalen Ringe aus Kohlenstoffatomen liegen, also die Lage der Graphenschichten. Da die c-Richtung der Grafitbestandteile hochgradig in Richtung der Oberflächennormalen der Karbonfolie orientiert ist, ist die Karbonfolie in der Richtung der Oberflächennormalen, d.h. durch die Dicke d der Folie, schlecht wärmeleitfähig. Diese Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit wird im Folgenden als z'-Richtung
35 bezeichnet. Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass darunter zu verstehen ist, dass es sich um

die Vorzugsrichtung der Grafitbestandteile handelt. Bei der genannten Montagetechnologie nach US 8,340,144 B1 ist nachteilig, dass eine Wärmespreizung hauptsächlich in der Folienebene erfolgt und der Wärmedurchgang durch die Folie schlecht ist, da diese Richtung der c-Richtung des Grafits entspricht. Außerdem ist die elektrische Leitfähigkeit der Karbonfolie in der c-Richtung ebenfalls
5 schlecht. Da der Stromfluss zum Laserelement über die Karbonfolie erfolgt, tritt ein Spannungsabfall über der Dicke der Karbonfolie auf, der zu einer erhöhten elektrischen Verlustleistung führt. Daher entsteht unnötig viel Abwärme. Als Gegenmaßnahme wird die Karbonfolie möglichst dünn gewählt, beispielsweise 25 µm. Dabei ist aber auch der gewünschte Effekt der Wärmespreizung suboptimal gering ausgeprägt. Außerdem ist vorgesehen, die Grafitfolie bei der Montage des Lasers
10 zusammenzudrücken. Die Kompressibilität der Karbonfolie ist aber eine schlecht reproduzierbare Eigenschaft. Es kann zu einer Verbiegung des Laserbarrens kommen, ein Effekt der in der Literatur als „smile“ bezeichnet wird. Außerdem kann die Langzeitstabilität der Lage der Emmitter mangelhaft sein, wenn die Folie über einen längeren Zeitraum Setzungserscheinungen zeigt. Wegen dieser Unbestimmtheiten ist es schwierig, die Laserstrahlung einem optischen System zuzuführen.

15 Aus US 2011/0133236A1 ist ein lichtemittierendes Bauteil bekannt, das eine Schicht aus anisotropem Grafit enthält. Diese Grafitschicht ist so orientiert, dass die c-Richtung, d. h. die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit in Richtung der Oberflächennormalen ausgerichtet ist. Bei dieser Montagetechnologie ist nachteilig, dass eine Wärmespreizung hauptsächlich in der Schichtebene
20 erfolgt und der Wärmedurchgang durch die Grafitschicht schlecht ist, da diese Richtung der c-Richtung des Grafits entspricht. Außerdem ist die elektrische Leitfähigkeit der Grafitschicht in der c-Richtung ebenfalls schlecht. Da der Stromfluss zum Laserelement über die Grafitschicht erfolgt, tritt ein Spannungsabfall über der Dicke der Grafitschicht auf, der zu einer erhöhten elektrischen Verlustleistung führt. Daher entsteht unnötig viel Abwärme.

25 Aus DE 10 2011 055 891 A1 ist eine Halbleiterlaserdiode mit einer strukturierten Metallisierungsschicht bekannt. Durch die Strukturierung der Metallisierungsschicht wird eine Wärmeableitung ermöglicht, die entlang einer longitudinalen oder lateralen Richtung variiert. Das Metall als Schichtmaterial hat dabei eine materialbedingt isotrope Wärmeleitfähigkeit. Durch die
30 Strukturierung lässt sich in bestimmten Bereichen bzw. Richtungen die Wärmeleitfähigkeit herabsetzen. Das hat den Nachteil, dass die Wärmeableitung insgesamt verschlechtert wird. Die thermische Anbindungsfläche des Diodenlaserbarrens kann verkleinert sein, was die Leistungsfähigkeit des Bauteils einschränkt. Außerdem ist die Strukturierung aufwendig und erfordert zusätzliche Prozessschritte in der Halbleiterfertigung.

Aufgaben der Erfindung sind die Angabe eines Verfahrens zur effizienten Abführung der Abwärme eines Halbleiterlasers sowie die Angabe eines Halbleiterlasers mit effizienter Abführung der Abwärme. Eine weitere, gleichermaßen wichtige Aufgabe besteht darin, eine effiziente Stromzuführung zum Halbleiterlaser zu gewährleisten. Darüber hinaus soll das Laserelement möglichst geringe mechanische Spannungen aufweisen. Außerdem kann die Aufgabe der Erfindung zusätzlich die Gestaltung der Temperaturverteilung im Halbleiterchip umfassen, so dass die Ausbildung thermischer Linsen im Halbleiterlaser minimiert ist. Außerdem soll der Halbleiterlaser langzeitstabil sein. Ein Verfahren zur Herstellung des Wärmespreizkörpers ist anzugeben, welches eine hohe Langzeitstabilität beim Einsatz im Halbleiterlaser ermöglicht.

10

Die Aufgabe wird gelöst durch einen Halbleiterlaser, umfassend ein Laserelement, einen ersten Wärmespreizkörper mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit, die in einer Richtung z' eine geringste Wärmeleitfähigkeit aufweist, und eine erste Wärmesenke, wobei das Laserelement eine erste Kontaktfläche aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers steht und die Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers eine erste Flächennormale n hat und der erste Wärmespreizkörper weiterhin eine Wärmeaustrittsfläche aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeaufnahme­fläche der ersten Wärmesenke steht. Erfindungsgemäß schließt eine Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers einen ersten Winkel α von mehr als 5° zur Flächennormalen n der Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers ein.

20

Die Lösung der Aufgabe umfasst weiterhin ein Verfahren zur Wärmeableitung von einem Laserelement mittels eines Wärmespreizkörpers mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit, welcher eine Wärmeeintrittsfläche mit einer Flächennormale n aufweist. Bei diesem Verfahren ist die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des Wärmespreizkörpers in einem Winkel von mehr als 5° zur Flächennormale n angeordnet.

25

Die Lösung der Aufgabe umfasst weiterhin ein Verfahren zur Verminderung oder Beseitigung der Kompressibilität von pyrolytischem Grafit mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit zur Verwendung als Wärmespreizkörper mit folgenden Schritten:

30

Herstellung des pyrolytischen Grafit mit zwei parallelen Oberflächen,

Aufbringen eines uniaxialen statischen oder dynamischen Drucks von einer zur anderen Oberfläche des pyrolytischen Grafits,

Wegnahme des uniaxialen Drucks

35

Herstellung des Wärmespreizkörpers mit einer Wärmeeintragsfläche aus dem pyrolytischen Grafit

wobei das Maximum des uniaxialen statischen oder dynamischen Drucks die durch einen Kraftschluss auf die Wärmeeintragsfläche eingetragene Druckkraft um wenigstens das Dreifache übersteigt.

Die Erfindung ermöglicht die effiziente Abführung der Abwärme eines Halbleiterlasers. Im Falle eines elektrisch gepumpten Halbleiterlasers (Diodenlaser) ist dabei gleichzeitig eine effiziente Stromzuführung zum Halbleiterlaser gewährleistet. Die elektrische Verlustleistung des Diodenlasers ist gegenüber bekannten Verfahren zur Montage mit grafithaltigen Wärmeleitfolien vermindert. Das Laserelement weist nur geringe mechanische Spannungen auf. Außerdem kann die Temperaturverteilung im Halbleiterchip optimiert werden. Dadurch kann auch die Divergenz der Laserstrahlung in der Wellenleiterebene, die auch als „slow axis“ Divergenz bezeichnet wird, verringert werden. Gegenüber bekannten Verfahren, die eine strukturierte Schicht aus isotropem Material zur Wärmeableitung verwenden, wird durch die erfindungsgemäße Verwendung des anisotropen Materials eine Verschlechterung der Wärmeableitung vermieden.

Das Laserelement kann in bekannter Weise als Kantenemitter ausgeführt sein. Das Laserelement kann einen oder mehrere Gewinnbereiche (gain region) umfassen, in denen eine optische Verstärkung stattfindet, die zur Entstehung von Laserstrahlung führt. Diese Gewinnbereiche können elektrisch gepumpt sein. Wenn mehrere Gewinnbereiche vorhanden sind, können diese parallel zueinander angeordnet sein. Das Laserelement kann so ausgebildet sein, dass in den Gewinnbereichen nur für Photonen in einer bestimmten Richtung eine Verstärkung stattfindet, die als longitudinale Richtung bezeichnet wird. Die Laserstrahlung im Laserelement weist also eine longitudinale Richtung y auf, die dadurch festgelegt ist, dass nur für Photonen, die sich in dieser Richtung oder in der entgegengesetzten Richtung $-y$ ausbreiten, eine Verstärkung stattfindet, die zur Entstehung von Laserstrahlung führt. In anderer Richtung laufende Strahlung wird in geringerem Maße oder gar nicht verstärkt und/oder aus dem Resonator ausgekoppelt. Das Laserelement kann ein gewinngeführtes (gain guided) Laserelement sein. Die Gewinnbereiche können seitlich, d. h. transversal, durch ungepumpte Bereiche begrenzt sind. Die Gewinnbereiche können elektrisch gepumpt sein. Sie können sich in einer epitaktisch auf einem Substrat hergestellten Schichtfolge befinden, wobei die Schichtfolge eine aktive Schicht (Quantengraben), die zwischen zwei Lichtführungsschichten (cladding) angeordnet ist, umfasst. Das Substrat kann beispielsweise eine Dicke zwischen $50\text{ }\mu\text{m}$ und $200\text{ }\mu\text{m}$ aufweisen, während die Schichtfolge beispielsweise zwischen $3\text{ }\mu\text{m}$ und $20\text{ }\mu\text{m}$ dick sein kann. Die Schichtfolge kann als pn-Übergang ausgeführt sein. Die Gewinnbereiche können durch eine strukturierte Isolationsschicht festgelegt sein. Nur in den Ausnahmen, in denen die Isolationsschicht durchbrochen ist, kann ein Stromfluss durch die Schichtfolge auftreten. Dadurch werden nur diese Bereiche gepumpt und können als Gewinnbereiche wirken. Die Gewinnbereiche sind also durch örtliche Verteilung des Betriebsstromes bestimmt (current confinement). Das

Laserelement kann in longitudinaler Richtung beispielsweise 0,5 mm bis 6 mm lang sein. Das Laserelement kann aber auch als Stegwellenleiter (ridge waveguide) oder als indexgeführter Laser ausgebildet sein.

5 Das Laserelement kann beispielsweise ein Diodenlaserbarren mit einem oder mehreren Emittlern sein. Die einzelnen Emittler sind dann mit Ausnahme eventuell vorhandener ungepumpter Bereiche die Gewinnbereiche des Laserelements. Gewinnbereiche sind also die Bereiche, in denen eine optische Verstärkung stattfindet, so dass Laserstrahlung entsteht. Ein Diodenlaserbarren mit nur einem Emittler wird auch als Einzelemittler bezeichnet. Der Begriff Diodenlaserbarren schließt im Folgenden
10 ausdrücklich auch Einzelemittler mit ein. Die Emittler können bevorzugt als Breitstreifenemitter ausgebildet sein. Das Laserelement, beispielsweise ein Diodenlaserbarren, kann mehrere zueinander parallele Gewinnbereiche aufweisen, wobei die einzelnen Gewinnbereiche in einer zur longitudinalen Richtung senkrechten Versatzrichtung x versetzt sein können und jeweils einen gleichen Mittenabstand p haben können. Die Breite der Gewinnbereiche kann in transversaler Richtung x
15 beispielsweise zwischen 5 μm und 200 μm betragen, während der Abstand p beispielsweise 20 μm bis 500 μm betragen kann. Die Breite des Laserelements ergibt sich aus der Anzahl und Breite der Gewinnbereiche, sowie deren Abstand zueinander. Die Breite des Laserelements in transversaler Richtung kann beispielsweise 0,5 mm bis 10 mm betragen. Das Laserelement kann bevorzugt als Kantenemitter ausgebildet sein. Die Emissionsrichtung der vom Laserelement emittierten Strahlung
20 kann der longitudinalen Richtung y der Laserstrahlung im Laserelement entsprechen. Es kann aber auch im Laserelement eine Strahlumlenkung vorgesehen sein, so dass die Richtung der Laserstrahlung außerhalb des Laserelements von der longitudinalen Richtung der Laserstrahlung im Gewinnbereich des Laserelements abweichen kann. Das Laserelement kann zusätzlich Gitterstrukturen enthalten, beispielsweise bekannte DBR- oder DFB- Gitter. Das Laserelement kann elektrisch gepumpt sein und
25 kann mit einem hohen Strom betrieben werden. Der Betriebsstrom kann beispielsweise 1 A bis 1000 A betragen. Die einzelnen Emittlerbereiche können bevorzugt als Breitstreifenemitter oder als Stegwellenleiter oder als Trapezlaser ausgebildet sein. Das Laserelement kann aber auch als vertikale Resonatorstruktur (VCSEL) ausgebildet sein.

