

(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
26. Juli 2018 (26.07.2018)

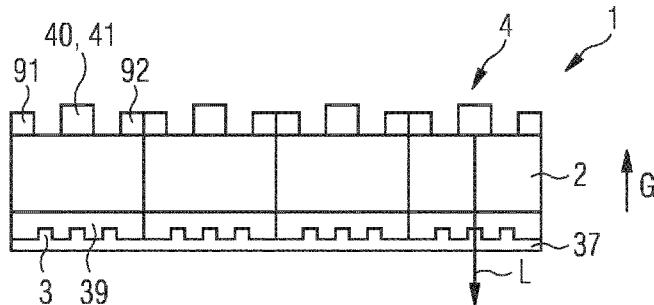
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/134086 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 5/183 (2006.01) *H01S 5/022* (2006.01)
H01S 5/042 (2006.01) *H01S 5/42* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/050459
- (22) Internationales Anmeldedatum: 09. Januar 2018 (09.01.2018)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2017 100 997.3
19. Januar 2017 (19.01.2017) DE
- (71) Anmelder: OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE/DE]; Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg (DE).
- (72) Erfinder: HALBRITTER, Hubert; Am Arzberg 3, 92345 Dietfurt (DE). PLÖSSL, Andreas; Johann-Igl-Weg 24, 93051 Regensburg (DE). ENZMANN, Roland Heinrich; Ostheim 1, 93055 Regensburg (DE). BEHRINGER, Martin Rudolf; Utastr. 1, 93049 Regensburg (DE).
- (74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH; Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

(54) Title: SEMICONDUCTOR LASER AND METHOD FOR PRODUCING SUCH A SEMICONDUCTOR LASER

(54) Bezeichnung: HALBLEITERLASER UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES SOLCHEN HALBLEITERLASERS

FIG 5



(57) Abstract: The invention relates to, in one embodiment, a semiconductor laser (1) comprising a surface-emitting semiconductor laser chip (4) having a semiconductor layer sequence (40) having an active zone (41) for generating laser radiation (L), and a light exit surface (44) that is oriented perpendicular to a growth direction (G) of the semiconductor layer sequence (40). The semiconductor laser (1) further comprises a diffractive optical element (3), which is designed for expanding and distributing the laser radiation (L) such that the semiconductor laser (1) is preferably eye-safe. An optically effective structure (33) of the diffractive optical element (3) is made of a material having a refractive index of at least 1.65 or 2.0.

(57) Zusammenfassung: In einer Ausführungsform umfasst der Halbleiterlaser (1) einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaserchip (4), der eine Halbleiterschichtenfolge (40) mit einer aktiven Zone (41) zur Erzeugung von Laserstrahlung (L) und eine Lichtaustrittsfläche (44), die senkrecht zu einer Wachstumsrichtung (G) der Halbleiterschichtenfolge (40) orientiert ist, aufweist. Ferner beinhaltet der Halbleiterlaser (1) ein diffraktives optisches Element (3), das zur Aufweitung und Verteilung der Laserstrahlung (L) eingerichtet ist, so dass der Halbleiterlaser (1) bevorzugt augensicher ist. Eine optisch wirksame Struktur (33) des diffraktiven optischen Elements (3) ist aus einem Material mit einem Brechungsindex von mindestens 1,65 oder 2,0.

WO 2018/134086 A1

WO 2018/134086 A1

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

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

HALBLEITERLASER UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES SOLCHEN
HALBLEITERLASERS

5

Es wird ein Halbleiterlaser angegeben. Darüber hinaus wird ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Halbleiterlasers angegeben.

10 Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, einen Halbleiterlaser anzugeben, der augensicher und effizient herstellbar ist.

Diese Aufgabe wird unter anderem durch einen Halbleiterlaser und durch ein Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen
15 Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform beinhaltet der Halbleiterlaser einen oder mehrere Halbleiterlaserchips. Der
20 mindestens eine Halbleiterlaserchip umfasst eine Halbleiterschichtenfolge. Die Halbleiterschichtenfolge beinhaltet eine oder mehrere aktive Zonen zur Erzeugung von Laserstrahlung. Außerdem weist der Halbleiterlaserchip eine Lichtaustrittsfläche auf. An der Lichtaustrittsfläche erfolgt
25 die Emission der Laserstrahlung.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform handelt es sich bei dem zumindest einen Halbleiterlaserchip um einen Oberflächenemitter. Dies bedeutet insbesondere, dass der
30 Halbleiterlaserchip die im Betrieb erzeugte Laserstrahlung an einer vergleichsweise großen Oberfläche emittiert. Die Oberfläche, also die Lichtaustrittsfläche, an der der Halbleiterlaserchip die Laserstrahlung emittiert, ist

- 2 -

bevorzugt senkrecht oder näherungsweise senkrecht zu einer Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge orientiert, sodass eine Resonatorrichtung parallel oder näherungsweise parallel zur Wachstumsrichtung verläuft. Näherungsweise
5 bedeutet hier und im Folgenden insbesondere mit einer Toleranz von höchstens 15° oder 5° oder 2° . Im Gegensatz zu Oberflächenemittern weisen Kantenemitter dagegen eine Emissionsrichtung und Resonatorrichtung in Richtung senkrecht zur Wachstumsrichtung auf.

10

Die Halbleiterschichtenfolge basiert bevorzugt auf einem 13-15-Verbindungshalbleitermaterial. Bei dem Halbleitermaterial handelt es sich zum Beispiel um ein Nitrid-

15 Verbindungshalbleitermaterial wie $\text{Al}_n\text{In}_{1-n-m}\text{Ga}_m\text{N}$ oder um ein

Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial wie

$\text{Al}_n\text{In}_{1-n-m}\text{Ga}_m\text{P}$ oder auch um ein Arsenid-

Verbindungshalbleitermaterial wie $\text{Al}_n\text{In}_{1-n-m}\text{Ga}_m\text{As}$ oder wie

$\text{Al}_n\text{Ga}_m\text{In}_{1-n-m}\text{As}_k\text{P}_{1-k}$, wobei jeweils $0 \leq n \leq 1$, $0 \leq m \leq 1$ und $n + m \leq 1$ sowie $0 \leq k < 1$ ist. Bevorzugt gilt dabei für

20

zumindest eine Schicht oder für alle Schichten der

Halbleiterschichtenfolge $0 < n \leq 0,8$, $0,4 \leq m < 1$ und $n + m \leq 0,95$ sowie $0 < k \leq 0,5$. Dabei kann die

Halbleiterschichtenfolge Dotierstoffe sowie zusätzliche

Bestandteile aufweisen. Der Einfachheit halber sind jedoch

25

nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters der

Halbleiterschichtenfolge, also Al, As, Ga, In, N oder P,

angegeben, auch wenn diese teilweise durch geringe Mengen weiterer Stoffe ersetzt und/oder ergänzt sein können.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst der

Halbleiterlaser zumindest ein diffraktives optisches Element, kurz DoE. Das oder die diffraktiven optischen Elemente sind

zur Aufweitung und zu einer Verteilung der Laserstrahlung

eingerichtet, insbesondere zur Verteilung der Laserstrahlung über einen größeren Raumwinkelbereich hinweg. Über das diffraktive optische Element ist erreichbar, dass der Halbleiterlaser aufgrund der damit verbundenen Divergenz der

5 Laserstrahlung für das menschliche Auge nicht besonders gefährlich ist, so dass der Halbleiterlaser ohne weitere Maßnahmen augensicher ist und die hierfür erforderlichen gesetzlichen Bestimmungen erfüllt.

10 Alternativ zu einem diffraktiven optischen Element kann jeweils auch allgemein ein strahlaufweitendes optisches Element vorhanden sein. Bei dem strahlaufweitenden optischen Element handelt es sich etwa um ein Mikrolinsenfeld, englisch Micro Lens Array oder kurz MLA. Das Mikrolinsenfeld weist 15 eine Vielzahl von Einzellinsen auf, die bevorzugt dicht angeordnet sind. Die erzeugte Laserstrahlung durchläuft einen Bereich der Lichtaustrittsfläche, der bevorzugt von mindestens 10 oder 30 oder 100 der Mikrolinsen bedeckt ist. Alternativ oder zusätzlich kann das strahlaufweitende 20 optische Element eine Streuschicht, auch als Diffusor bezeichnet, aufweisen oder hieraus bestehen. Eine Streuschicht umfasst insbesondere eine Aufrauung, an der die Laserstrahlung gestreut wird, und/oder Streupartikel in einem für die Laserstrahlung durchlässigen Matrixmaterial. Die 25 nachfolgenden Ausführungen für das diffraktive optische Element gelten gleichermaßen für das strahlaufweitende optische Element.

30 Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist eine optisch wirksame Struktur des diffraktiven optischen Elements aus einem Material mit einem hohen Brechungsindex gebildet. Insbesondere liegt der Brechungsindex dieses Materials bei mindestens 1,65 oder 1,75 oder 1,8 oder 2,0 oder 2,2. Die

- 4 -

genannten Werte für den Brechungsindex gelten bevorzugt bei einer Betriebstemperatur des Halbleiterlasers und bei einer Wellenlänge maximaler Intensität der im Betrieb erzeugten Laserstrahlung. Der Brechungsindex liegt ferner bevorzugt
5 oberhalb dem von Epoxiden. Hochbrechende Epoxide erreichen etwa einen Wert von bis zu 1,6.