30 Neben bzw. zwischen den Gewinnbereichen eines Laserelements können sich ungepumpte Bereiche befinden, die nicht vom Betriebsstrom durchflossen werden. Diese können beispielsweise mit einer isolierenden Maskierungsschicht abgedeckt sein.

Das Laserelement kann mit Spiegeln abgeschlossen sein, beispielweise kann sich an der rückwärtigen
35 Facette des Laserelements eine hochreflektierende Spiegelschicht angebracht sein und an der gegenüberliegenden austrittsseitigen Facette, welche die Austrittsapertur enthält, eine niedrig

reflektierende Spiegelschicht mit einem Reflexionsgrad von beispielsweise 0,1 % bis 10 %. Die Spiegel können einen Laserresonator definieren, der einen Laserbetrieb ermöglicht. Das Laserelement kann aber auch als Gewinnelement ausgebildet sein, welches erst im Zusammenwirken mit einem externen Resonator zum Laserbetrieb vorgesehen ist. Dabei kann beispielsweise eine

5 wellenlängenabhängige Rückkopplung durch den externen Resonator vorgesehen sein, die zur Festlegung der Wellenlänge des Lasers dient. Auch ein solches elektrooptisches Gewinnelement ist als Laserelement im Sinne der Erfindung zu verstehen.

Das Laserelement weist eine erste Kontaktfläche auf, die zur thermischen Kontaktierung des

10 Laserelements dient. Die erste Kontaktfläche kann auch zur elektrischen Kontaktierung des Laserelements dienen. In diesem Fall kann das Laserelement eine zweite Kontaktfläche aufweisen, die zur elektrischen Kontaktierung der anderen Elektrode des Laserelements dient. Diese kann, muss aber nicht, ebenfalls zur thermischen Kontaktierung benutzt werden. Bei einem Laserbarren mit bekannter p-seitiger Wärmeableitung (p-side-down) kann die erste Kontaktfläche die epitaxienseitige Elektrode

15 des Laserchips sein, die zweite Kontaktfläche die gegenüberliegende substratseitige Elektrode des Laserchips. Die erste Kontaktfläche kann also die Anode einer Laserdiode sein. Die zweite Kontaktfläche kann die Kathode sein.

Die erste Kontaktfläche des Laserelements kann in einer bevorzugten Ausführung der Erfindung eine

20 Metallschicht aufweisen. Die Metallschicht kann beispielsweise vorzugsweise flächig auf der p-seitigen Kontaktfläche des Laserelements aufgebracht sein. Es kann sich dabei beispielsweise um eine metallische Schicht handeln, deren chipabgewandte Seite beispielsweise aus Gold besteht. Bevorzugt kann dabei eine galvanisch verstärkte Goldschicht mit einer Dicke bevorzugt größer als 0,5 μm , besonders bevorzugt zwischen 1 μm und 10 μm , verwendet werden. Bevorzugt kann ein Metall

25 gewählt werden, dessen elektrische Leitfähigkeit, welche isotrop sein kann, höher ist, als die höchste elektrische Leitfähigkeit des Wärmespreizkörpers. Es sei angemerkt, dass die Wärmeleitfähigkeit dieses Metalls, welche ebenfalls isotrop sein kann, durchaus geringer sein kann, als die höchste Wärmeleitfähigkeit des Wärmespreizkörpers. Diese metallische Schicht kann eine vorteilhafte Absenkung des elektrischen Übergangswiderstands zwischen der Wärmesenke und dem Laserbarren

30 bewirken. Die Kombination des erfindungsgemäßen Wärmespreizkörpers mit einer Metallschicht auf der Kontaktfläche des Laserbarrens kann also eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung darstellen.

Wenn nämlich nur die Gewinnbereiche des Laserbarrens, d. h. die Resonatorstrukturen bzw. die

35 Breitstreifenbereiche stromführend sind, während in den Zwischenräumen zwischen einzelnen Emittern bzw. den Randbereichen des Diodenlaserchips kein Strom durch das Laserelement fließt,

würde sich ohne die o.g. dicke Metallisierung der Kontaktfläche des Laserbarrens ein ungleichmäßiger Stromeintrag in den Wärmespreizkörper einstellen. Ohne bzw. mit nur einer dünnen Metallschicht würde also die erste Kontaktfläche eine ungleichmäßige Verteilung des Betriebsstromes aufweisen. Wird nun der Stromfluss in der Metallschicht in Schichtebene aufgespreizt, kann die

5 Stromzuführung an der Wärmeaufnahme­fläche des Wärmespreizkörpers groß­flächiger erfolgen. Die physikalische Wirkung lässt sich folgendermaßen erklären. Da die elektrische Leitfähigkeit des Wärmespreizkörpers in x-Richtung, selbst dann, wenn in dieser Richtung die maximale elektrische Leitfähigkeit vorhanden sein kann, kleiner sein kann, als die des Metalls der Metallschicht, kann eine dicke Metallschicht mit der o. g. bevorzugten Dicke als Äquipotentialfläche des elektrischen Feldes

10 betrachtet werden. Eine solche Metallschicht, welche die bevorzugte Dicke aufweist, kann somit eine Spreizung des Betriebsstromes, d. h. eine gleichmäßigere Verteilung des Betriebsstromes über die Kontaktfläche, bewirken.

Eine metallische Schicht kann aber auch auf der n seitigen Kontaktfläche oder auf beiden

15 Kontaktflächen vorgesehen sein. Das kann dazu führen, dass beispielsweise in x-Richtung die Stromspreizung vorwiegend in der Metallschicht erfolgt, während die Wärmespreizung in x-Richtung hauptsächlich im Wärmespreizkörper erfolgt. Dadurch können Strompfad und Wärmepfad einen verschiedenen Verlauf haben. Eine Metallschicht, vorzugsweise aus Gold, kann zudem die Oxidbildung verhindern und den elektrischen Übergangswiderstand über die Grenzfläche verringern.

20 Eine Goldschicht kann zudem weich sein, so dass nur geringe mechanische Spannungen im Laserelement auftreten.

Das Laserelement kann aber auch ein optisch gepumptes Laserelement sein. In diesem Falle ist keine Stromzuführung zum Laserelement erforderlich.

25 Der Halbleiterlaser umfasst einen ersten Wärmespreizkörper, der bevorzugt als massiver (d. h. als kompakter bzw. homogener) Körper ausgebildet sein kann. Der erste Wärmespreizkörper ist zwischen dem Laserelement und der ersten Wärmesenke angeordnet. Unter einem massiven Körper wird verstanden, dass er nicht aus einzelnen Schichten oder aus Partikeln aufgebaut ist, die durch

30 Kräfte zusammengehalten werden müssen, sondern dass ein intrinsischer Zusammenhalt des Materials besteht. Dadurch kann eine mechanische Bearbeitung, wie z. B. Sägen oder Fräsen des Wärmespreizkörpers möglich sein. Man kann einen massiven Wärmespreizkörper in exakter Weise dadurch definieren, dass er keine inneren Grenzflächen aufweist, die zwischen Volumina gleichen Materials liegen. Derartige innere Grenzflächen würden beispielsweise bei einem laminierten Körper

35 bzw. bei einem Schichtstapel oder bei einem solchen Körper, der durch Zusammenpressen von Partikeln entstanden ist, vorhanden sein und könnten beispielsweise die Festigkeit oder die

thermische bzw. elektrische Leitfähigkeit beeinträchtigen. Der erste Wärmespreizkörper und ebenso, falls vorhanden, die weiteren Wärmespreizkörper können also bevorzugt aus einem homogenen Material bestehen, das erfindungsgemäß anisotrop ist.

- 5 Der erste Wärmespreizkörper hat eine Wärmeeintrittsfläche, die im thermischen Kontakt mit der ersten Kontaktfläche des Laserelements steht. Die Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers kann dabei auf der ersten Kontaktfläche direkt aufliegen. Die Auflagefläche wird dabei im Folgenden als Wärmeeintrittsfläche betrachtet. Sie kann gleichzeitig auch die Funktion einer elektrischen Kontaktfläche haben. Der Wärmespreizkörper kann natürlich auch größer als die
- 10 Kontaktfläche des Laserelements ausgebildet sein, so dass nur ein Teil der Fläche, die den Körper auf einer Seite begrenzt, als Wärmeeintrittsfläche wirkt. Obwohl es möglich wäre, mehrere erste Wärmespreizkörper einzusetzen, die jeweils mit ihrer Wärmeeintrittsfläche mit einer Teilfläche der ersten Kontaktfläche thermisch verbunden sind, ist die Ausführung zu bevorzugen, bei der die Kontaktfläche des Laserelements mit einem einzigen ersten Wärmespreizkörper verbunden ist. Die
- 15 Flächennormale n der Wärmeeintrittsfläche wird dabei im Folgenden so definiert, dass sie in das Innere des Wärmespreizkörpers zeigt.

- Der erste Wärmespreizkörper weist eine Wärmeaustrittsfläche auf, die im thermischen Kontakt mit der Wärmesenke steht. Die Wärmeeintrittsfläche kann gleich groß sein wie die Wärmeaustrittsfläche.
- 20 Sie kann außerdem die größte der Flächen sein, die den Wärmespreizkörper begrenzen. Die Wärmeaustrittsfläche kann bevorzugt parallel zur Wärmeeintrittsfläche sein. Der erste Wärmespreizkörper kann quaderförmig ausgebildet sein.

- Im Folgenden ist nun die Funktionsweise des Wärmespreizkörpers im Rahmen der
- 25 erfindungsgemäßen Ausbildung des Halbleiterlasers beschrieben. Die anisotrope Wärmeleitfähigkeit des Materials eines Wärmespreizkörpers kann durch einen Tensor zweiter Stufe beschrieben werden

$$\vec{\dot{q}} = -\overline{\lambda} \cdot \overrightarrow{\text{grad } T} \quad \text{Gleichung 1}$$

Dabei ist $\overline{\lambda}$ der Wärmeleitfähigkeitstensor des Materials, aus dem der Wärmespreizkörper besteht. $\vec{\dot{q}}$ ist der Vektor der Wärmestromdichte und $\overrightarrow{\text{grad } T}$ ist der Temperaturgradient, der ebenfalls ein Vektor ist.

- 30 Im Folgenden wird ohne Beschränkung der Allgemeinheit ein kartesisches Koordinatensystem als Bezugssystem gewählt, bei welchem die z Richtung der Normalen n der Wärmeeintrittsfläche des Wärmespreizkörpers entspricht. Die y-Richtung kann beispielsweise im Falle eines kantenemittierenden Laserbarrens so gewählt werden, dass sie der longitudinalen Richtung der

Laserstrahlung im Resonator entspricht, also in Richtung des bzw. der Gewinnbereiche liegt. Die Richtung y kann entgegengesetzt zur Richtung des austretenden Laserstrahls zeigen. Die x-Richtung ergibt sich dann als Normale zur yz-Ebene. Sie kann bei einem Laserbarren beispielsweise die Richtung des Versatzes der Emitter zueinander angeben und der Richtung einer Kante der Lichtaustrittsfläche entsprechen. Die Wärmeeintrittsfläche des betrachteten Wärmespreizkörpers liegt dann in der xy-Ebene.

Nach dem Stand der Technik wird beispielsweise eine Grafitschicht als Wärmeleitschicht in der Weise angeordnet, dass die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit λ_m in z-Richtung liegt, und die größte Wärmeleitfähigkeit λ_M in der xz-Ebene vorhanden ist, wobei die Wärmeleitfähigkeit in x und y-Richtung gleich sein und einen Wert λ_M aufweisen kann. Dann kann der Wärmeleitfähigkeitstensor folgende Form haben:

$$\overline{\lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_M & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_M & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_m \end{pmatrix}.$$

In dieser Darstellung kann es sich um einen symmetrischen Tensor in Diagonalform handeln. Von den drei Hauptdiagonalwerten λ_M , λ_M , λ_m können zwei den gleichen Betrag λ_M aufweisen, so dass der Wärmeleitfähigkeitstensor zwei verschiedene Eigenwerte λ_M und λ_m hat.

Erfindungsgemäß hingegen kann unter Zugrundelegung des Bezugskoordinatensystems xyz eine Transformation des Wärmeleitfähigkeitstensors vorliegen. Zur Veranschaulichung wird ein Wärmeleitfähigkeitstensor $\overline{\lambda}'$ betrachtet, der in einem rechtwinkligen kartesischen Koordinatensystem x'y'z' folgende Form haben kann:

$$\overline{\lambda}' = \begin{pmatrix} \lambda_M & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_M & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_m \end{pmatrix}.$$

Da die zueinander entgegengesetzten Richtungen z' und -z' hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit äquivalent sind, kann der Richtungssinn von z' ohne Beschränkung der Allgemeinheit so gewählt werden, dass z' an der Wärmeeintrittsfläche in das Innere des Wärmespreizkörpers zeigt. Daher kann der unten definierte Winkel α auf einen Wertebereich von 0° bis 90° eingeschränkt werden.