Bei der optisch wirksamen Struktur handelt es sich insbesondere um eine gitterartige Struktur, die ähnlich wie
10 ein Beugungsgitter und/oder ein Hologramm für die Laserstrahlung wirkt. Über die optisch wirksame Struktur wird die Laserstrahlung aufgeweitet und verteilt, wobei die Aufweitung und Verteilung bevorzugt maßgeblich oder ausschließlich auf Lichtbeugung zurückgeht.

15

Die optisch wirksame Struktur ist beispielsweise aus einem 13-15-Verbindungshalbleitermaterial gefertigt. Ebenso können 12-16-Halbleiter wie ZnO, ZnS oder ZnTe oder Ga₂O₃, In₂O₃ verwendet werden. Weiterhin können anstelle von
20 einkristallinen Halbleiterschichten, über metallorganische Gasphasenabscheidung hergestellt, auch andere Halbleiterschichten eingesetzt werden. Insbesondere sind etwa amorphe Schichten von Metalloxiden mit hohem Brechungsindex wie ZnO, SnO₂ oder Ta₂O₅ für die optisch wirksame Struktur
25 verwendbar.

Weitere Beispiele für Materialien für die optisch wirksame Struktur sind Al₂O₃, speziell als Saphir-Kristall, GaAs oder GaN, insbesondere, wenn die optisch wirksame Struktur in das
30 Wachstumssubstrat des Lasers oder der Halbleiterschichtenfolge geätzt wird. Soll die optisch wirksame Struktur aus einer auf die Laserscheibe abgeschiedenen Schicht hergestellt werden, können auch

Schichten von Dielektrika wie Aluminiumoxid oder Siliziumnitrid, jeweils nicht unbedingt genau stöchiometrisch zusammengesetzt und/oder meist amorph, praktikabel sein.

- 5 In mindestens einer Ausführungsform umfasst der Halbleiterlaser wenigstens einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaserchip, der eine Halbleiterschichtenfolge mit mindestens einer aktiven Zone zur Erzeugung von Laserstrahlung und eine Lichtaustrittsfläche, die senkrecht zu einer Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge orientiert ist, aufweist. Ferner beinhaltet der Halbleiterlaser ein diffraktives optisches Element, das zur Aufweitung und Verteilung der Laserstrahlung eingerichtet ist, so dass der Halbleiterlaser bevorzugt augensicher ist.
- 10 Eine optisch wirksame Struktur des diffraktiven optischen Elements ist aus einem Material mit einem Brechungsindex von mindestens 1,65 oder 2,0, bezogen auf eine Wellenlänge maximaler Intensität der Laserstrahlung.
- 15 In mindestens einer Ausführungsform umfasst der Halbleiterlaser wenigstens einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaserchip, der eine Halbleiterschichtenfolge mit mindestens einer aktiven Zone zur Erzeugung von Laserstrahlung und eine Lichtaustrittsfläche, die senkrecht zu einer Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge orientiert ist, aufweist. Ferner beinhaltet der Halbleiterlaser ein strahlaufweitendes optisches Element, das zur Aufweitung und Verteilung der Laserstrahlung eingerichtet ist, so dass der Halbleiterlaser augensicher ist. Eine
- 20 optisch wirksame Struktur des strahlaufweitenden optischen Elements kann aus einem Material mit einem hohen Brechungsindex sein. Bevorzugt umfasst die Halbleiterschichtenfolge mindestens einen Bragg-Spiegel, der
- 25
- 30

- 6 -

von zumindest einer elektrischen Durchkontaktierung durchlaufen wird. Ein elektrischer Kontakt kann rings um die Lichtaustrittsfläche herum angebracht sein. Dieser Kontakt befindet sich bevorzugt zwischen dem strahlaufweitenden
5 optischen Element und dem zugehörigen Bragg-Spiegel, den die Durchkontaktierung zum Anschließen dieses Kontakts durchläuft.

Für viele Anwendungen ist es erforderlich, dass eine
10 Lichtquelle augensicher für das menschliche Auge ist. Bei Halbleiterlasern sind hierzu zusätzliche Maßnahmen zu treffen, insbesondere kann eine Aufweitung und Verteilung von Laserstrahlung über diffraktive optische Elemente erfolgen.
Ist ein solches diffraktives optisches Element aus einem
15 Material mit einem relativ niedrigen Brechungsindex gebildet, so kann der Augenschutz abhängig von den Umgebungsbedingungen eingeschränkt sein.

Beispielsweise im Falle einer Betauung oder
20 Kondenswasserbildung oder Feuchteniederschlag auf dem diffraktiven optischen Element kann aufgrund des dann reduzierten Brechungsindexunterschieds zwischen der Umgebung und der optischen wirksamen Struktur die strahlaufweitende Wirkung des diffraktiven optischen Elements verloren gehen.
25 Bei dem hier beschriebenen Halbleiterlaser ist dieses Problem behoben, da selbst im Falle einer Betauung des diffraktiven optischen Elements ein hinreichend großer Brechungsindexunterschied besteht, um die Augensicherheit über die Strahlformung durch das diffraktive optische Element
30 zu gewährleisten.

Ferner ist es möglich, das hier beschriebene diffraktive optische Element über ein Verbindungsmitte an dem

- 7 -

Halbleiterlaserchip zu befestigen. Dabei können als Klebstoff etwa organische Kunststoffe verwendet werden oder auch anorganische Materialien mit einem vergleichsweise niedrigen Brechungsindex wie SiO₂. Solche Materialien können in die

5 optisch wirksame Struktur eindringen und die etwa gitterähnliche optisch wirksame Struktur auch ausfüllen, da aufgrund des immer noch vorhandenen, signifikanten Brechungsindexunterschieds das diffraktive optische Element nach wie vor funktioniert.

10

Durch die Verwendung entsprechender Materialien ist es zudem möglich, dass das diffraktive optische Element über einen entsprechenden Fügungsprozess entweder auf Wafer-Ebene auf die noch nicht vereinzelten Halbleiterlaserchips aufgebracht wird oder bereits vereinzelten Halbleiterlaserchips gemeinsam 15 oder in Gruppen zugeordnet wird. Durch die optisch wirksame Struktur mit dem hohen Brechungsindex sind solche Verfahren effizient ermöglicht.

20

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist der Halbleiterlaser oberflächenmontierbar. Das heißt, der Halbleiterlaser ist bevorzugt mit bleifreien Lötprozessen oder auch Klebeprozessen zur Oberflächenmontage, englisch Surface Mount Technology oder kurz SMT, geeignet. Der Halbleiterlaser kann 25 insbesondere durchdringungsfrei mechanisch und/oder elektrisch auf einem Montageträger wie einer Platine angebracht werden.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform befindet sich das diffraktive optische Element an der Lichtaustrittsfläche. Zwischen dem diffraktiven optischen Element und der Lichtaustrittsfläche befindet sich bevorzugt lediglich ein Verbindungsmittel, über das das diffraktive optische Element

mit dem Halbleiterlaserchip verbunden ist. Insbesondere befindet sich das Verbindungsmitte ganzflächig zwischen der Lichtaustrittsfläche und dem diffraktiven optischen Element. Somit ist es möglich, dass die gesamte Lichtaustrittsfläche von dem Verbindungsmitte und dem diffraktiven optischen Element bedeckt ist. Das Verbindungsmitte ist in diesem Fall bevorzugt durchlässig, insbesondere transparent für die erzeugte Laserstrahlung.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform befindet sich die optisch wirksame Struktur des diffraktiven optischen Elements an einer dem Halbleiterlaser zugewandten Seite des diffraktiven optischen Elements. Insbesondere steht die optisch wirksame Struktur stellenweise oder ganzflächig in direktem Kontakt mit dem Verbindungsmitte und/oder ist die optisch wirksame Struktur teilweise oder vollständig von dem Verbindungsmitte ausgefüllt und/oder planarisiert.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform befindet sich das Verbindungsmitte zwischen dem Halbleiterlaserchip und dem diffraktiven optischen Element lediglich an einem Rand des diffraktiven optischen Elements. Insbesondere ist die Lichtaustrittsfläche frei oder überwiegend frei von dem Verbindungsmitte. Zwischen der Lichtaustrittsfläche und dem diffraktiven optischen Element kann stellenweise oder ganzflächig an der Lichtaustrittsfläche ein Spalt gebildet sein. Spalt bedeutet in diesem Zusammenhang etwa, dass kein Feststoff und keine Flüssigkeit vorhanden sind. Der Spalt kann mit einem oder mehreren Gasen gefüllt oder evakuiert sein. In diesem Fall kann das Verbindungsmitte auch undurchlässig für die erzeugte Laserstrahlung sein und ist beispielsweise ein Metall oder eine Metalllegierung.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform befindet sich das diffraktive optische Element direkt an der Lichtaustrittsfläche. Dies gilt bevorzugt ganzflächig über die gesamte Lichtaustrittsfläche hinweg. Dabei kann sich die

5 optisch wirksame Struktur an einer der Lichtaustrittsfläche zugewandten Seite des diffraktiven optischen Elements oder auch an einer der Lichtaustrittsfläche abgewandten Seite des diffraktiven optischen Elements befinden.

10 Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist das diffraktive optische Element ein Trägersubstrat auf. Bei dem Trägersubstrat handelt es sich beispielsweise um ein Halbleitersubstrat etwa aus Galliumnitrid oder Galliumarsenid oder um ein transparentes Material wie Saphir oder

15 Siliciumcarbid. Bevorzugt ist das Trägersubstrat durchlässig für die im Betrieb erzeugte Laserstrahlung.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist die optisch wirksame Struktur in dem Trägersubstrat gebildet.