Das Koordinatensystem $x'y'z'$ soll über die Transformationsmatrix M mit dem oben definierten Koordinatensystem xyz verknüpft sein, so dass jeder Vektor $\vec{r}'$ im Koordinatensystem $x'y'z'$ die Koordinaten $\vec{r}$ im Koordinatensystem xyz hat mit

$$\vec{r} = M \cdot \vec{r}'$$

- 5 Dann hat der Wärmeleitfähigkeitstensor im Bezugssystem xyz gemäß der bekannten Transformationsvorschrift für einen Tensor zweiter Stufe folgende Form:

$$\overline{\lambda} = M \cdot \overline{\lambda}' \cdot M^{-1}$$

- Erfindungsgemäß kann das Koordinatensystem $x'y'z'$ mit dem Koordinatensystem xyz beispielsweise durch eine Drehung um die x Achse zusammenhängen. Der Drehwinkel α ist dabei der Winkel
 10 zwischen n und z' , der einen Wertebereich von 0° bis 90° umfasst. Der Winkel α kann erfindungsgemäß einen Betrag zwischen 5° und 90° oder einen Betrag von genau 90° aufweisen. Dann hat die Matrix M folgende Form:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

In diesem Fall hat der Wärmeleitfähigkeitstensor im Bezugssystem xyz dann folgende Form

$$15 \quad \overline{\lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_M & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_M \cos^2(\alpha) + \lambda_m \sin^2(\alpha) & -\frac{\lambda_M - \lambda_m}{2} \sin(2\alpha) \\ 0 & -\frac{\lambda_M - \lambda_m}{2} \sin(2\alpha) & \lambda_m \cos^2(\alpha) + \lambda_M \sin^2(\alpha) \end{pmatrix}.$$

Um dieses Ergebnis zu veranschaulichen, kann man zunächst einen Temperaturgradienten $\text{grad } T$ betrachten, der in z Richtung orientiert ist und nur eine von 0 verschiedene z -Komponente T_z hat:

$$\overrightarrow{\text{grad } T} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ T_z \end{pmatrix}.$$

- Die z -Richtung ist im Wesentlichen die Richtung des beabsichtigten Wärmeflusses vom Laserelement
 20 zur Wärmesenke, d. h., die Richtung von der Wärmeeintrittsfläche zur Wärmeaustrittsfläche des Wärmespreizkörpers. Es sei angemerkt, dass diese Betrachtung nur zum Verständnis der Erfindung erfolgt. In der Praxis treten außerdem Temperaturgradienten in der xy -Ebene auf.

- In dieser stark vereinfachten Betrachtung hat nun der Wärmestrom $\vec{q}$ gemäß Gleichung 1 folgende
 25 Form:

Gleichung 2

$$\dot{\vec{q}} = - \begin{pmatrix} 0 \\ -T_z(\lambda_M - \lambda_m) \frac{\sin(2\alpha)}{2} \\ T_z(\lambda_m \cos^2(\alpha) + \lambda_M \sin^2(\alpha)) \end{pmatrix}$$

Das zeigt, dass die Richtung des Wärmestromes von der Richtung des Temperaturgradienten abweichen kann, falls der Winkel α weder 0° noch 90° beträgt. Bei Verwendung von Graphitfolien nach dem Stand der Technik beträgt der Drehwinkel $\alpha = 0$. Daher ist der Betrag der

Wärmestromdichte $|\dot{\vec{q}}| = T_z \lambda_m$. Hier steht also bekanntermaßen für die Durchleitung der Wärme von

- 5 der Wärmeeintrittsfläche zur Wärmeaustrittsfläche nur die minimale Wärmeleitfähigkeit λ_m zur Verfügung. Erfindungsgemäß kann ein Winkel α bevorzugt zwischen 5° und 90° gewählt werden. Wenn das Material des Wärmespreizkörpers ein stark anisotropes Material mit $\lambda_M \gg \lambda_m$ ist, ergibt sich unter dieser Näherung aus Gleichung 2 ein Betrag der Wärmestromdichte $|\dot{\vec{q}}| = T_z \lambda_M \cdot \sin(\alpha)$. Das bedeutet, dass mit der erfindungsgemäßen Lösung im Vergleich zum Stand der Technik eine
- 10 größere Wärmemenge vom Laserelement abgeführt werden kann. Vorteilhaft sollte aus dieser Betrachtung heraus der Winkel α so gewählt werden, dass $\lambda_M \cdot \sin(\alpha)$ größer ist als λ_m . Wenn beispielsweise $\lambda_M : \lambda_m$ ein Verhältnis 100:1 hat, und α einen Betrag von nur 5° hat, ist $\lambda_M \cdot \sin(\alpha)$ neun mal höher als λ_m . Das zeigt, dass die erfindungsgemäße Maßnahme selbst bei kleinen Winkeln α einen großen positiven Effekt auf die Wärmedurchleitung durch den Wärmespreizkörper hat.
- 15 Gleichermaßen kann auch die elektrische Stromzuführung verbessert sein, wie unten beschrieben.

- Der Drehwinkel α ist jedoch nicht auf kleine Winkel beschränkt, er kann auch bevorzugt ein rechter Winkel sein oder nahe bei 90° gewählt werden. Die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit kann beispielsweise in Richtung y (longitudinale Richtung der Laserstrahlung im Laserelement) liegen.
- 20 Dann ist der Wärmedurchgang durch den Wärmespreizkörper in z -Richtung unter Ausnutzung der maximalen Wärmeleitfähigkeit λ_M des Materials möglich. Allerdings ist dann die Wärmespreizung im Wärmespreizkörper vorwiegend nur in x -Richtung möglich, während in y -Richtung die geringe Wärmeleitfähigkeit λ_m wirkt, wodurch die Wärmespreizung in y -Richtung nur in sehr geringem Maße auftreten kann.

25

Ein solcher Effekt kann zur Gestaltung des Temperaturprofils des Laserelements benutzt werden. So kann es beispielsweise vorteilhaft sein, den Winkel α als rechten Winkel zu wählen und die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit in x -Richtung, also senkrecht zur longitudinalen Richtung der

Laserstrahlung zu legen. Dadurch kann man eine Wärmespreizung in x-Richtung weitestgehend unterdrücken, um beispielsweise eine Wärmeableitung zu erreichen, die für jeden Emitter eines Laserbarrens gleich ist. Das kann vorteilhaft sein, um beispielsweise das bekannte Phänomen zu minimieren, dass die mittleren Emitter beim Betrieb des Laserbarrens gegenüber den Randemittern stärker erwärmt sind. Ein anderer vorteilhafter Effekt dieser Maßnahme kann darin bestehen, dass die Temperaturverteilung in x-Richtung über die Breite eines Emitters homogener ist, als mit vorhandener Wärmespreizung. Ein Emitter eines Laserbarrens wird nämlich bekanntermaßen infolge der Wärmespreizung in der Mitte wärmer als an den Rändern des Emitters. Erfindungsgemäß kann man nun in der oben beschriebenen Weise die Wärmespreizung in x-Richtung minimieren. Dadurch kann es gelingen, das Temperaturprofil im Emitter zu homogenisieren und dadurch die negativen Auswirkungen der Ausbildung einer thermischen Linse im Resonator zu vermindern.

Wenn die geringe Wärmespreizung in einer Richtung aber unerwünscht ist, kann als Gegenmaßnahme die weiter unten beschriebene Einführung eines dritten bzw. vierten Wärmespreizkörpers vorgesehen werden, oder der Winkel α wird kleiner als 90° , bevorzugt kleiner als 85° gewählt.

Es kann aber auch sein, dass eine Wärmespreizung in einer Richtung, beispielsweise x, erwünscht ist, in einer anderen Richtung, beispielsweise in y-Richtung, gar nicht erforderlich ist, weil beispielsweise der Wärmeeintrag auf der Wärmeeintrittsfläche in y-Richtung homogen ist. Dann kann es vorteilhaft sein, den Winkel α als rechten Winkel zu wählen und die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit in y-Richtung zu legen. Dann kann man die bestmögliche Wärmedurchleitung in z-Richtung und die bestmögliche Wärmespreizung in x-Richtung kombiniert benutzen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann ein Drehwinkel α abweichend vom rechten Winkel vorgesehen sein, beispielsweise ein Winkel von 45° um die x-Achse. Dabei kann man mehr als 70% der maximalen Wärmeleitfähigkeit λ_M des Materials sowohl für die Durchleitung der Wärme von der Wärmeeintrittsfläche zur Wärmeaustragsfläche des Wärmespreizkörpers nutzen, während ebenfalls mehr als 70% von λ_M zur Wärmespreizung im Wärmespreizkörper in y-Richtung zur Verfügung stehen. In x-Richtung würde dann sogar die maximale Wärmeleitfähigkeit zur Wärmespreizung zur Verfügung stehen.

Selbstverständlich kann die Drehung auch um eine andere Achse, beispielsweise die y-Achse erfolgen. Des Weiteren kann auch eine andere Drehachse in der xy Ebene gewählt werden, die beispielsweise einen Winkel von 45° zur x-Achse haben kann.

- Grundgedanke der Erfindung ist also die Verwendung eines ersten anisotropen Wärmespreizkörpers mit einer Wärmeeintrittsfläche, deren Normale n in eine Richtung z zeigt, wobei das Minimum der richtungsabhängigen Wärmeleitfähigkeit des Wärmespreizkörpers in einer Richtung z' liegt. Die
- 5 Richtung z hat erfindungsgemäß einen Winkel α von 5° bis 90° zur Richtung z' .

Auch die elektrische Leitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers kann anisotrop sein. Die elektrische Leitfähigkeit des Wärmespreizkörpers kann ebenfalls als Tensor zweiter Stufe dargestellt werden.

$$\vec{j} = \overset{=}{\sigma} \cdot \vec{E} \quad \text{Gleichung 3}$$

- Dabei ist $\overset{=}{\sigma}$ der elektrische Leitfähigkeitstensor des Materials, aus dem der Wärmespreizkörper besteht. $\vec{j}$ ist der Vektor der Stromdichte und $\vec{E}$ ist die elektrische Feldstärke, die ebenfalls ein Vektor ist.
- 10

Der elektrische Leitfähigkeitstensor kann analog zum Wärmeleitfähigkeitstensor folgende Form haben:

$$\overset{=}{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_M & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_M & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{pmatrix}.$$

- 15 Von den drei Hauptdiagonalwerten (Eigenwerten) σ_M , σ_M , σ_m , können zwei den gleichen maximalen Betrag σ_M aufweisen, so dass der elektrische Leitfähigkeitstensor zwei verschiedene Eigenwerte, nämlich die maximale Wärmeleitfähigkeit σ_M und die minimale (geringste) Wärmeleitfähigkeit σ_m hat.
- 20 Die Richtung der minimalen elektrischen Leitfähigkeit kann mit der Richtung z' der minimalen Wärmeleitfähigkeit zusammenfallen. Das Koordinatensystem der Hauptachsen dieses Tensors kann daher in gleicher Weise orientiert sein wie beim Tensor der Wärmeleitfähigkeit. Da die elektrische und thermische Leitfähigkeit von Festkörpern oftmals in direktem Zusammenhang stehen, kann auch die elektrische Leitfähigkeit ein ähnlich großes Verhältnis zwischen Minimalwert und Maximalwert
- 25 aufweisen. Die minimale elektrische Leitfähigkeit kann in der gleichen Richtung z' vorliegen wie das Minimum der Wärmeleitfähigkeit. Daher führt die oben betrachtete erfindungsgemäße Einführung eines Drehwinkels α gleichermaßen zu einer erheblichen Verbesserung der Stromzuführung zum Laserbarren. Wenn wie in den obigen Beispielrechnungen die Wärmeanbindung um Faktoren 9 bzw.

70 verbessert werden kann, kann auch die im Inneren des Wärmespreizkörpers anfallende elektrische Verlustleistung um einen solchen Faktor verringert werden.

Der erfindungsgemäße Wärmespreizkörper kann als homogener anisotroper Körper ausgeführt sein.

- 5 Das bedeutet, dass er nicht beispielsweise aus einzelnen Lamellen besteht, sondern dass er aus einem massiven Stück des Materials besteht. Als Material für Wärmespreizkörper kommt orientiertes bzw. hochgradig orientiertes TPG (thermal pyrolytic graphite) in Betracht. Mit bekannten Herstellungsverfahren können planparallele flache Rohlinge hergestellt werden, die in einer Ebene xy ausgedehnt sind und in z-Richtung eine Dicke d aufweisen. Dabei sind die ab-Ebenen der
- 10 Grafitbestandteile des TPG im Wesentlichen senkrecht zu z ausgerichtet. Je größer die Dicke d ist, umso höher können die zufälligen Winkelfehler dieser Ausrichtung im Material sein. Zufällige Winkelfehler können die Wärmeleitfähigkeit des Materials erheblich herabsetzen. Um erfindungsgemäße Wärmespreizkörper herstellen zu können, ist TPG Material größerer Dicke erforderlich. Dazu sind spezielle Herstellungsverfahren, die geringe Winkelfehler erzeugen, geeignet.
- 15 Aus WO 2005/029931 ist beispielsweise ein Verfahren zur Herstellung von TPG mit geringem Winkelfehler bekannt. Damit kann TPG in großer Dicke hergestellt werden, aus dem die erfindungsgemäßen Wärmespreizkörper gefertigt werden können. Bei dem Material TPG handelt sich um eine dreidimensional geordnete Grafitstruktur mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit in der x'y' Ebene, die der Vorzugsorientierung der ab-Ebene des Grafit entspricht. Die Wärmeleitfähigkeit kann
- 20 größer als $1000 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ sein oder bevorzugt größer als $1500 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Die Wärmeleitfähigkeit in z'-Richtung, die der Vorzugsorientierung des Grafit in c Richtung entspricht, kann kleiner als $20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ sein. Die Oberfläche des ersten Wärmespreizkörpers oder auch der anderen Wärmespreizkörper kann, muss aber nicht, mit einer Metallschicht versehen sein. Eine Metallschicht kann beispielsweise auf der Wärmeeintragsfläche und /oder der Wärmeaustrittsfläche des
- 25 Wärmespreizkörpers angebracht sein. Die Metallschicht kann beispielsweise aus Kupfer bestehen. Sie kann außerdem zusätzlich eine Goldoberfläche aufweisen und eine Diffusionsbarriere beispielsweise aus Nickel, so dass die Schichtfolge folgende Struktur haben kann Cu-Ni-Au. Zwischen dem Grundmaterial und der Cu-Schicht kann sich eine haftvermittelnde Schicht befinden, damit ein Delaminieren verhindert wird. Die Goldoberfläche kann lötbar sein und zur Befestigung des
- 30 Laserelements auf der Wärmeeintragsfläche durch Löten vorgesehen sein. Die Wärmeaustrittsfläche kann beispielsweise die genannte Metallisierung aufweisen, um die Wärmeaustrittsfläche des Wärmespreizkörpers durch Löten mit der Wärmesenke zu verbinden. Eine Metallisierung der Oberfläche kann aber auch die Stabilität und die mechanische Bearbeitbarkeit des Wärmespreizkörpers verbessern.

Der Halbleiterlaser kann außerdem einen Deckel umfassen. Der Deckel kann die Funktion einer Wärmesenke haben (zweite Wärmesenke) oder aber ohne thermische Funktion sein. Der Deckel kann beispielsweise mittels einer wärmeleitenden Fügmittelschicht, beispielsweise einem elektrisch isolierenden Wärmeleitkleber, mit der ersten Wärmesenke über eine Fügefläche flächig verbunden
5 sein, so dass die Wärme vom Deckel auf die erste Wärmesenke abgeleitet werden kann.

Der Deckel kann zur Stromzuführung dienen, beispielsweise als n-seitiges Kontaktterminal. Mit Hilfe des Deckels kann eine Klemmkraft auf das Laserelement ausgeübt werden. Diese kann zur kraftschlüssigen Verbindung zwischen der ersten Kontaktfläche und der Wärmeeintragsfläche des
10 ersten Wärmespreizkörpers und/oder zur kraftschlüssigen Verbindung der Wärmeaustrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers und der Wärmeaufnahme­fläche der Wärmesenke bzw. der Wärmeeintragsfläche des dritten Wärmespreizkörpers führen. In gleicher Weise kann die Klemmkraft eine kraftschlüssige Verbindung der zweiten Kontaktfläche zur Wärmeeintragsfläche des zweiten
15 Wärmespreizkörpers bewirken. Somit kann das Laserelement kraftschlüssig mit dem ersten Wärmespreizkörper und/oder dem zweiten Wärmespreizkörper verbunden sein. Eine solche kraftschlüssige Verbindung kann aus verschiedenen Gründen vorteilhaft sein. Dann kann nämlich auf eine beispielsweise lötbare Beschichtung des Wärmespreizkörpers verzichtet werden. Außerdem kann der Halbleiterlaser einfacher entsorgt werden, da die Komponenten einfacher zu trennen sind als bei einer Lötverbindung. Die Klemmkraft kann beispielsweise von einem Federelement aufgebracht
20 werden, welches beispielsweise als Federscheibe oder als Druckfeder ausgebildet sein kann. Die Verwendung eines Federelements ist vorteilhaft, wenn der erste Wärmespreizkörper plastisch verformbar oder starr ist. Wenn der erste Wärmespreizkörper hingegen elastisch ist, kann die Klemmkraft auch von diesem selbst aufgebracht werden. Dann kann der Deckel beispielsweise ohne Federelement mechanisch starr mit der ersten Wärmesenke verbunden sein. Diese Verbindung kann
25 elektrisch isolierend ausgeführt sein, damit Deckel und erste Wärmesenke zu elektrischen Kontaktierung des Laserelements verwendet werden können. Dazu kann ein Isolationselement, beispielsweise eine Isolierscheibe oder eine Isolierbuchse verwendet werden.

Der erste Winkel α kann bevorzugt zwischen 10° und 90° betragen. Ebenfalls bevorzugt kann er ein
30 rechter Winkel sein.

Die Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers kann in jeder Richtung, die in einer Ebene xy' senkrecht zur Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des Wärmespreizkörpers liegt, einen annähernd gleich großen Wert λ_M aufweisen, der der Maximalwert der richtungsabhängigen
35 Wärmeleitfähigkeit ist.

Der Halbleiterlaser kann außerdem noch wenigstens ein zweites als Laserbarren ausgeführtes Laserelement umfassen, welches zu dem ersten Laserelement versetzt angeordnet ist. Das zweite Laserelement kann dabei zum ersten Laserelement elektrisch parallel geschaltet sein. Dabei kann für
5 beide Laserelemente ein gemeinsamer erster Wärmespreizkörper vorgesehen sein. Alternativ kann das zweite Laserelement zum ersten Laserelement in Reihe geschaltet sein. Dazu kann zu jedem Laserelement ein separater zugeordneter erster Wärmespreizkörper vorhanden sein.

Weiterhin kann der Halbleiterlaser einen zweiten Wärmespreizkörper mit anisotroper
10 Wärmeleitfähigkeit und eine zweite Wärmesenke umfassen, wobei das Laserelement eine zweite Kontaktfläche aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers steht und der zweite Wärmespreizkörper weiterhin eine Wärmeaustrittsfläche aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeaufnahme-
15 fläche des zweiten Wärmesenke steht. Auch beim zweiten Wärmespreizkörper kann die Wärmeaustrittsfläche parallel zur Wärmeeintrittsfläche sein.

Die maximale elektrische Leitfähigkeit des Wärmespreizkörpers kann kleiner sein als die elektrische Leitfähigkeit eines Metalls, welches beispielsweise als Schicht auf der ersten Kontaktfläche des Laserelements aufgebracht sein kann. Beispielsweise kann die maximale elektrische Leitfähigkeit eines
20 TPG-Körpers 10^6 bis 10^7 (Ohm*m)⁻¹ betragen, während eine Goldschicht eine (isotrope) elektrische Leitfähigkeit von $4.5 \cdot 10^{-7}$ haben kann. Die maximale elektrische Leitfähigkeit des Wärmespreizkörpers kann also beispielsweise 5 bis 20 mal geringer sein, als die der Metallschicht, während dessen maximale Wärmeleitfähigkeit 3 bis 6 mal höher sein kann als die der Metallschicht. Die Wärmeleitfähigkeit einer Goldschicht kann beispielsweise 300 W/(m*K) betragen, während die
25 maximale Wärmeleitfähigkeit eines TPG Körpers 1000 bis 2000 W/(m*K) betragen kann. Daher kann die Metallschicht hauptsächlich zur Stromspreizung vorgesehen sein, während der Wärmespreizkörper hingegen hauptsächlich zur Wärmespreizung vorgesehen sein kann. Durch die Kombination des Wärmespreizkörpers mit einer Metallschicht, die auf der ersten Kontaktfläche des Laserelements aufgebracht sein kann, kann daher eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der
30 Erfindung hergestellt werden. Der Vollständigkeit halber sei noch angemerkt, dass die geringste elektrische Leitfähigkeit σ_m des Wärmespreizkörpers aus TPG sogar um einige Größenordnungen geringer sein kann als dessen maximale elektrische Leitfähigkeit σ_M . Beispielsweise kann σ_m einen Betrag von nur 10^3 bis 10^5 (Ohm*m)⁻¹ aufweisen.

Der thermische Kontakt zwischen der Wärmeaustrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers und der ersten Wärmesenke kann mittels eines dritten Wärmespreizkörpers mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit dadurch bewirkt werden, dass die Wärmeaustrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers steht und eine Wärmeaustrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit der Wärmeaufnahme­fläche der ersten Wärmesenke steht. Dabei kann die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des dritten Wärmespreizkörpers senkrecht zur Flächennormale der Wärmeeintrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers orientiert sein. Die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des dritten Wärmespreizkörpers kann außerdem verschieden von der Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers sein. In gleicher Weise kann der thermische Kontakt zwischen der Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers und der zweiten Wärmesenke mittels eines vierten Wärmespreizkörpers mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit dadurch bewirkt werden, dass die Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers steht und eine Wärmeaustrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit der Wärmeaufnahme­fläche der zweiten Wärmesenke steht. Dabei kann die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des vierten Wärmespreizkörpers senkrecht zur Flächennormale der Wärmeeintrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers orientiert sein. Außerdem kann die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des vierten Wärmespreizkörpers verschieden von der Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des zweiten Wärmespreizkörpers sein.

Der erste Wärmespreizkörper kann Grafit, beispielsweise pyrolytischem Grafit, umfassen bzw. aus diesem bestehen. Besonders bevorzugt umfasst bzw. besteht der Wärmespreizkörper aus hochgradig orientiertem pyrolytischen Grafit.

Der erste Wärmespreizkörper kann eine Dicke von 0,1 mm bis 10 mm, bevorzugt 0,2 mm bis 5 mm haben.

Das Laserelement kann kraftschlüssig mit dem ersten Wärmespreizkörper und/oder dem zweiten Wärmespreizkörper verbunden sein.

Der erste Wärmespreizkörper kann vor dem Zusammenbau des erfindungsgemäßen Halbleiterlasers einer Druckbehandlung unterzogen werden. Dadurch kann eine spätere beispielsweise Deformation des Wärmespreizkörpers bei der Montage des Halbleiterlasers unterbunden bzw. stark vermindert werden. Außerdem können Setzungserscheinungen des Wärmespreizkörpers im fertig

zusammengebauten Halbleiterlaser vermieden oder eingeschränkt werden. Dadurch wird der Halbleiterlaser eine gute Langzeitstabilität, insbesondere hinsichtlich der Lage der Emitter, aufweisen. Ein weiterer Vorteil der Druckbehandlung besteht darin, dass die Ebenheit der Oberflächen, d. h. die Wärmeeintrittsfläche und die Wärmeaustrittsfläche verbessert werden kann. Das bedeutet, dass die Rauigkeit der genannten Flächen verringert werden kann.

Die Druckbehandlung kann dadurch erfolgen, dass der Wärmespreizkörper einem uniaxialen Druck senkrecht zur Wärmeeintragsfläche ausgesetzt wird. Der Druck kann beispielsweise durch eine Presse mit beispielsweise zwei ebenen Flächen bewirkt werden, wobei eine Kraft in Normalenrichtung zur Wärmeeintragsfläche aufgebracht wird. Der Druck kann beispielsweise für einige Sekunden bis zu mehreren Tagen aufrechterhalten werden. Der Druck kann entweder konstant oder pulsierend sein. Unter dieser Druckbehandlung kann sich die Dicke des Wärmespreizkörpers verringern. Der Druck kann bevorzugt höher sein, als der später im Einsatz im erfindungsgemäßen Halbleiterlaser auftretende Druck, bevorzugt wenigstens dreimal so hoch. Durch die Druckbehandlung kann es zu einer Verdichtung des Materials kommen. Durch die Druckbehandlung kann sich die Verformbarkeit (Kompressibilität) des Wärmespreizkörpers verringern bzw. dessen Härte zunehmen. Außerdem kann die Druckbehandlung zu einer Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit führen. Die Druckbehandlung kann mit einer Wärmebehandlung kombiniert werden. Ebenso können auch der zweite, dritte und/oder vierte Wärmespreizkörper behandelt sein. Die genannte Druckbehandlung ist nicht nur für die Wärmespreizkörper geeignet. Auch eine herkömmliche Karbonfolie mit einem Winkel $\alpha = 0^\circ$ kann einer solchen Druckbehandlung unterzogen werden. Bei der Druckbehandlung kann neben der oben beschriebenen Kraft in Normalenrichtung gleichzeitig eine Schubkraftkomponente in Tangentialrichtung zur Wärmeeintragsfläche angewendet werden. Dadurch können die ab-Ebenen des Grafit beeinflusst werden, so dass eine zusätzlich zu den vorgenannten positiven Effekten eine bessere elektrische Leitfähigkeit zur Durchleitung des elektrischen Stroms durch den Wärmespreizkörper erreicht werden kann.