20 Beispielsweise kann das Trägersubstrat etwa photolithographisch entsprechend strukturiert sein.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist die optisch wirksame Struktur aus einer Rohmaterialschicht gebildet, die

25 auf dem Trägersubstrat aufgebracht ist. Mit anderen Worten wird in diesem Fall nicht das Trägersubstrat selbst, sondern die Rohmaterialschicht strukturiert, beispielsweise photolithographisch oder über ein Nanoimprintverfahren.

30 Gemäß zumindest einer Ausführungsform durchdringt die optisch wirksame Struktur das diffraktive optische Element nur zum Teil. Insbesondere bleiben das Trägersubstrat und/oder die Rohmaterialschicht als durchgehende, ununterbrochene Schicht

erhalten. Mit anderen Worten reicht die optisch wirksame Struktur dann nur unvollständig durch das Trägersubstrat und/oder die Rohmaterialschicht hindurch. Alternativ ist es möglich, dass das diffraktive optische Element gänzlich von 5 der optisch wirksamen Struktur durchdrungen ist, sodass die optisch wirksame Struktur durchgehende Löcher oder Öffnungen in dem diffraktiven optischen Element ausbildet.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist die optisch 10 wirksame Struktur ein oder mehrere Halbleitermaterialien auf oder besteht aus einem oder mehreren Halbleitermaterialien. Es ist möglich, dass die optisch wirksame Struktur aus dem gleichen oder aus anderen Halbleitermaterialien hergestellt ist wie die Halbleiterschichtenfolge des 15 Halbleiterlaserchips. Umfasst oder besteht die optisch wirksame Struktur aus zumindest einem Halbleitermaterial, so stellt das Trägersubstrat des diffraktiven optischen Elements bevorzugt ein Aufwachsubstrat für dieses Halbleitermaterial der optisch wirksamen Struktur dar.

20 Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst der Halbleiterlaserchip ein Aufwachsubstrat für die Halbleiterschichtenfolge. Die Halbleiterschichtenfolge ist bevorzugt epitaktisch auf dem Aufwachsubstrat aufgewachsen 25 und das Aufwachsubstrat ist in dem fertigen Halbleiterlaser bevorzugt noch vorhanden.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist das diffraktive 30 optische Element in dem Aufwachsubstrat des Halbleiterlaserchips geformt. Dabei befindet sich das diffraktive optische Element, insbesondere dessen optisch wirksame Struktur, bevorzugt an einer der

Halbleiterschichtenfolge mit der aktiven Zone abgewandten Seite des Aufwachsubstrats.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform bildet das diffraktive
5 optische Element die Lichtaustrittsfläche des Halbleiterlaserchips. Mit anderen Worten verlässt die erzeugte Laserstrahlung den Halbleiterlaserchip an dem diffraktiven optischen Element, insbesondere an der optisch wirksamen Struktur.

10

Gemäß zumindest einer Ausführungsform sind das diffraktive optische Element und der Halbleiterlaserchip einstückig ausgebildet. Dies bedeutet beispielsweise, dass sich zwischen dem Halbleiterlaserchip und dem diffraktiven optischen Element keine Fügezone oder Verbindungsmittelschicht befindet. Insbesondere weisen der Halbleiterlaserchip und das diffraktive optische Element eine gemeinsame Komponente auf, die speziell durch das Aufwachsubstrat der Halbleiterschichtenfolge gebildet ist.

15

Gemäß zumindest einer Ausführungsform sind der Halbleiterlaserchip und ein Verbindungsmittel für das diffraktive optische Element auf einem gemeinsamen Montageträger angebracht. Dabei befindet sich das 25 Verbindungsmittel in Draufsicht auf die Lichtaustrittsfläche gesehen bevorzugt ausschließlich neben der Halbleiterschichtenfolge und/oder neben dem Halbleiterlaserchip und/oder neben der aktiven Zone. Insbesondere berühren sich das Verbindungsmittel und der 30 Halbleiterlaserchip nicht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform steht das Verbindungsmittel in direktem Kontakt mit dem Montageträger

und/oder dem diffraktiven optischen Element. Dabei kann das Verbindungsmittel in die optisch wirksame Struktur des diffraktiven optischen Elements greifen und diese Struktur zum Teil ausfüllen.

5

Gemäß zumindest einer Ausführungsform bedeckt das diffraktive optische Element die Lichtaustrittsfläche und/oder die Halbleiterschichtenfolge und/oder den Halbleiterlaserchip vollständig. Dies gilt insbesondere in Draufsicht gesehen.

10

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist der Halbleiterlaser mehrere der Halbleiterlaserchips auf. Die Halbleiterlaserchips können zueinander baugleich sein und Strahlung derselben Wellenlänge emittieren oder voneinander 15 verschieden gestaltet sein.

15

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist der Halbleiterlaserchip oder zumindest einer der Halbleiterlaserchips mehrere Laserbereiche auf. In diesem Fall umfasst der Halbleiterlaser bevorzugt genau einen Halbleiterlaserchip. Insbesondere im Fall von Lasern der Art von VCSEL, Vertical-Cavity Surface Emitting Laser, beinhaltet der Halbleiterlaserchip mehrere Laserbereiche, auch als Einzellaser bezeichnet, die bevorzugt parallel zueinander 20 ausgerichtet sind und/oder Resonatorachsen in Richtung parallel zur Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge aufzeigen. Die Einzellaser können einzelne VCSEL bilden, sodass der betreffende Halbleiterlaserchip ein VCSEL-Array darstellt. Über ein solches VCSEL-Feld kann eine ausreichende 25 oder besonders hohe optische Ausgangsleistung erzielt werden. Die Einzellaser sind bevorzugt matrixartig in dem Halbleiterlaserchip angeordnet und können bevorzugt parallel betrieben werden. Die Einzellaser können elektrisch parallel 30

zueinander geschaltet sein und/oder nur gemeinsam betreibbar sein. Ebenso können die Einzellaser einzeln oder in Gruppen elektrisch unabhängig voneinander ansteuerbar sein.

- 5 Es ist möglich, dass ein diffraktives optisches Element mehrere Halbleiterlaserchips und/oder mehrere Einzellaser gemeinsam überspannt und zu einem Bauteil zusammenfasst.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform sind die
10 Halbleiterlaserchips des Halbleiterlasers gemeinsam und bevorzugt vollständig von dem diffraktiven optischen Element überdeckt. Insbesondere können alle Lichtaustrittsflächen der Halbleiterlaserchips jeweils vollständig von dem diffraktiven optischen Element abgedeckt sein. Dabei erstreckt sich das
15 diffraktive optische Element bevorzugt zusammenhängend, einstückig und/oder lückenlos über alle Halbleiterlaserchips hinweg.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform befindet sich das
20 diffraktive optische Element nahe an dem Halbleiterlaserchip und/oder an der Lichtaustrittsfläche. Bevorzugt beträgt ein Abstand zwischen dem diffraktiven optischen Element und dem Halbleiterlaserchip höchstens ein 20-Faches oder 10-Faches oder 5-Faches und/oder mindestens ein 1-Faches oder 2-Faches
25 oder 4-Faches der Wellenlänge maximaler Intensität der Laserstrahlung. Alternativ oder zusätzlich liegt der Abstand zwischen dem Halbleiterlaserchip und dem diffraktiven optischen Element bei höchstens 0,5 mm oder 0,2 mm oder 0,05 mm oder 20 µm. Das heißt, zwischen dem diffraktiven optischen Element und dem Halbleiterlaserchip liegt keine
30 oder keine signifikante räumliche Trennung vor.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist das diffraktive optische Element und/oder der mindestens eine Halbleiterlaserchip stellenweise oder ganzflächig unmittelbar von einem Vergussmaterial umschlossen. Das Vergussmaterial
5 ist bevorzugt aus einem Kunststoff mit einem vergleichsweise niedrigen Brechungsindex gebildet, etwa einem Silikon oder einem Epoxid oder einem Acrylat oder einem Polycarbonat. Das Vergussmaterial ist bevorzugt transparent für die erzeugte Laserstrahlung.

10

Gemäß zumindest einer Ausführungsform berührt das Vergussmaterial die optisch wirksame Struktur. Das Vergussmaterial kann die optisch wirksame Struktur lediglich an einem Rand berühren oder auch vollflächig über die gesamte
15 Lichtaustrittsfläche hinweg.

20

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst die Halbleiterschichtenfolge einen oder mehrere Bragg-Spiegel. Der mindestens eine Bragg-Spiegel ist zur Reflexion der Laserstrahlung eingerichtet.

25

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist der Bragg-Spiegel von mindestens einer elektrischen Durchkontaktierung durchdrungen. Die Durchkontaktierung ist bevorzugt metallisch. Insbesondere ist die Durchkontaktierung von dem Bragg-Spiegel, durch den sie hindurch verläuft, elektrisch isoliert.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform befinden sich elektrische Anschlussflächen zum externen elektrischen Kontaktieren des Halbleiterlasers an einer gemeinsamen Seite der aktiven Zone. Damit kann der Halbleiterlaser oberflächenmontierbar sein.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist in dem mindestens einen Bragg-Spiegel oder mehreren der Bragg-Spiegel zumindest eine Stromeinengung erzeugt. Dadurch wird die aktive Zone im
5 Betrieb nur in einem oder in mehreren Stromdurchlassbereichen der Stromeinengung bestromt. Die Stromeinengung liegt bevorzugt innerhalb des zugehörigen Bragg-Spiegels und nicht an einem Rand des Bragg-Spiegels, entlang der Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge gesehen.