Die Druckbehandlung kann auch bereits vor der Herstellung der geometrischen Form des Wärmespreizkörpers erfolgen.

Die Druckbehandlung kann auch dadurch erfolgen, dass das Material zwischen zwei Walzen gewalzt wird. Die Walztechnologie kann insbesondere für dünne Materialien, beispielsweise bevorzugt dünner als 1 mm Dicke, geeignet sein, beispielsweise Karbonfolie mit einer Dicke von 25 μm bis 500 μm .

Aus mehreren erfindungsgemäßen Halbleiterlasern kann eine Anordnung aufgebaut werden, bei der wenigstens zwei der Laserelemente elektrisch in Reihe geschaltet sind. Dazu sind die Wärmespreizkörper der wenigstens zwei Halbleiterlaser gegeneinander elektrisch zu isolieren.

- 5 Weitere wichtige Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den Ansprüchen und Figuren. Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Vorrichtung beschrieben und mittels der Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel mit $\alpha = 45^\circ$

- 10 Fig. 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel mit vorhandener Wärmespreizung in x-Richtung in Seitenansicht

Fig. 3 zeigt das erste Ausführungsbeispiel in Frontansicht

Fig. 4 zeigt die Wirkung der Metallschicht auf die elektrische Stromdichte beim ersten Ausführungsbeispiel

- 15 Fig. 5 zeigt einen Ausschnitt A in detaillierter Darstellung

Fig. 6 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel mit unterdrückter Wärmespreizung in x-Richtung in Frontansicht

Fig. 7 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel mit einem dritten Wärmespreizkörper

Fig. 8 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel mit einem zweiten Wärmespreizkörper

- 20 Fig. 9 zeigt das fünfte Ausführungsbeispiel in Explosionsdarstellung

Fig. 10 zeigt ein sechstes Ausführungsbeispiel, bei dem mehrere Laserbarren mit jeweils einem Emitter elektrisch parallel geschaltet sind

- 25 Ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterlasers ist in Fig. 2, Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt. Um die wesentlichen Merkmale darzustellen, sind die Figuren nicht maßstäblich gezeichnet.

- Der Halbleiterlaser umfasst ein Laserelement 1, welches wie in Fig. 2 dargestellt ist, Laserstrahlung 12 in eine als -y definierte Richtung emittiert. Das Laserelement ist ein Diodenlaserbarren mit mehreren
30 Emittern, beispielsweise mit 19 Emittern. In Fig. 3 sind der Übersichtlichkeit halber nur drei Emitter dargestellt, die jeweils einen Gewinnbereich 13 aufweisen, der in der dargestellten Ansicht der Austrittsapertur entspricht. Die Austrittsapertur liegt dabei an der als Unterseite des Chips dargestellten Seite, welche die Epitaxienseite des Laserbarrens ist. Die erste Kontaktfläche ist also der p-Kontakt (Anode) des Diodenlaserbarrens.

Das Laserelement weist auf der ersten Kontaktfläche eine Goldschicht 9 mit einer Dicke größer 0,5 μm zur Spreizung bzw. Verteilung des elektrischen Betriebsstromes auf. Die Dicke der Goldschicht kann beispielsweise 4 μm betragen und galvanisch hergestellt werden. Die Flächennormale n der ersten Kontaktfläche ist in z -Richtung orientiert.

Der Halbleiterlaser des ersten Ausführungsbeispiels umfasst außerdem eine erste Wärmesenke 17 und eine zweite Wärmesenke 22.

Der Halbleiterlaser des ersten Ausführungsbeispiels umfasst außerdem einen ersten Wärmespreizkörper 14 aus hochgradig orientiertem pyrolytischem Grafit auf. Dieses Material hat eine anisotrope Wärmeleitfähigkeit, die eine Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit aufweist. Die Dicke des ersten Wärmespreizkörpers beträgt 0,5 mm. Die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers ist in einem ersten Winkel α von 90° zur Flächennormale n der Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers orientiert. Die Richtung z' zeigt in Richtung $-y$ (siehe Fig. 2). Die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers liegt also in der longitudinalen Richtung der Laserstrahlung im Laserbarren (y -Richtung). Diese y -Richtung ist auch die Hauptausbreitungsrichtung der austretenden Laserstrahlen

Die erste Kontaktfläche 2 steht im thermischen Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche 15 des ersten Wärmespreizkörpers 14. Der thermische Kontakt wird dadurch bewirkt, dass die vergoldete erste Kontaktfläche auf der Wärmeeintrittsfläche aufliegt und durch eine Klemmkraft 26 flächig angedrückt wird. Die Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers hat eine erste Flächennormale n , die in z -Richtung orientiert ist. Das Laserelement ist also kraftschlüssig mit dem ersten Wärmespreizkörper verbunden. Der erste Wärmespreizkörper weist außerdem eine Wärmeaustrittsfläche 16 auf, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeaufnahme fläche 18 der ersten Wärmesenke 17 steht. Auch dieser thermische Kontakt wird in gleicher Weise durch die Klemmkraft 26 bewirkt.

Die Klemmkraft 26 wird durch einen Deckel 22 bewirkt, der mit Schrauben 27 befestigt ist. Die Schrauben sind mit Federelementen 28 ausgestattet und über Isolierscheiben 29 vom Deckel elektrisch isoliert montiert. Der Deckel ist hier ohne thermische Funktion vorgesehen. Er könnte aber auch als zweite Wärmesenke genutzt werden, wenn man eine Wärmeableitung vom Deckel installiert, beispielsweise durch Wasserkühlung, oder wenn der Deckel thermisch mit der ersten

Wärmesenke verbunden wird. Der Deckel ist aus Kupfer gefertigt und dient zur Stromzuführung, also als n-seitiges (substratseitiges) Kontaktterminal für den Laserbarren, während der p-seitige elektrische Anschluss über die erste Wärmesenke hergestellt wird. Die Betriebsspannung wird also zwischen der ersten Wärmesenke 17 und dem Deckel 22 angelegt. Der Betriebsstrom muss daher mit einer z-Komponente über den ersten Wärmespreizkörper 14 fließen.

Mit dem ersten Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren zur Wärmeableitung vom Laserelement praktiziert, bei dem eine Wärmespreizung in x Richtung erfolgt, wie in Fig. 3 dargestellt ist. Dort sind für einen Emitter 13 beispielhaft drei Vektoren der Wärmestromdichte $\vec{q}$ eingezeichnet, die die Richtung des Wärmestroms beispielhaft darstellen. Wegen der Orientierung des anisotropen Materials des Wärmespreizkörpers 14 ist die Wärmespreizung in y-Richtung vernachlässigbar klein. Der Wärmedurchgang durch den Wärmespreizkörper 14 erfolgt in z-Richtung, d.h. die Vektoren $\vec{q}$ haben eine z-Komponente, während die y-Komponente verschwindend klein ist, wie in Fig. 2 zu sehen ist. Die Wärmespreizung erfolgt hauptsächlich im Wärmespreizkörper 14 und nur zum geringen Teil in der Metallschicht 9, da der Maximalwert der Wärmeleitfähigkeit des Wärmespreizkörpers, d.h. in y' Richtung, höher ist als die Wärmeleitfähigkeit der Metallschicht 9.

In Fig. 4 ist der Stromfluss $\vec{j}$ des ersten Ausführungsbeispiels schematisch dargestellt. Der Übersichtlichkeit halber sind in der Figur nur das Laserelement 1 und der erste Wärmespreizkörper 14 dargestellt, während die Wärmesenke, der Deckel und die Schrauben nicht mit dargestellt sind. Um die Verteilung des Betriebsstromes anschaulich darzustellen, ist für den Stromfluss durch den ersten Wärmeleitkörper die entgegengesetzte Stromrichtung $-\vec{j}$ eingezeichnet. Es erfolgt eine Stromspreizung in der Metallschicht 9, die dadurch zustande kommt, dass die elektrische Leitfähigkeit der Metallschicht höher ist, als der Maximalwert der elektrischen Leitfähigkeit des Wärmespreizkörpers, d.h. in y' Richtung. Dadurch unterscheidet sich der Strompfad vom oben beschriebenen Wärmepfad nach Fig. 3. Die Spreizung bzw. Verteilung des Betriebsstromes in der Metallschicht 9 bewirkt also, dass für den Stromfluss in z-Richtung durch den ersten Wärmespreizkörper 14 eine höhere Querschnittsfläche zur Verfügung steht. Dadurch kann der ohmsche Widerstand und somit die Verlustleistung des Halbleiterlasers gesenkt werden. Aus dieser Betrachtung wird der Vorteil der Kombination des erfindungsgemäßen Wärmespreizkörpers 14 mit einer dicken Metallisierungsschicht 9 auf dem Laserelement deutlich.

Dieser Sachverhalt wird in Fig. 5, welche den Ausschnitt A aus Fig. 4 vergrößert darstellt, detaillierter verdeutlicht. Der Laserbarren 1 umfasst ein Substrat 3, eine Lichtführungsschicht 4, eine aktive

Schicht 5, eine weitere Lichtführungsschicht 4, eine Deckschicht 6, eine strukturierte Isolationsschicht 7, eine Elektrode 8 (Anode, p-Seite) und eine Goldschicht 9. Auf der Deckschicht 6 ist die strukturierte Isolationsschicht 7 aufgetragen, die im mittleren Bereich der Darstellung unterbrochen ist. Der Bereich, in dem die Isolationsschicht unterbrochen ist, hat eine konstante (von der y-Koordinate unabhängige) Breite (Ausdehnung in x-Richtung), so dass dadurch ein entsprechender Emitterstreifen des Laserbarrens festgelegt ist. Die Emitterbreite beträgt 100µm. Auf dieser strukturierten Isolationsschicht befindet sich die Elektrode 8, die durch Sputtern hergestellt wurde und eine Dicke von weniger als 0,5 µm aufweist. Diese Elektrode wurde galvanisch verstärkt, so dass eine Goldschicht 9 von 4 µm Dicke entstanden ist. Der Betriebsstrom wird von unten über den ersten Wärmespreizkörper 14 zugeführt. Der Stromfluss ist schematisch durch die Pfeile 10 dargestellt. Durch die Isolationsschicht werden nur bestimmte Bereiche der aktiven Schicht elektrisch gepumpt, so dass die Entstehung der Laserstrahlung lokal auf festgelegte Gewinnbereiche 13 begrenzt ist. Da der Strom lateral (x-Richtung) in der Metallschicht 9 gespreizt wird, kann er auf dem kürzesten Weg, d. h. in z-Richtung vollflächig durch den Wärmespreizkörper 14 geleitet werden.

Ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterlasers ist in Fig. 6 dargestellt. Im Unterschied zum ersten Ausführungsbeispiel ist die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers 14 senkrecht zur Richtung y Gewinnbereiche orientiert. Die Richtung z' zeigt hier in Richtung x, die ab-Ebenen 25 des Grafitmaterials liegen parallel zu yz-Ebene. Daher tritt keine erhebliche Wärmespreizung im Wärmespreizkörper in x-Richtung auf. Der Wärmedurchgang durch den Wärmespreizkörper erfolgt in z-Richtung. Das ist eine der beiden Richtungen mit maximaler Wärmeleitfähigkeit. Die andere Richtung x' maximaler Wärmeleitfähigkeit des Wärmespreizkörpers ist in Richtung y orientiert. Daher kann eine Wärmespreizung in y-Richtung stattfinden. Diese Ausführung ist dann zu bevorzugen, wenn eine homogene Temperaturverteilung über die Gewinnbereiche gewünscht ist. Da der Wärmestrom in x-Richtung minimal ist, wird vermieden, dass die Gewinnbereiche (Emitter) jeweils an den Rändern besser gekühlt werden, als in der Mitte des jeweiligen Gewinnbereiches. Dadurch kann die Ausbildung thermischer Linsen in den Resonatoren vermieden werden. Eine Stromspreizung in der dafür vorgesehenen Metallschicht 9 findet in der gleichen Weise statt, wie beim ersten Ausführungsbeispiel.

Ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterlasers ist in Fig. 7 dargestellt. Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel wird der thermische Kontakt zwischen der Wärmeaustrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers und der ersten Wärmesenke nicht direkt, sondern mittels eines dritten Wärmespreizkörpers 24 mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit bewirkt, der ebenfalls aus pyrolytischem Grafit besteht.

Die Wärmeaustrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers liegt flächig auf einer Wärmeeintrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers auf. Dadurch steht die Wärmeaustrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit dieser Wärmeeintrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers. Eine Wärmeaustrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers liegt flächig auf einer Wärmeaufnahme­fläche der ersten Wärmesenke auf. Dadurch steht diese Wärmeaustrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit der Wärmeaufnahme­fläche der ersten Wärmesenke.

Die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des dritten Wärmespreizkörpers ist senkrecht zur Flächennormale der Wärmeeintrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers orientiert und die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des dritten Wärmespreizkörpers 24 ist verschieden von der Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit z' des ersten Wärmespreizkörpers 14. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Richtung z' des ersten Wärmespreizkörpers in Richtung $-y$ orientiert, während die Richtung z' des dritten Wärmespreizkörpers in Richtung x orientiert ist.

In gleicher Weise kann in einem weiteren nicht figürlich dargestellten Ausführungsbeispiel der thermische Kontakt zwischen der Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers und der zweiten Wärmesenke mittels eines vierten Wärmespreizkörpers mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit dadurch bewirkt werden, dass die Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers steht. Eine Wärmeaustrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers steht in thermischem Kontakt mit der Wärmeaufnahme­fläche der zweiten Wärmesenke und die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des vierten Wärmespreizkörpers ist senkrecht zur Flächennormale der Wärmeeintrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers orientiert. Die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des vierten Wärmespreizkörpers ist verschieden von der Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des zweiten Wärmespreizkörpers. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Richtung z' des zweiten Wärmespreizkörpers in Richtung $-y$ orientiert, während die Richtung z' des vierten Wärmespreizkörpers in Richtung x orientiert ist.

Ein viertes Ausführungsbeispiel ist in Fig. 1 dargestellt. Hier ist der Winkel $\alpha = 45^\circ$ gewählt. Die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers 14 schließt also einen ersten Winkel α von 45° zur Flächennormalen n der Wärmeeintrittsfläche 15 des ersten Wärmespreizkörpers ein. Das Koordinatensystem $x'y'z'$ ist um 45° gegenüber dem Koordinatensystem xyz um die x -Achse verdreht. Obwohl das elektrische Feld $-E$ in Richtung z orientiert ist, hat die elektrische Stromdichte $\vec{j}$ im Wärmespreizkörper neben der z -Komponente

auch eine y-Komponente. Der Stromfluss $\vec{j}$ ist also nicht parallel zum Feldstärkevektor $\vec{E}$. Der eingezeichnete Vektor $-\vec{j}$ (entgegengesetzte Stromrichtung) ist entsprechend der Darstellung nach Fig. 1 nach rechts unten gerichtet. Der Wärmestrom $\vec{q}$ hat ebenfalls neben der z-Komponente eine Komponente in Richtung y und fließt daher in der Darstellung ebenfalls nach rechts unten. Das ist vorteilhaft, da die Wärmesenke 17 sowie die Wärmespreizkörper 14 in Strahlrichtung 12 nicht über die Facette des Laserbarrens 1 überstehen sollen, in Richtung y aber nach hinten über die Länge des Laserbarrens hinaus überstehen dürfen. Dadurch kann die Wärme vom Laserbarren gleich bezüglich der Strahlrichtung 12 teilweise nach hinten abgeleitet werden.

Ein fünftes Ausführungsbeispiel ist in Fig. 8 dargestellt. Hier ist der Deckel 22 als zweite Wärmesenke ausgeführt. Die Wärmeableitung vom Laserbarren erfolgt epitaxieseitig mit einem ersten Wärmespreizkörper 14 und einer ersten Wärmesenke 17, während substratseitig ein zweiter Wärmespreizkörper 19 und eine zweite Wärmesenke 22 vorgesehen sind. Beide Wärmespreizkörper 14, 19 sind in der erfindungsgemäßen Weise so ausgeführt, dass jeweils eine Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten bzw. des zweiten Wärmespreizkörpers jeweils einen Winkel α von mehr 45° zur Flächennormalen n der Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers bzw. zur Flächennormale n_2 des zweiten Wärmespreizkörpers einschließt. In analoger Weise fließt dann ein Wärmestrom $\vec{q}_2$ vom Laserelement 1 durch den zweiten Wärmespreizkörper zur zweiten Wärmesenke (Deckel) 22 ab.

Beide Wärmesenken 17, 22 bestehen aus Kupfer. Die zweite Wärmesenke 22 ist mittels eines elektrisch isolierenden Wärmeleitklebers 30 als Fügemitte mit der ersten Wärmesenke 17 flächig verbunden. Daher kann die Wärme von der zweiten Wärmesenke auf die erste Wärmesenke übertragen werden. Außerdem wird die Klemmkraft 26 zwischen beiden Wärmesenken durch das Fügemitte 30 aufrechterhalten, ohne dass keine von außen wirkende Kraft für den Betrieb des Halbleiterlasers erforderlich ist.

Fig. 9 zeigt eine Explosionsdarstellung des fünften Ausführungsbeispiels. Hier sind die erste Kontaktfläche 2, die darauf befindliche Dickgoldschicht 9 und die zweite Kontaktfläche 11 des Laserelements 1 ersichtlich. Die Fläche 15 ist die Wärmeeintrittsfläche, die Fläche 9 die Wärmeaustrittsfläche 16 des ersten Wärmespreizkörpers 14. Die Fläche 18 ist die Wärmeaufnahme fläche der ersten Wärmesenke 17. Die Fläche 20 ist die Wärmeeintrittsfläche, die Fläche 21 die Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers 19. Die Fläche 23 ist die

Wärmeaufnahme­fläche der zweiten Wärmesenke 22. Die Flächenbezeichnungen gelten in gleicher Weise für alle Ausführungsbeispiele.

5 In einer nicht figürlich dargestellten Abwandlung des vierten Ausführungsbeispiels ist kein zweiter Wärmespreizkörper vorgesehen, sondern die zweite Kontaktfläche des Laserelements liegt direkt an der Wärmeaufnahme­fläche der zweiten Wärmesenke an. Die Stufenhöhe der Wärmesenken ist dann natürlich entsprechend geringer auszuführen.

10 Fig. 10 zeigt ein sechstes Ausführungsbeispiel, bei dem mehrere Laserbarren 1 mit jeweils einem Emitter 13 elektrisch parallel geschaltet sind. Der erste Wärmespreizkörper 14 ist entsprechend breit (in x-Richtung ausgedehnt) ausgeführt, so dass mehrere Laserelemente 1 jeweils in Richtung x versetzt zueinander angeordnet werden können. Jeder Laserbarren 1 besitzt nur einen emittierenden Bereich (Breitstreifenemitter) 13.. Solche Laserbarren werden auch als Einzelemitter bezeichnet. Sie werden gemeinsam über die erste Wärmesenke 17 und den Deckel 22 elektrisch kontaktiert.

15

Bezugszeichen:

1. Laserelement
2. erste Kontaktfläche, beispielsweise p Kontakt
- 5 3. Substrat
4. Lichtführungsschicht (cladding)
5. aktive Schicht (quantum well Struktur)
6. Deckschicht
7. Isolationsschicht
- 10 8. Elektrode (p-Kontakt)
9. Metallschicht
10. Betriebsstrom
11. zweite Kontaktfläche, beispielsweise n Kontakt
12. Austrittsrichtung der Laserstrahlung
- 15 13. Gewinnbereich, Emitter
14. erster Wärmespreizkörper
15. Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers
16. Wärmeaustrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers
17. erste Wärmesenke
- 20 18. Wärmeaufnahme­fläche der ersten Wärmesenke
19. zweiter Wärmespreizkörper
20. Wärmeeintrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers
21. Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers
22. Deckel, zweite Wärmesenke
- 25 23. Wärmeaufnahme­fläche der zweiten Wärmesenke
24. dritter Wärmespreizkörper
25. ab Ebenen beispielsweise einer hexagonalen Grafitstruktur
26. Klemmkraft
27. Befestigungsmittel, Schraube
- 30 28. Federelement
29. Isolationselement
30. Fügemit­tel

Patentansprüche:

1. Halbleiterlaser, umfassend ein Laserelement (1), einen ersten Wärmespreizkörper (14) mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit, die in einer Richtung z' eine geringste Wärmeleitfähigkeit aufweist, und eine erste Wärmesenke (17), wobei das Laserelement eine erste Kontaktfläche (2) aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche (15) des ersten Wärmespreizkörpers (14) steht und die Wärmeeintrittsfläche des ersten Wärmespreizkörpers eine erste Flächennormale n hat und der erste Wärmespreizkörper (14) weiterhin eine Wärmeaustrittsfläche (16) aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeaufnahme­fläche (18) der ersten Wärmesenke (17) steht,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers (14) einen ersten Winkel α von mehr als 5° zur Flächennormalen n der Wärmeeintrittsfläche (15) des ersten Wärmespreizkörpers (14) einschließt.
2. Halbleiterlaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Winkel α zwischen 10° und 90° beträgt oder der erste Winkel α ein rechter Winkel ist.
3. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Laserelement (1) ein Diodenlaserbarren mit einem oder mehreren Emittern ist.
4. Halbleiterlaser nach Anspruch 3 umfassend außerdem wenigstens ein zweites als Laserbarren ausgeführtes Laserelement, welches zu dem Laserelement versetzt angeordnet ist und elektrisch zum Laserelement parallel geschaltet ist.
5. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, umfassend außerdem einen zweiten Wärmespreizkörper (19) mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit und eine zweite Wärmesenke (22), wobei das Laserelement eine zweite Kontaktfläche (11) aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche (20) des zweiten Wärmespreizkörpers steht und der zweite Wärmespreizkörper weiterhin eine Wärmeaustrittsfläche (21) aufweist, die im thermischen Kontakt mit einer Wärmeaufnahme­fläche (23) der zweiten Wärmesenke steht.
6. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Laserelement (1) einen oder mehrere elektrisch gepumpte Gewinnbereiche aufweist und dass das Laserelement auf der ersten Kontaktfläche (2) eine Metallschicht (9) mit einer Dicke größer $0,5\ \mu\text{m}$ zur Spreizung des elektrischen Betriebsstromes aufweist.

7. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der thermische Kontakt zwischen der Wärmeaustrittsfläche (16) des ersten Wärmespreizkörpers (14) und der ersten Wärmesenke (17) mittels eines dritten Wärmespreizkörpers (24) mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit dadurch bewirkt wird, dass die Wärmeaustrittsfläche (16) des ersten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers steht und eine Wärmeaustrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit der Wärmeaufnahme­fläche (18) der ersten Wärmesenke steht und die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des dritten Wärmespreizkörpers senkrecht zur Flächennormale der Wärmeeintrittsfläche des dritten Wärmespreizkörpers orientiert ist und die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des dritten Wärmespreizkörpers verschieden von der Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers ist und/oder dass der thermische Kontakt zwischen der Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers (19) und der zweiten Wärmesenke (22) mittels eines vierten Wärmespreizkörpers mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit dadurch bewirkt wird, dass die Wärmeaustrittsfläche des zweiten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit einer Wärmeeintrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers steht und eine Wärmeaustrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers in thermischem Kontakt mit der Wärmeaufnahme­fläche der zweiten Wärmesenke steht und die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des vierten Wärmespreizkörpers senkrecht zur Flächennormale der Wärmeeintrittsfläche des vierten Wärmespreizkörpers orientiert ist und die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des vierten Wärmespreizkörpers verschieden von der Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des zweiten Wärmespreizkörpers ist
8. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Wärmespreizkörper (14) Grafit, vorzugsweise orientiertes pyrolytisches Grafit umfasst oder aus diesem besteht.
9. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Wärmespreizkörper (14) eine Dicke von 0,2 mm bis 5 mm hat.
10. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Laserelement (1) kraftschlüssig mit dem ersten Wärmespreizkörper (14) und/oder dem zweiten Wärmespreizkörper (19) verbunden ist.

11. Halbleiterlaser nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlung im Laserelement eine longitudinale Richtung y aufweist, die parallel zur ersten Kontaktfläche ist, und die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers (14) in Richtung der longitudinalen Richtung liegt.

5

12. Halbleiterlaser nach Anspruch 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlung im Laserelement eine longitudinale Richtung y aufweist, die parallel zur ersten Kontaktfläche ist, und die Richtung z' der geringsten Wärmeleitfähigkeit des ersten Wärmespreizkörpers (14) senkrecht zur Richtung der longitudinalen Richtung liegt.