10

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst der Halbleiterlaser zwei der Bragg-Spiegel. Diese liegen an verschiedenen Seiten der aktiven Zone. Dabei ist es möglich, dass jeder der Bragg-Spiegel von der oder einer der oder
15 mehreren der Durchkontaktierungen durchdrungen ist.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst der Halbleiterlaser einen Anodenkontakt und/oder einen Kathodenkontakt. Die Kontakte sind bevorzugt metallische
20 Kontakte. Über die Kontakte erfolgt bevorzugt eine Stromeinprägung direkt in die Halbleiterschichtenfolge.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform erstreckt sich der Anodenkontakt und/oder der Kathodenkontakt zwischen die
25 Halbleiterschichtenfolge und das diffraktive optische Element. Damit kann die Lichtaustrittsfläche an einer dem diffraktiven optischen Element zugewandten Seite in Draufsicht gesehen ringsum von einem Material des Anodenkontakte und/oder des Kathodenkontakte umgeben sein.
30 Hierbei sind der Anodenkontakt und/oder der Kathodenkontakt für die erzeugte Laserstrahlung undurchlässig und/oder metallisch.

Darüber hinaus wird ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterlasers angegeben. Mit dem Verfahren wird bevorzugt ein Halbleiterlaser hergestellt, wie in Verbindung mit einer oder mehrerer der oben genannten Ausführungsformen angegeben.

- 5 Merkmale des Verfahrens sind daher auch für den Halbleiterlaser offenbart und umgekehrt.

In mindestens einer Ausführungsform umfasst das Verfahren die folgenden Schritte, bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge:

- 10 - Bereitstellen des Halbleiterlaserchips, und
- Anbringen des diffraktiven optischen Elements an dem Halbleiterlaserchip und/oder Formen des diffraktiven optischen Elements in dem Halbleiterlaserchip.
- 15 Bei dem hier beschriebenen Verfahren und dem hier beschriebenen Halbleiterlaser kann eine kostenintensive und/oder materialintensive aktive Justage auf Komponentenebene entfallen. Durch die Verwendung von Halbleiterprozessen, insbesondere durch eine passive Justage 20 auf Wafer-Ebene, kann zudem eine Kostenreduktion bei der Herstellung erfolgen. Beispielsweise ist es möglich, eine Erzeugung einer Komponente des Halbleiterlasers bereits auf Wafer-Ebene auf kundenspezifische Abstrahlcharakteristika abzustellen, etwa um eine kollimiertere Abstrahlung zur einfacheren Weiterverarbeitung auf Kundenseite zu 25 ermöglichen.

- Weiterhin lassen sich Schichten oder Materialien mit hohem Brechungsindex meist mit den in der Halbleiterfertigung verfügbaren Prozessen effizient strukturieren. Insbesondere lassen sich diffraktive optische Elemente bereits auf Wafer-Ebene mit den Halbleiterlaserchips kombinieren. Dies erlaubt es wirtschaftlich, diffraktive optische Elemente und

Halbleiterlaserchips präzise zueinander zu justieren, sofern dies benötigt wird. Dabei wird speziell ein Bestückungsaufwand signifikant reduziert. Außerdem kann bereits ein Testen der Halbleiterlaser auf Wafer-Ebene 5 erfolgen und schon auf Wafer-Ebene kann die Wirkung der diffraktiven optischen Elemente analysiert und überprüft werden.

Bei dem hier beschriebenen diffraktiven optischen Element, 10 das innig mit dem Halbleiterlaserchip verbunden ist, entfällt ein nachträgliches Abdecken der Halbleiterlaserchips mit einem separaten diffraktiven optischen Element. Außerdem kann das diffraktive optische Element bei dem hier beschriebenen Halbleiterlaser als Schutzschicht für den Halbleiterlaserchip 15 dienen. Wird das diffraktive optische Element beispielsweise auf den Halbleiterlaserchip aufgeklebt, so kann das Trägersubstrat des diffraktiven optischen Elements bereits ausreichenden mechanischen Schutz für den Halbleiterlaser gewährleisten. Aufgrund des hohen Brechungsindexes der 20 optisch wirksamen Struktur ist es außerdem möglich, dass sich die optisch wirksame Struktur an einer dem Halbleiterlaserchip abgewandten Seite des diffraktiven optischen Elements befindet und dass das diffraktive optische Element mit einem Einhausungskunststoff überzogen wird, um 25 einen zusätzlichen Schutz zu erreichen.

Nachfolgend werden ein hier beschriebener Halbleiterlaser und ein hier beschriebenes Verfahren unter Bezugnahme auf die Zeichnung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. 30 Gleiche Bezugszeichen geben dabei gleiche Elemente in den einzelnen Figuren an. Es sind dabei jedoch keine maßstäblichen Bezüge dargestellt, viel mehr können einzelne

Elemente zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

Es zeigen:

5

Figuren 1 bis 4, 15 und 16 schematische Schnittdarstellungen von Verfahrensschritten von Ausführungsbeispielen von hier beschriebenen Verfahren,

10 Figuren 5 bis 13, 14B und 17 schematische Schnittdarstellungen von Ausführungsbeispielen von hier beschriebenen Halbleiterlasern, und

15 Figur 14A eine schematische Draufsicht auf ein Ausführungsbeispiel eines hier beschriebenen Halbleiterlasers.

In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel eines Herstellungsverfahrens für einen hier beschriebenen 20 oberflächenmontierbaren Halbleiterlaser 1 illustriert. Gemäß Figur 1A wird ein Trägersubstrat 32 für ein diffraktives optisches Element 3 bereitgestellt. Bei dem Trägersubstrat 32 handelt es sich beispielsweise um ein Saphirsubstrat.

25 Auf dem Trägersubstrat 32 wird eine Trennschicht 34 erzeugt, etwa epitaktisch gewachsen. Die Trennschicht 34 ist beispielsweise eine GaN-Schicht. Weiterhin wird auf der Trennschicht 34 eine Rohmaterialschicht 35 abgeschieden, beispielsweise epitaktisch oder mittels Sputtern. Die 30 Rohmaterialschicht 35 ist beispielsweise aus Aluminiumnitrid.

Im Verfahrensschritt der Figur 1B wird in der Rohmaterialschicht 35 eine optisch wirksame Struktur 33

gebildet. Die optisch wirksame Struktur 33 wird etwa über Lithographie und Ätzen erzeugt. Beispielsweise weist die optisch wirksame Struktur 33, in Figur 1 durch eine Schraffur symbolisiert, in Draufsicht gesehen eine gitterähnliche Form auf. Strukturgrößen der optisch wirksamen Struktur 33 liegen in Draufsicht gesehen beispielsweise im Bereich eines Viertels oder einer halben Wellenlänge der im Betrieb des fertigen Halbleiterlasers 1 erzeugten Laserstrahlung L. Gleiches kann für eine Dicke der optisch wirksamen Struktur 33 gelten, wobei die Dicke alternativ oder zusätzlich kleiner oder gleich 2 µm oder 1 µm ist. Die optisch wirksame Struktur 33 durchdringt die Rohmaterialschicht 35 nur zum Teil. Hier und im Folgenden ist die optisch wirksame Struktur 33 lediglich stark vereinfacht veranschaulicht.

15

In Draufsicht weist die optisch wirksame Struktur 33 bevorzugt Strukturelemente mit einer mittleren Größe von mindestens 0,5 µm bis 1 µm auf. Eine Höhe der Strukturelemente richtet sich nach dem geplanten Brechungsindexunterschied zwischen der optisch wirksamen Struktur 33 und einer Umgebung und soll ausreichend groß sein, um über eine Phasenverschiebung den erforderlichen optischen Gangunterschied zu bewerkstelligen.

25

Im Verfahrensschritt der Figur 1C wird ein Halbleiterlaserchip 4 bereitgestellt. Bei dem Halbleiterlaserchip 4 handelt es sich um einen oberflächenemittierenden Laser. Der Halbleiterlaserchip 4 weist ein Aufwachsubstrat 2 für eine Halbleiterschichtenfolge 40 auf. Die Halbleiterschichtenfolge 40 weist eine Wachstumsrichtung G in Richtung weg von dem Aufwachsubstrat 2 auf. Ferner beinhaltet die Halbleiterschichtenfolge 40 zumindest eine aktive Zone 41 zum

Erzeugen der Laserstrahlung L. Eine Lichtaustrittsfläche 44 des Halbleiterlasers 4 ist durch die Halbleiterschichtenfolge 40 gebildet und ist senkrecht zur Wachstumsrichtung G orientiert.

5

Bei dem Aufwachsubstrat 2 handelt es sich zum Beispiel um ein GaAs-Substrat. Die Halbleiterschichtenfolge 40 basiert insbesondere auf dem Materialsystem AlInGaAs. Abweichend von der Darstellung in Figur 1 ist es möglich, dass anstelle des 10 Aufwachsubstrats 2 ein Ersatzsubstrat verwendet wird, auf dem die Halbleiterschichtenfolge 40 nach einem Wachsen aufgebracht wird. In diesem Fall ist das Aufwachsubstrat 2 entfernt.