10

13. Verfahren zur Wärmeableitung von einem Laserelement mittels eines Wärmespreizkörpers (14) mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit nach einem der vorgenannten Ansprüche, welcher eine Wärmeeintrittsfläche (15) mit einer Flächennormale n aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung der geringsten Wärmeleitfähigkeit des Wärmespreizkörpers (14) in einem Winkel von mehr als 5° zur Flächennormale n angeordnet ist.

15

14. Verfahren zur Verminderung oder Beseitigung der Kompressibilität von pyrolytischem Grafit mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit zur Verwendung als Wärmespreizkörper (14) nach einem der vorgenannten Ansprüche, umfassend folgende Schritte:

20

Herstellung des pyrolytischen Grafit mit zwei parallelen Oberflächen,

Aufbringen eines uniaxialen statischen oder dynamischen Drucks von einer zur anderen

Oberfläche des pyrolytischen Grafits,

Wegnahme des uniaxialen Drucks,

Herstellung des Wärmespreizkörpers mit einer Wärmeeintragsfläche aus dem pyrolytischen Grafit,

25

wobei das Maximum des uniaxialen statischen oder dynamischen Drucks die durch einen

Kraftschluss auf die Wärmeeintragsfläche eingetragene Druckkraft in einem eingebauten

Zustand des Wärmespreizkörpers in einen Halbleiterlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 12

um wenigstens das Dreifache übersteigt.

30

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass während des Schrittes des Aufbringens eines Druckes eine Wärmebehandlung erfolgt.

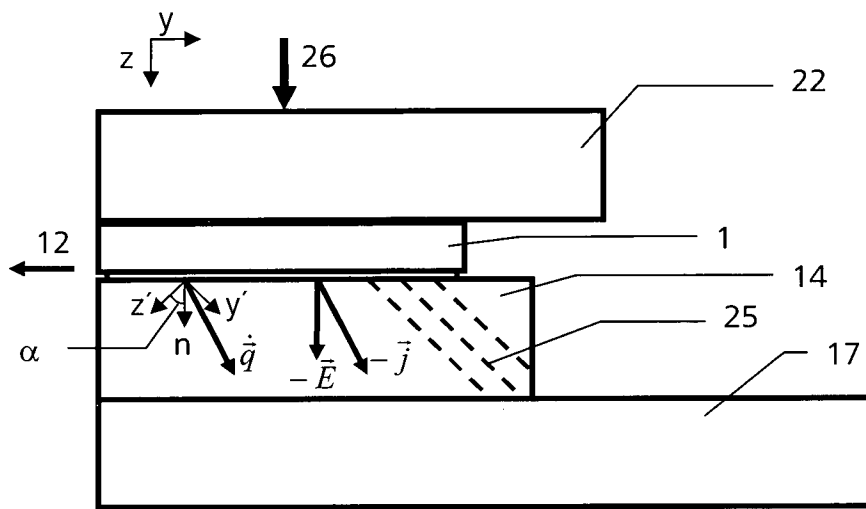


Fig. 1

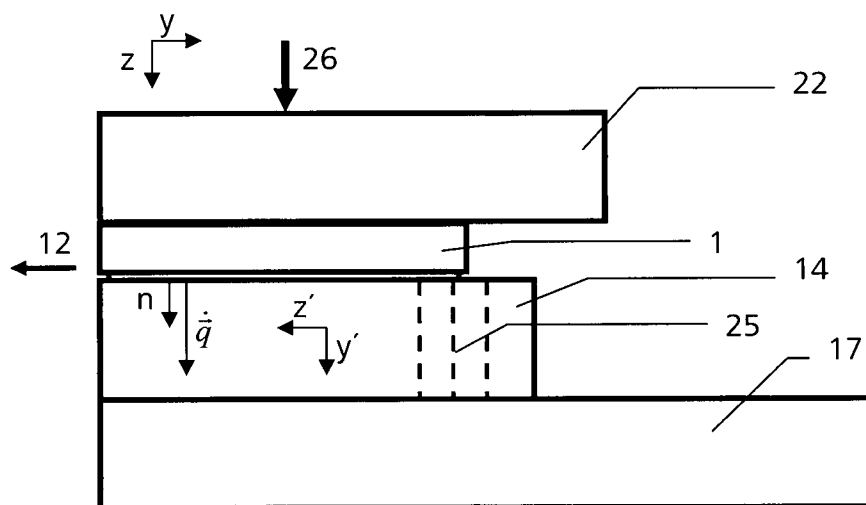


Fig. 2

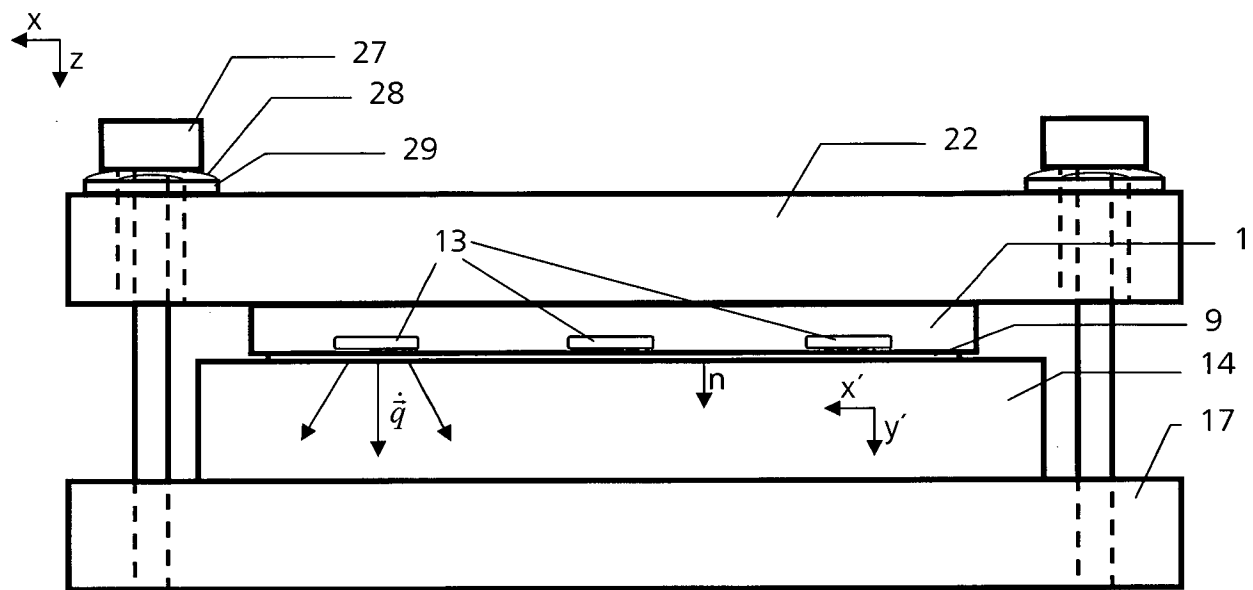


Fig. 3

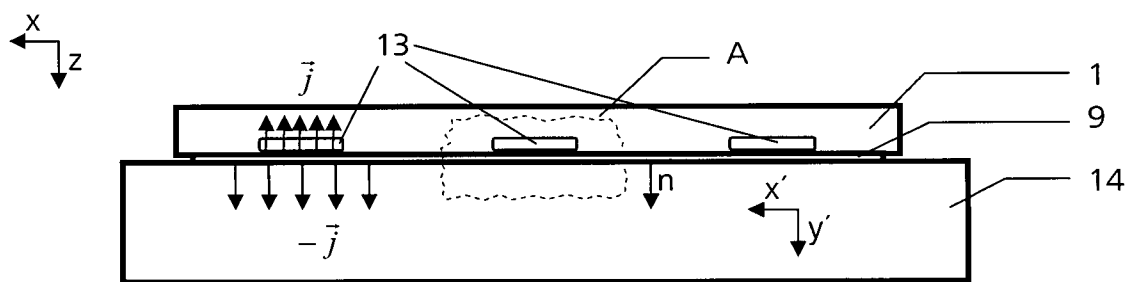


Fig. 4

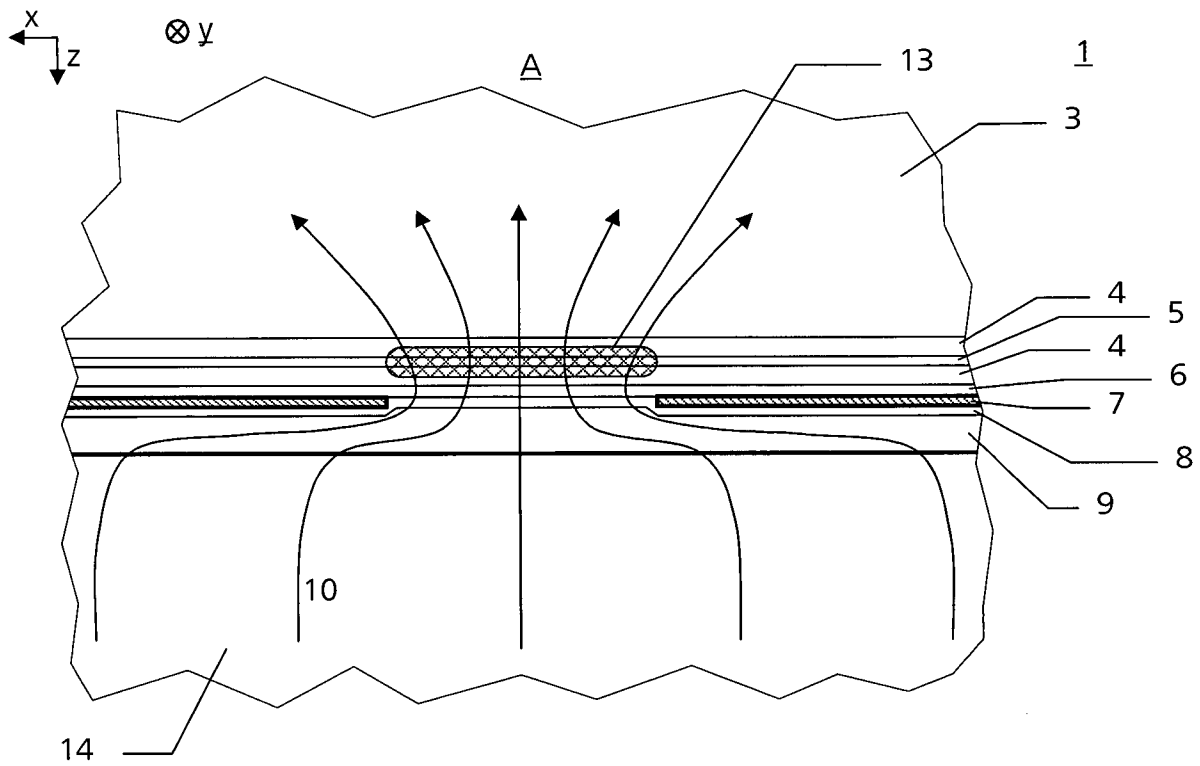


Fig. 5

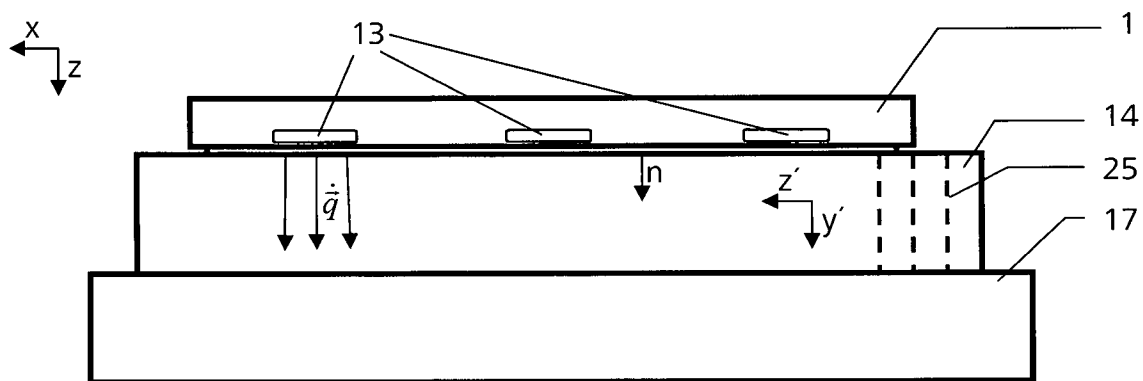


Fig. 6

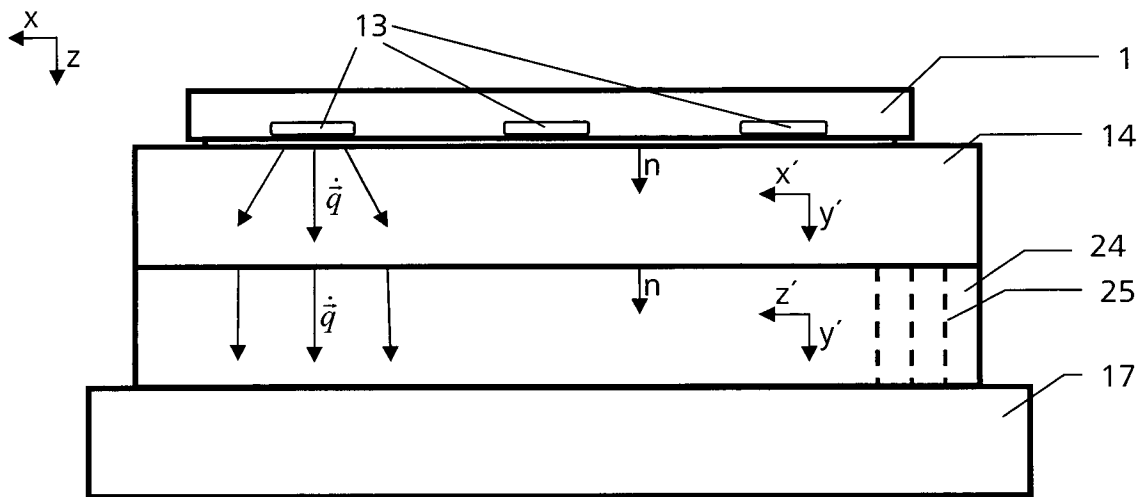


Fig. 7

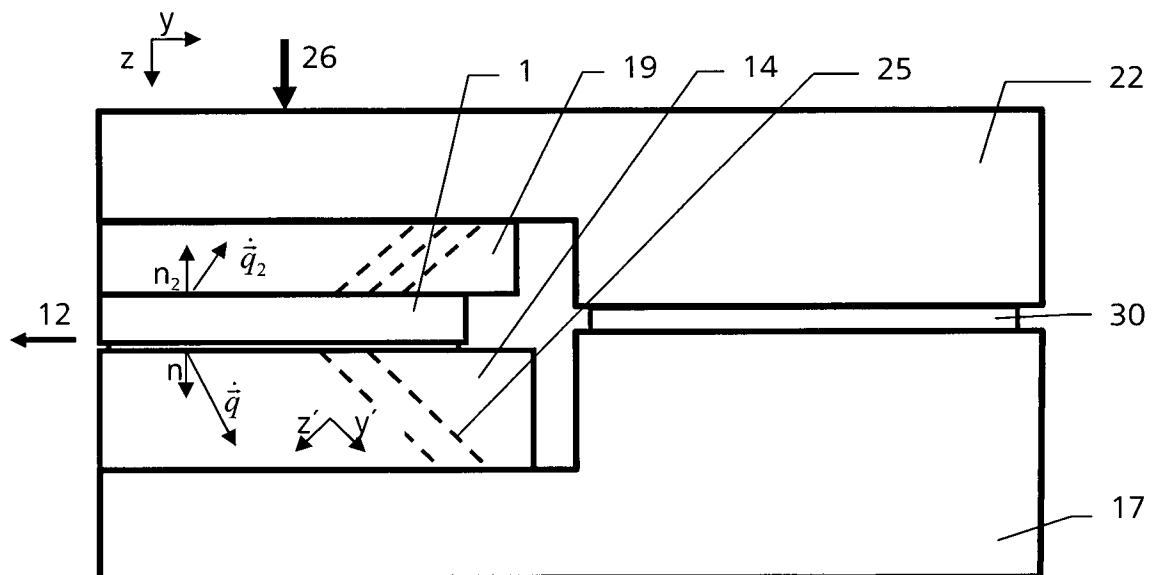


Fig. 8

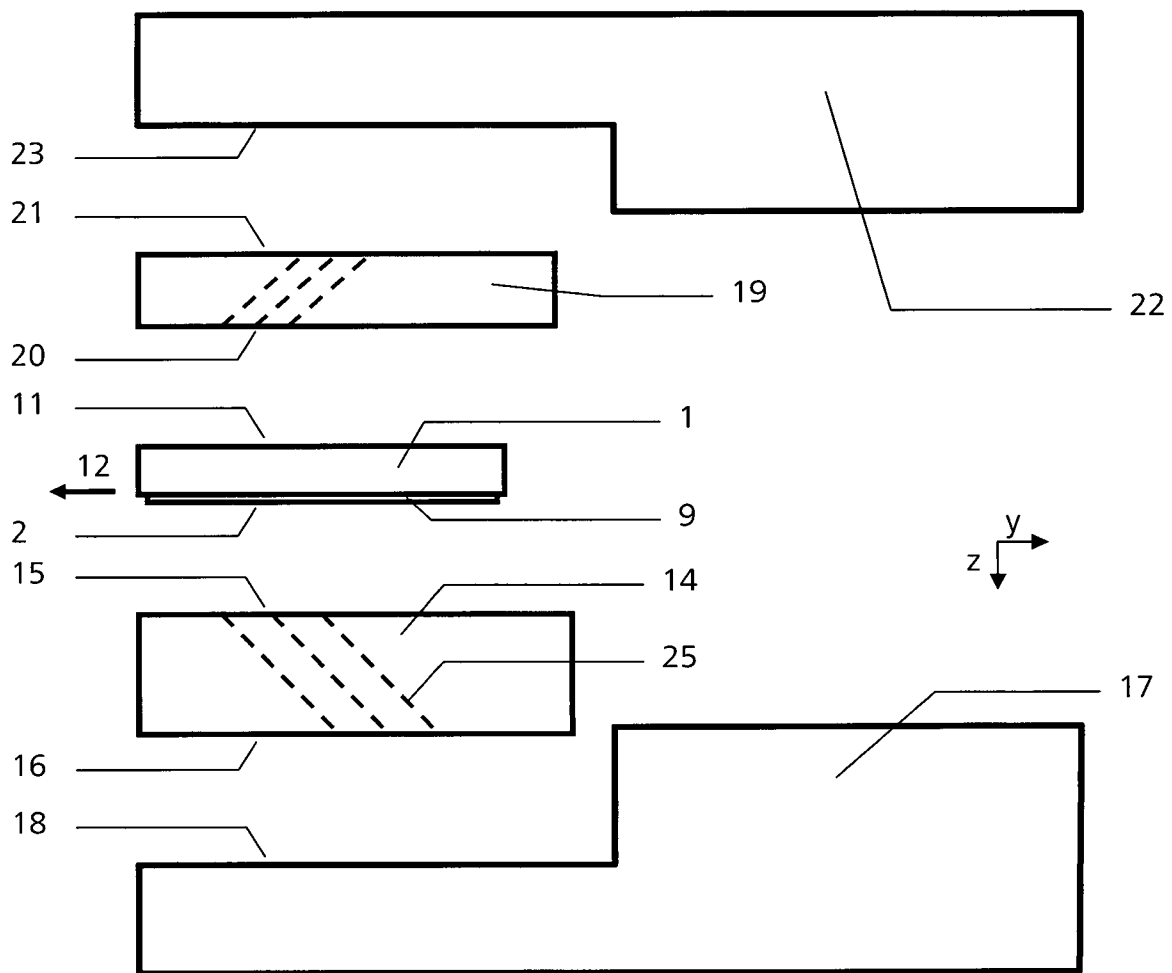


Fig. 9

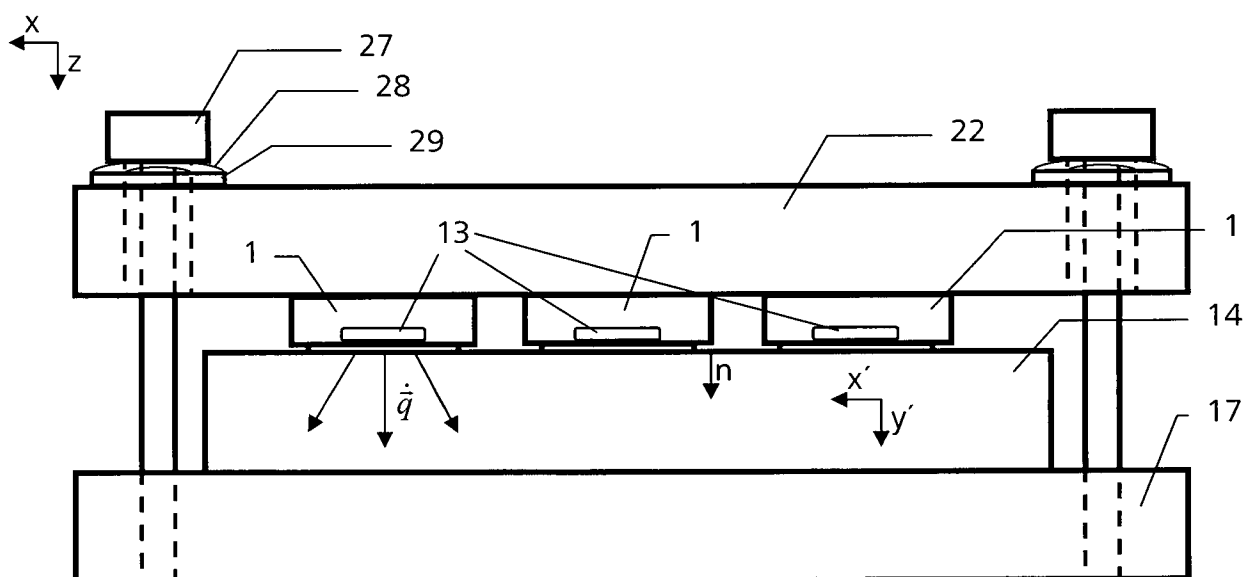


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/000092

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01S5/024
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 906 496 A2 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 2 April 2008 (2008-04-02) paragraph [0060] - paragraph [0070]; figures 1B, 4, 5 -----	1-13
X	EP 0 590 232 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 6 April 1994 (1994-04-06) page 10, line 8 - line 33; figure 14 -----	1,13
A	WO 2011/106771 A1 (GRAFTECH INT HOLDINGS INC [US]; REIS BRADLEY E [US]; REYNOLDS ROBERT A) 1 September 2011 (2011-09-01) page 2; figure 1 -----	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 April 2015

Date of mailing of the international search report

22/06/2015

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Flierl, Patrik

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2015/000092

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see extra sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-13

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-13

Semiconductor laser comprising a heat-expandable member having anisotropic thermal conductivity

2. Claims 14, 15

Method for reducing the compressibility of pyrolytic graphite

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/000092

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1906496	A2	02-04-2008	EP 1906496 A2 02-04-2008
			JP 5156318 B2 06-03-2013
			JP 2008091916 A 17-04-2008

EP 0590232	A1	06-04-1994	DE 69312836 D1 11-09-1997
			DE 69312836 T2 15-01-1998
			EP 0590232 A1 06-04-1994
			JP 2863678 B2 03-03-1999
			JP H06112596 A 22-04-1994

WO 2011106771	A1	01-09-2011	CN 102860013 A 02-01-2013
			EP 2540085 A1 02-01-2013
			JP 3185491 U 22-08-2013
			KR 20120007860 U 15-11-2012
			US 2013057835 A1 07-03-2013
			WO 2011106771 A1 01-09-2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01S5/024
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01S

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 906 496 A2 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 2. April 2008 (2008-04-02) Absatz [0060] - Absatz [0070]; Abbildungen 1B, 4, 5	1-13
X	EP 0 590 232 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 6. April 1994 (1994-04-06) Seite 10, Zeile 8 - Zeile 33; Abbildung 14	1,13
A	WO 2011/106771 A1 (GRAFTECH INT HOLDINGS INC [US]; REIS BRADLEY E [US]; REYNOLDS ROBERT A) 1. September 2011 (2011-09-01) Seite 2; Abbildung 1	1-13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. April 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/06/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Flierl, Patrik

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. ☒ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:
1-13

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- ☐ Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- ☐ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-13

Halbleiterlaser mit einem Wärmespreizkörper mit anisotroper Wärmeleitfähigkeit

2. Ansprüche: 14, 15

Verfahren zur Verminderung der Kompressibilität von pyrolytischem Graphit

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/000092

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1906496	A2	02-04-2008	EP 1906496 A2 02-04-2008
			JP 5156318 B2 06-03-2013
			JP 2008091916 A 17-04-2008

EP 0590232	A1	06-04-1994	DE 69312836 D1 11-09-1997
			DE 69312836 T2 15-01-1998
			EP 0590232 A1 06-04-1994
			JP 2863678 B2 03-03-1999
			JP H06112596 A 22-04-1994

WO 2011106771	A1	01-09-2011	CN 102860013 A 02-01-2013
			EP 2540085 A1 02-01-2013
			JP 3185491 U 22-08-2013
			KR 20120007860 U 15-11-2012
			US 2013057835 A1 07-03-2013
			WO 2011106771 A1 01-09-2011