15 Im Verfahrensschritt der Figur 1D wird die Komponente aus Figur 1B auf den Halbleiterlaserchip 4 aus Figur 1C aufgebracht. Dies erfolgt über eine Schicht eines Verbindungsmittels 5. Das für die Laserstrahlung L durchlässige Verbindungsmittel 5 erstreckt sich ganzflächig 20 und durchgehend zwischen den Halbleiterlaserchip 4 und der Komponente aus Figur 1B. Das Verbindungsmittel 5 ist beispielsweise ein organischer Klebstoff. Es ist möglich, dass das Verbindungsmittel 5 die optisch wirksame Struktur 33 aus dem hochbrechenden Material ausfüllt. Aufgrund des hohen 25 Brechungsindexes der optisch wirksamen Struktur 33 bleibt ein ausreichend großer Brechungsindexunterschied zu dem Verbindungsmittel 5 hin erhalten, so dass die optisch wirksame Struktur 33 die gewünschte Wirkung erzielt.

30 Gemäß Figur 1E verbleibt lediglich die optisch wirksame Struktur 33 an dem Halbleiterlaser 4. Dies erfolgt insbesondere über ein Laserabhebeverfahren durch das Trägersubstrat 32 hindurch. Insbesondere wird durch das

- 21 -

Trägersubstrat 32 hindurch eine Laserstrahlung eingestrahlt, die die Trennschicht 34 zersetzt, so dass das Trägersubstrat 32 abhebbar ist. Alternativ oder zusätzlich zu einem Laserabhebeverfahren kann auch ein Ätzen und/oder Schleifen und/oder Polieren erfolgen. Optional werden eventuelle Reste der Trennschicht 34 an der optisch wirksamen Struktur 33 entfernt. Die überzählige Rohmaterialschicht 35 wird optional ebenso vollständig entfernt.

Die Trennschicht 34 dient letztlich dazu, das Trägersubstrat 32 mittels eines Abhebeverfahrens wie ein Laserabhebeverfahren zu entfernen. Dazu kann die Trennschicht 34 wie erläutert eine Halbleiterschicht sein, jedoch ist dies nicht zwingend erforderlich. Zum Ablösen ist nur erforderlich, dass die Trennschicht 34 mit einer Methode wie Laserzersetzen oder Ätzen teilweise oder vollständig zersetzbare ist. Für die Trennschicht 34 kann damit auch ein Dielektrikum und/oder ein organisches Material wie polymerisiertes Bisbenzocyclobuten, kurz BCB, zum Einsatz kommen.

Im Verfahrensschritt der Figur 1F ist gezeigt, dass die Halbleiterschichtenfolge 40 stellenweise freigelegt wird, wobei das Verbindungsmittel 5 und die optisch wirksame Struktur 33, die das diffraktive optische Element 3 bildet, stellenweise entfernt werden. In dem freigelegten Bereich der Halbleiterschichtenfolge 40 können elektrische Kontakte 91, 92, in Figur 1F nur stark vereinfacht illustriert, angebracht werden, um die aktive Zone 41 zu bestromen.

Alternativ zur Darstellung in Figur 1 kann das diffraktive optische Element 3 bereits vor dem Verfahrensschritt der Figur 1D, etwa beim Schritt der Figur 1B, die in Figur 1F

gezeigte Aussparung für die elektrischen Kontakte 91, 92 aufweisen. Entsprechendes gilt für alle anderen Ausführungsbeispiele.

5 Beim Verfahren der Figur 2 wird zuerst ein Halbleiterlaserchip 4 bereitgestellt, siehe Figur 2A. Nachfolgend wird die Rohmaterialschicht 35 auf der Lichtaustrittsfläche 44 abgeschieden, siehe Figur 2B. Die Rohmaterialschicht 35 ist beispielsweise aus abgeschiedenem
10 amorphem Aluminiumoxid.

Daraufhin wird, siehe Figur 2C, die optisch wirksame Struktur 33 in der Rohmaterialschicht 35 erzeugt. Die optisch wirksame Struktur 33 reicht nicht bis zur Lichtaustrittsfläche 44.
15 Alternativ, anders als in Figur 2C gezeigt, kann die optisch wirksame Struktur 33 auch bis zur Halbleiterschichtenfolge 40 reichen.

In Figur 2D ist gezeigt, dass die Halbleiterschichtenfolge 40
20 stellenweise freigelegt wird, um eine elektrische Kontaktierung zu ermöglichen, analog zu Figur 1F.

In Figur 3A wird in einem weiteren beispielhaften Herstellungsverfahren der Halbleiterlaserchip 4 bereitgestellt. Ferner wird die optisch wirksame Struktur 33 an dem Trägersubstrat 32 bereitgestellt. Die optisch wirksame Struktur 33 kann aus zwei Teilstrukturen 33a, 33b zusammengesetzt sein, die in Figur 3 durch unterschiedliche Schraffuren symbolisiert sind. Eine solche optisch wirksame Struktur 33 mit mehreren Teilstrukturen kann auch in allen anderen Ausführungsbeispielen verwendet werden. Dabei können
30 mehr als zwei Teilstrukturen vorhanden sein.

In Figur 3B ist gezeigt, dass die beiden Komponenten aus Figur 3A über das Verbindungsmitte 5 aneinander angebracht sind und dass ein Teil der Halbleiterschichtenfolge 40 zur elektrischen Kontaktierung freigelegt ist.

5

Anders als in den Figuren 1 und 2 weist das diffraktive optische Element 3 in dem fertigen Halbleiterlaser 1 der Figur 3 noch die verbleibende Rohmaterialschicht 35, die Trennschicht 34, die optional ist, und das Trägersubstrat 32 auf. Die Laserstrahlung L wird durch die Schicht mit dem Verbindungsmitte 5, die optisch wirksame Struktur 33, die Rohmaterialschicht 35, die optionale Halbleiterschicht 34 sowie durch das Trägersubstrat 32 hindurch emittiert. Bei dem Trägersubstrat 32 handelt es sich bevorzugt um Saphir oder um Siliciumcarbid. Auch in allen anderen Ausführungsbeispielen ist es prinzipiell möglich, dass das Trägersubstrat 32 in dem fertigen Halbleiterlaser 1 noch vorhanden ist.

Beim Verfahren der Figur 4 wird die Rohmaterialschicht 35 direkt auf dem Trägersubstrat 32 erzeugt. Bei dem Trägersubstrat 32 handelt es sich beispielsweise um GaAs, die Rohmaterialschicht 35 ist beispielsweise aus AlP.

Gemäß Figur 4B wird in der Rohmaterialschicht 35 die optisch wirksame Struktur 33 erzeugt.

In Figur 4C ist zu sehen, dass zur Planarisierung der optisch wirksamen Struktur 33 eine Planarisierungsschicht 37 aufgebracht wird. Die Planarisierungsschicht 37, 5a wird zur nachfolgenden Verbindung mit dem in Figur 4D bereitgestellten Halbleiterlaserchip 4 benötigt. Die beiden Schichten 5a, 5b an dem diffraktiven optischen Element 3 sowie an dem Halbleiterlaserchip 4 sind etwa aus SiO₂ und werden

beispielsweise chemomechanisch poliert, bevor bevorzugt ein Ansprengen erfolgt, siehe Figur 4E. Damit bilden die Schichten 5a, 5b zusammen die Verbindungs mittelschicht 5 aus.

- 5 Optional, siehe Figur 4F, wird das Trägersubstrat 32 entfernt. Wie auch in Figur 1F wird die Halbleiterschichtenfolge 40 stellenweise zur elektrischen Kontaktierung freigelegt.
- 10 Gemäß Figur 4 wird also insbesondere eine AlP-Schicht direkt auf dem GaAs-Substrat strukturiert, nachfolgend eingeebnet und über einen Prozess wie Direct Bonding mit dem Halbleiterlaserchip 4 verbunden. Als Material für das Verbindungs mittel 5 können wie auch in allen anderen Ausführungsbeispielen etwa flussfähige Oxide, englisch flowable oxids oder kurz FOX, verwendet werden. Ebenso können organische Materialien wie vernetzte Dibenzocyclobutthen-Schichten Verwendung finden.
- 15
- 20 In den Figuren 1 bis 4 ist das Aufbringen je nur eines diffraktiven optischen Elements 3 auf nur einen Halbleiterlaserchip 4 illustriert. Abweichend davon kann in den Figuren 1 bis 4 je auch ein Wafer-zu-Wafer-Prozess verwendet werden, um eine Vielzahl von diffraktiven optischen Elementen 3 gleichzeitig auf eine Vielzahl von
- 25 Halbleiterlaserchips 4 aufzubringen. Die jeweiligen Verfahren der Figuren 1 bis 4 sind also sowohl in einem Wafer-zu-Wafer-Prozess als auch in einem Chip-zu-Wafer-Prozess oder in einem Chip-zu-Chip-Prozess durchführbar. Hierbei ist ein Wafer-zu-Wafer-Prozess aus Effizienzgründen bevorzugt.
- 30

Weiterhin, anders als in Figur 4 dargestellt, ist es möglich, dass analog zu Figur 1 anstelle des Direct Bondings ein

Klebstoff verwendet wird, um die beiden Komponenten aus den Figuren 4C und 4D miteinander zu verbinden. In diesem Fall ist die Schicht mit dem Verbindungsmittel 5 bevorzugt durch eine einzige Schicht realisiert. Kleben oder Ansprengen oder
5 Direct Bonding können auch in allen anderen Ausführungsbeispielen als alternative Methoden des Verbindens der beiden Komponenten miteinander verwendet werden.

Als weitere Alternative zum Verfahren der Figur 4 ist es
10 möglich, dass die Rohmaterialschicht 35 an dem Trägersubstrat 32 zuerst an dem Halbleiterlaserchip 4 angebracht wird, siehe Figur 4G, und dass erst nach dem Ablösen des Trägersubstrats 32 die optisch wirksame Struktur 33 erzeugt wird, siehe Figur 4H. Da das Erzeugen der optisch wirksamen Struktur 33 erst an
15 dem Halbleiterchip 4 erfolgt, ist nur eine vergleichsweise grobe Vorjustage der Komponente aus Figur 4G relativ zum Halbleiterlaser 4 nötig.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 5 ist gezeigt, dass mehrere
20 der Halbleiterlaserchips 4 vorhanden sind. Das diffraktive optische Element 3 erstreckt sich einstückig und gemeinsam über die Halbleiterlaserchips 4 hinweg. Beispielsweise werden das diffraktive optische Element 3 sowie die Halbleiterlaserchips 4 über Waferbonden noch im Waferverbund
25 miteinander kontaktiert, so dass ein Fügebereich 39 gebildet wird. Dabei befindet sich das diffraktive optische Element 3 an einer der Halbleiterschichtenfolge 40 abgewandten Seite des Aufwachsubstrats 2. Seitlich neben der Halbleiterschichtenfolge 40 mit der aktiven Zone 41 befinden
30 sich die elektrischen Kontakte 91, 92. Optional kann ein nicht gezeichnetes Vereinzeln zu separaten Halbleiterlasern 1 mit je einem oder mehreren Halbleiterlaserchips 4 durchgeführt werden.

Optional ist an einer der Halbleiterschichtenfolge 40 abgewandten Seite des diffraktiven optischen Elements 3 die Planarisierungsschicht 37 vorhanden, wie auch in allen 5 anderen Ausführungsbeispielen möglich, bei denen sich die optisch wirksame Struktur 33 an einer Außenseite befindet.

In den Figuren 6 und 7 ist illustriert, dass die optisch wirksame Struktur 33 direkt in dem Aufwachsubstrat 2 gebildet ist. Gemäß Figur 6 sind die elektrischen Kontakte 91, 92 so gestaltet, dass sie zum Teil innerhalb der Halbleiterschichtenfolge 40 verlaufen, wobei einer der Kontakte 92 die Ebene mit der aktiven Zone 41 durchdringt. Wie in allen anderen Ausführungsbeispielen ist es möglich, 15 dass sich zwischen dem Bereich mit der aktiven Zone 41 und dem Aufwachsubstrat 2 ein Bragg-Spiegel 46 befindet. Optional ist wiederum die Planarisierungsschicht 37 vorhanden.

Der Brechungsindex von Siliziumnitrid wird oftmals oberhalb 20 von 2 taxiert. Bei plasmaunterstützter chemischer Dampfphasenabscheidung können SiN:H-Schichten mit niedrigerem Brechungsindex erzeugt werden, zum Beispiel bei 633 nm ungefähr 1,85. Die optisch wirksame Struktur 33 der Figur 6 25 ist insbesondere aus SiN:H oder auch aus Saphir.

In Figur 7 sind das Aufwachsubstrat 2 und das diffraktive optische Element 3 monolithisch integriert, anstatt separate diffraktive optische Elemente zu verwenden, wie etwa in 30 Verbindung mit den Figuren 1, 3, 4 oder 5 illustriert.

In Figur 8 ist illustriert, dass sich die elektrischen Kontakte 91, 92 an unterschiedlichen Seiten des

Aufwachssubstrats 2 befinden. Eine entsprechende Gestaltung kann auch in allen anderen Ausführungsbeispielen Verwendung finden.

5 In Figur 9 ist gezeigt, dass das diffraktive optische Element 3 an der Seite mit der Halbleiterschichtenfolge 40 aufgebracht ist. Dabei ist es möglich, dass das diffraktive optische Element 3 die jeweils zugeordnete Halbleiterschichtenfolge 40 lateral, also in Richtung
10 senkrecht zur Wachstumsrichtung G, überragt oder anders als gezeichnet bündig mit der Halbleiterschichtenfolge 40 abschließt. Weiterhin ist es möglich, wie auch in allen anderen Ausführungsbeispielen, dass einer der elektrischen Kontakte 92 flächig aufgebracht ist.

15

Beim Ausführungsbeispiel der Figur 10 ist zusätzlich ein Vergussmaterial 7 vorhanden. Dabei ist das diffraktive optische Element 3 primär über das Verbindungsmitte 5, beispielsweise ein Kleber oder ein flussfähiges Oxid,
20 befestigt. Das Vergussmaterial 7 reicht stellenweise bis an eine dem Halbleiterlaserchip 4 zugewandte Seite des diffraktiven optischen Elements 3 und steht stellenweise in direktem Kontakt mit der optisch wirksamen Struktur 33.

25 Demgegenüber ist gemäß Figur 10B das diffraktive optische Element 3 über das Vergussmaterial 7, das gleichzeitig das Verbindungsmitte 5 darstellt, befestigt. Über das Vergussmaterial 7 ist der Halbleiterlaser 1 gegen äußere Einflüsse schützbar. Aufgrund des hohen Brechungsindexes der
30 optisch wirksamen Struktur 33 ist es unschädlich, wenn das Vergussmaterial 7 die optisch wirksame Struktur 33 bedeckt und/oder ausfüllt.

In den Figuren 10A und 10B weist die optisch wirksame Struktur 33 zu dem Halbleiterlaserchip 4 hin oder von dem Halbleiterlaserchip 4 weg. Beide Anordnungsmöglichkeiten der optisch wirksamen Struktur 33 sind in analoger Weise

5 verwendbar.

In Figur 11A ist gezeigt, dass das Verbindungsmitte 5 rahmenförmig auf der Lichtaustrittsfläche 44 aufgebracht ist, wobei ein Bereich direkt oberhalb der zur Erzeugung der

10 Laserstrahlung eingerichteten aktiven Zone 41 bevorzugt frei von dem Verbindungsmitte 5 ist. Beispielsweise handelt es sich bei dem Verbindungsmitte 5 um eine Metallschicht, so dass ein Fügen des diffraktiven optischen Elements 3 an den Halbleiterlaserchip 4 beispielsweise durch Löten, etwa
15 eutektisch, quasi-eutektisch oder isotherm erstarrend, erfolgt. Das Verbindungsmitte 5 kann aus mehreren Teilschichten zusammengesetzt sein.

In Figur 11A greift dabei das Verbindungsmitte 5

20 stellenweise in die optisch wirksame Struktur 33 ein.

Demgegenüber ist gemäß Figur 11B die optisch wirksame Struktur 33 auf einen Bereich oberhalb der aktiven Zone 41 begrenzt. Damit ist das Verbindungsmitte 5 von der optischen wirksamen Struktur 33 beabstandet.

25

In Figur 11A wie auch in Figur 11B befindet sich zwischen dem diffraktiven optischen Element 3 und dem Halbleiterlaserchip 4 ein Spalt 6. Der Spalt 6 ist vergleichsweise dünn und beispielsweise mit Luft gefüllt.

30

Gemäß Figur 11 erfolgt eine vergleichsweise genaue Justage, um eine exakte Abstimmung des diffraktiven optischen Elements

3 auf das Verbindungsmitte 5, das insbesondere als Metallrahmen gestaltet ist, zu erzielen.

In Figur 12 ist dargestellt, dass das Verbindungsmitte 5 von 5 der Halbleiterschichtenfolge 40 beabstandet ist. Das Verbindungsmitte 5, beispielsweise Metallpodeste, steht in direktem Kontakt mit dem Aufwachsubstrat 2 und mit dem diffraktiven optischen Element 3.

10 Demgegenüber, siehe Figur 12B, ist das Verbindungsmitte 5 auf einem Montageträger 8 angebracht und steht nicht in direktem Kontakt mit dem Halbleiterlaserchip 4. Das diffraktive optische Element 3 überdeckt den Halbleiterlaserchip 4 vollständig. Zwischen dem 15 Verbindungsmitte 5, dem Halbleiterlaserchip 4, sowie zwischen dem Halbleiterlaserchip 4 und dem diffraktiven optischen Element 3 ist je ein Spalt 6 gebildet.

Gemäß Figur 13A sind mehrere der Halbleiterlaserchips 4 auf 20 den Montageträger 8 angebracht. Die Halbleiterlaserchips 4 sind gemeinsam von dem einstückigen, zusammenhängenden diffraktiven optischen Element 3 abgedeckt. Dabei kann das diffraktive optische Element 3 die Halbleiterlaserchips 4 seitlich überragen.

25 Demgegenüber bildet gemäß Figur 13B das diffraktive optische Element 3 selbst einen Träger für die Halbleiterlaserchips 4. Hierzu kann das diffraktive optische Element 3 mit elektrischen Kontaktstrukturen, nicht gezeichnet, versehen 30 sein.

Gemäß Figur 13 weist der Halbleiterlaser 1 mehrere der Halbleiterlaserchips 4 auf, wie dies auch in allen anderen

Ausführungsbeispielen der Fall sein kann. Genauso ist es in den Ausführungsbeispielen jeweils möglich, dass nur ein oder auch mehrere Halbleiterlaserchips 4 vorhanden sind, die mehrere Laserbereiche oder Einzellaser 47 aufweisen können,

- 5 zum Beispiel ein Feld aus oberflächenemittierenden Vertikalresonatorlasern, auch als VCSEL-Array bezeichnet, siehe die Draufsicht in Figur 14A und die Schnittdarstellung in Figur 14B. Die Einzellaser 47, die in Draufsicht beispielsweise in einem hexagonalen oder rechteckigen oder 10 quadratischen Muster angeordnet sind, können dabei einzeln ansteuerbar sein oder auch nur alle gemeinsam betreibbar sein.

Beim Herstellungsverfahren der Figur 15 wird der
15 Halbleiterlaser 1 als Flip-Chip auf einem transparenten Trägersubstrat 32, etwa aus Glas, BF33 oder Saphir, hergestellt. Auf das Trägersubstrat 32 ist ein planares diffraktives optisches Element 3 aufgebracht.

20 Gemäß Figur 15A wird auf dem Aufwachsubstrat 2, zum Beispiel aus GaAs, die Halbleiterschichtenfolge 40 epitaktisch aufgewachsen. Die Halbleiterschichtenfolge 40 umfasst vom Aufwachsubstrat 2 her einen ersten Bragg-Spiegel 46a, den Bereich mit der aktiven Zone 41 sowie einen zweiten Bragg-
25 Spiegel 46b. Beide Bragg-Spiegel 46a, 46b sind bevorzugt elektrisch leitend und umfassen sich abwechselnde Schichten mit hohem und niedrigem Brechungsindex.

In Figur 15B ist gezeigt, dass auf den zweiten Bragg-Spiegel 30 46b eine Bondschicht 93 und der Anodenkontakt 91 erzeugt werden. Die Bondschicht 93 ist zum Beispiel aus SiO₂ und der Anodenkontakt 91 ist bevorzugt aus einer oder mehreren Metallschichten. In Richtung weg von dem zweiten Bragg-

Spiegel 46a schließen der Anodenkontakt 91 und die Bondschicht 93 bevorzugt bündig miteinander ab.

Im Schritt der Figur 15C wird mittels Waferbonden auf die Bondschicht 93 das transparente Trägersubstrat 32 aufgebracht. In diesem Schritt kann sich die optisch wirksame Struktur 33 bereits an dem Trägersubstrat 32 befinden oder die optisch wirksame Struktur 33 wird erst später an das Trägersubstrat 32 angebracht.

10

Das Waferbonden ist zum Beispiel ein Direktbonden mit SiO₂ auf SiO₂. Die optisch wirksame Struktur 33 kann insbesondere nach dem Entfernen des Aufwachsubstrats 2 und nach dem Waferbonden lithographisch aufgebracht werden, wodurch sich eine hohe Genauigkeit erzielen lässt. Bevorzugt wird auf die optisch wirksame Struktur 33 die Planarisierungsschicht 37 aufgebracht, sodass die optisch wirksame Struktur 33 vergraben ist und nach außen hin nicht frei liegt.

20

In Figur 15D wird der erste Bragg-Spiegel 46a teilweise entfernt, sodass der Bereich der Halbleiterschichtenfolge 40 mit der aktiven Zone 41 freigelegt wird. Bevorzugt wird ferner etwa mittels Oxidation eine Stromeinengung 48 erzeugt. Somit wird die aktive Zone 41 nur im Bereich der Stromeinengung 48 bestromt, da die Halbleiterschichtenfolge 40 im Bereich der aktiven Zone 41 nur eine geringe elektrische Leitfähigkeit in Richtung parallel zur aktiven Zone 41 aufweist.

25

Schließlich wird, wie in Figur 15E gezeigt, ein Füllmaterial 94 aufgebracht, in das der erste Bragg-Spiegel 46a eingebettet wird. Das Füllmaterial 94 ist elektrisch

isolierend und zum Beispiel ein Spin on-Glas oder ein organisches Material wie Benzocyclobuten, kurz BCB.

Nachfolgend wird eine bevorzugt metallische

- 5 Durchkontaktierung 95 durch das Füllmaterial 94 und durch den zweiten Bragg-Spiegel 46b hindurch erzeugt. Mit der Durchkontaktierung 95 wird der Bereich des Anodenkontakte 91 an der Bondschicht 93 elektrisch angeschlossen. Ebenso wird der erste Bragg-Spiegel 46a elektrisch über eine
10 Metallisierung kontaktiert. Diese Kontaktierung des ersten Bragg-Spiegels 46a ist bevorzugt reflektierend für die im Betrieb erzeugte Laserstrahlung. Damit ist der erste Bragg-Spiegel 46a zusammen mit dieser Kontaktierung ein Metall-Bragg-Hybridspiegel. Hierdurch kann der erste Bragg-Spiegel
15 46a weniger Schichtpaare aufweisen, zum Beispiel höchstens 12 Schichtpaare oder höchstens 6 Schichtpaare.

Abschließend werden elektrische Anschlussflächen für die beiden Kontakte 91, 92 hergestellt. Die Anschlussflächen

- 20 können das Füllmaterial 94 großflächig bedecken. Die Anschlussflächen liegen in einer gemeinsamen Ebene, sodass der Halbleiterlaser 1 ein SMT-Bauteil und damit oberflächenkontaktierbar ist.

- 25 Der Verfahrensschritt der Figur 16A erfolgt analog zum Schritt der Figur 15A.

Abweichend von Figur 15B wird jedoch in Figur 16B der zweite Bragg-Spiegel 46b strukturiert, sodass der Bereich der

- 30 Halbleiterschichtenfolge 40 mit der aktiven Zone 41 von einer dem Aufwachsubstrat 2 abgewandten Seite her freigelegt wird. Außerdem wird die Stromeinengung 48 im zweiten Bragg-Spiegel 46b erstellt.

Daraufhin wird optional das Füllmaterial 94 flächig aufgebracht. Nachfolgend werden der Anodenkontakt 91 und die Bondschicht 93 erzeugt und es wird das diffraktive optische
5 Element 3 angebracht, analog zu den Figuren 15B und 15C.

Schließlich wird das Aufwachsubstrat 2 entfernt, siehe Figur 16D.

10 Gemäß Figur 16E wird die Durchkontaktierung 95 durch den ersten Bragg-Spiegel 46a und durch das Füllmaterial 94 zum Anodenkontakt 91 an der Bondschicht 93 hin geführt. Dazu kann ein weiteres Füllmaterial 94 zur elektrischen Isolierung der Durchkontaktierung 95 vom ersten Bragg-Spiegel 46a verwendet
15 werden.

Abschließend werden die Anschlussflächen für die Kontakte 91, 92 erzeugt. Dies erfolgt bevorzugt in der gleichen Weise, wie voranstehend in Verbindung mit Figur 15E erläutert.

20 Die Verfahren der Figuren 15 und 16 unterscheiden sich damit vor allem in der Lage der Stromeinengung 48. Folglich wird entweder nur der erste oder nur der zweite Bragg-Spiegel 46a, 46b von der Durchkontaktierung 95 durchdrungen.

25 Demgegenüber ist beim Ausführungsbeispiel der Figur 17 die Durchkontaktierung 95 durch beide Bragg-Spiegel 46a, 46b geführt. Dabei liegt bevorzugt in beiden Bragg-Spiegeln 46a, 46b je eine der Stromeinengungen 48 vor. Dazu erfolgt eine
30 Strukturierung beider Bragg-Spiegel 46a, 46b. Lediglich der Bereich der Halbleiterschichtenfolge 40 mit der aktiven Zone 41 bleibt, bis auf das Gebiet mit der Durchkontaktierung 95, ganzflächig erhalten. Mit anderen Worten stellt das

Ausführungsbeispiel der Figur 17 eine Kombination der Verfahren der Figuren 15 und 16 dar.

Wie auch in allen anderen Ausführungsbeispielen können der
5 Anodenkontakt 91 und der Kathodenkontakt 92 hinsichtlich der elektrischen Polarität miteinander vertauscht werden.

Mit dem diffraktiven optischen Element bei den hier beschriebenen Halbleiterlasern 1 lässt sich eine höhere
10 Integrationsdichte erreichen. Auch ist eine Kostenreduktion durch eine Wafer-Level-Integration von VCSEL 4 und Optik 3 erreichbar. Es können passgenaue Optiken angebracht werden, wobei inhärent augensichere Bauteile erzielt werden. Es lassen sich Flip-Chips mit guter thermischer Anbindung
15 erreichen. Insgesamt ist somit eine hohe Justagegenauigkeit zwischen dem VCSEL-Chip 4 und der Optik 3 durch die Wafer-Level-Justage möglich, bei gleichzeitiger Kostenreduktion.

Ferner eignet sich der Verbund aus dem VCSEL-Chip 4 und der
20 Optik 3 zur Weiterverarbeitung, zum Beispiel mit einem Verguss und/oder zur Einbettung in andere Materialien. Dies gilt insbesondere bei einer planar integrierten optisch wirksamen Struktur 33 innerhalb des Trägersubstrats 32.

25 Die in den Figuren gezeigten Komponenten folgen, sofern nicht anders kenntlich gemacht, bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge jeweils unmittelbar aufeinander. Sich in den Figuren nicht berührende Schichten sind voneinander beabstandet. Soweit Linien parallel zueinander gezeichnet
30 sind, sind die entsprechenden Flächen ebenso parallel zueinander ausgerichtet. Ebenfalls soweit nicht anders kenntlich gemacht, sind die relativen Dickenverhältnisse,

Längenverhältnisse und Positionen der gezeichneten Komponenten zueinander in den Figuren korrekt wiedergegeben.

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

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2017 100 997.3, deren Offenbarungsgehalt
15 hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Bezugszeichenliste

- 1 Halbleiterlaser
2 Aufwachssubstrat
5 3 diffraktives optisches Element
32 Trägersubstrat
33 optisch wirksame Struktur
34 Halbleiterschicht
35 Rohmaterialschicht
10 37 Planarisierungsschicht
39 Fügebereich
4 Halbleiterlaserchip
40 Halbleiterschichtenfolge
41 aktive Zone
15 44 Lichtaustrittsfläche
46 Bragg-Spiegel
47 Einzellaser
48 Stromeinengung
5 Verbindungsmitte
20 6 Spalt
7 Vergussmaterial
8 Montageträger
91 Anodenkontakt
92 Kathodenkontakt
25 93 Bondschicht
94 Füllmaterial
95 Durchkontaktierung
G Wachstumsrichtung
L Laserstrahlung

Patentansprüche

1. Halbleiterlaser (1) mit

- mindestens einem oberflächenemittierenden

5 Halbleiterlaserchip (4), umfassend eine Halbleiterschichtenfolge (40) mit mindestens einer aktiven Zone (41) zur Erzeugung von Laserstrahlung (L) und umfassend eine Lichtaustrittsfläche (44), die senkrecht zu einer Wachstumsrichtung (G) der Halbleiterschichtenfolge (4)

10 orientiert ist, und

- einem diffraktiven optischen Element (3), das zur Aufweitung und Verteilung der Laserstrahlung (L) eingerichtet ist,

wobei

15 - eine optisch wirksame Struktur (33) des diffraktiven optischen Elements (3) aus einem Material mit einem Brechungsindex von mindestens 1,65 ist, bezogen auf eine Wellenlänge maximaler Intensität der Laserstrahlung (L), und

- der Halbleiterlaser (1) aufgrund einer Aufweitung und

20 Verteilung der Laserstrahlung (L) durch das diffraktive optische Element (3) augensicher ist.

2. Halbleiterlaser (1) nach dem vorhergehenden Anspruch,

bei dem sich das diffraktive optische Element (3) an der

Lichtaustrittsfläche (44) befindet, sodass sich zwischen dem

25 diffraktiven optischen Element (3) und dem

Halbleiterlaserchip (4) zumindest stellenweise lediglich ein

Verbindungsmitte (5) für das diffraktive optische Element

(3) befindet.

3. Halbleiterlaser (1) nach dem vorhergehenden Anspruch,

30 bei dem sich das Verbindungsmitte (5) ganzflächig zwischen

der Lichtaustrittsfläche (44) und dem diffraktiven optischen

Element (3) befindet, sodass das Verbindungsmitte (5) die Lichtaustrittsfläche (44) vollständig bedeckt.

4. Halbleiterlaser (1) nach Anspruch 2,

bei dem sich das Verbindungsmitte (5) an einem Rand des

5 diffraktiven optischen Elements (3) befindet, sodass die Lichtaustrittsfläche (44) frei von dem Verbindungsmitte (5) ist und sodass zwischen dem diffraktiven optischen Element (3) und der Lichtaustrittsfläche (44) zumindest stellenweise ein Spalt (6) gebildet ist.

10 5. Halbleiterlaser (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 4,

bei dem das Verbindungsmitte (5) zumindest stellenweise in die optisch wirksame Struktur (33) greift und die optisch wirksame Struktur (33) zumindest stellenweise vollständig ausfüllt.

15 6. Halbleiterlaser (1) nach Anspruch 1,

bei dem sich das diffraktive optische Element (3) direkt und ganzflächig an der Lichtaustrittsfläche (44) befindet.

7. Halbleiterlaser (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 bei dem das diffraktive optische Element (3) ein

Trägersubstrat (32) umfasst,

wobei sich die optisch wirksame Struktur (33) an einer der Lichtaustrittsfläche (44) zugewandten Seite des Trägersubstrats (32) befindet.

25 8. Halbleiterlaser (1) nach dem vorhergehenden Anspruch,

bei dem die optisch wirksame Struktur (33) aus einem

Halbleitermaterial ist,

wobei das Trägersubstrat (32) ein Aufwachsubstrat für das Halbleitermaterial der optisch wirksamen Struktur (33) ist.

9. Halbleiterlaser (1) nach Anspruch 1,
bei dem der Halbleiterlaserchip (4) ein Aufwachsubstrat (2)
der Halbleiterschichtenfolge (4) umfasst und das diffraktive
optische Element (3) in einer der Halbleiterschichtenfolge

5 (4) abgewandten Seite des Aufwachsubstrats (2) geformt ist,
wobei das diffraktive optische Element (3) die
Lichtaustrittsfläche (44) bildet, sodass das diffraktive
optische Element (3) und der Halbleiterlaserchip (4)
einstückig ausgebildet sind.

10 10. Halbleiterlaser (1) nach Anspruch 1,
bei dem der Halbleiterlaserchip (4) und ein Verbindungsmitte
5 (5) für das diffraktive optische Element (3) auf einem
gemeinsamen Montageträger (8) angebracht sind, sodass sich
das Verbindungsmitte (5) in Draufsicht gesehen nur neben dem
15 Halbleiterlaserchip (4) befindet und den Halbleiterlaserchip
(4) nicht berührt,
wobei das Verbindungsmitte (5) in direktem Kontakt mit dem
Montageträger (8) und dem diffraktiven optischen Element (3)
steht und das diffraktive optische Element (3) den
20 Halbleiterlaserchip (4) vollständig bedeckt.

11. Halbleiterlaser (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche,
umfassend mehrere der Halbleiterlaserchips (4),
wobei die Halbleiterlaserchips (4) gemeinsam und vollständig
25 von dem diffraktiven optischen Element (3) überdeckt sind,
das zusammenhängend und einstückig geformt ist.

12. Halbleiterlaser (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche,
bei dem ein Abstand zwischen dem diffraktiven optischen
30 Element (3) und dem Halbleiterlaserchip (4) höchstens ein

Zehnfaches der Wellenlänge maximaler Intensität der Laserstrahlung (L) beträgt.

13. Halbleiterlaser (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 bei dem das diffraktive optische Element (3) zumindest stellenweise unmittelbar von einem Vergussmaterial (7) umschlossen ist,
wobei das Vergussmaterial (7) die optisch wirksame Struktur (33) berührt.

10 14. Halbleiterlaser (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die optisch wirksame Struktur (33) des diffraktiven optischen Elements (3) aus einem Material mit einem Brechungsindex von mindestens 2,0 ist.

15 15. Halbleiterlaser (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die Halbleiterschichtenfolge (40) mindestens einen Bragg-Spiegel (46a, 46b) umfasst,
wobei der Bragg-Spiegel (46a, 46b) von einer elektrischen
20 Durchkontaktierung (95) durchdrungen ist und sich elektrische Anschlussflächen an einer gemeinsamen Seite der aktiven Zone (41) befinden, sodass der Halbleiterlaser (1)
oberflächenmontierbar ist, und
wobei in dem Bragg-Spiegel (46a, 46b) eine Stromeinengung
25 (48) erzeugt ist, sodass die aktive Zone (41) im Betrieb nur in mindestens einem Stromdurchlassbereich der Stromeinengung (48) bestromt wird.

16. Halbleiterlaser (1) nach dem vorhergehenden Anspruch,
der zwei der Bragg-Spiegel (46a, 46b) umfasst, die an
30 verschiedenen Seiten der aktiven Zone (41) liegen,

wobei jeder der Bragg-Spiegel (46a, 46b) von der Durchkontaktierung (95) durchdrungen ist.

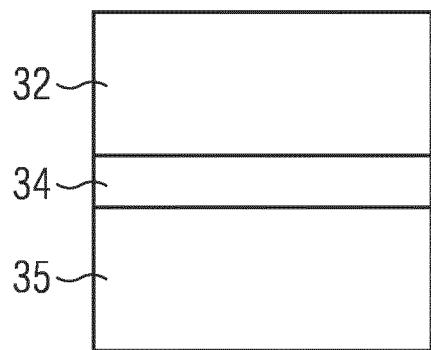
17. Halbleiterlaser (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 bei dem sich ein Anodenkontakt (91) oder ein Kathodenkontakt (92) zwischen die Halbleiterschichtenfolge (40) und das diffraktive optische Element (3) erstreckt, sodass die Lichtaustrittsfläche (44) an einer dem diffraktiven optischen Element (3) zugewandten Seite in Draufsicht gesehen ringsum
10 von einem Material des Anodenkontakte (91) oder des Kathodenkontakte (92) umgeben ist,
wobei der Anodenkontakt (91) oder der Kathodenkontakt (92) für die erzeugte Laserstrahlung (L) undurchlässig und metallisch sind.

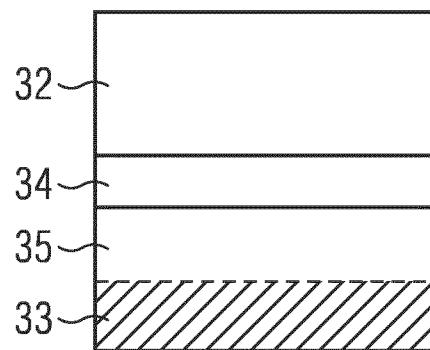
15 18. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterlasers (1) nach einem der vorherigen Ansprüche mit den Schritten:
- Bereitstellen des Halbleiterlaserchips (4), und
- Anbringen des diffraktiven optischen Elements (3) an dem Halbleiterlaserchip (4) oder Formen des diffraktiven
20 optischen Elements (3) in dem Halbleiterlaserchip (4).

FIG 1

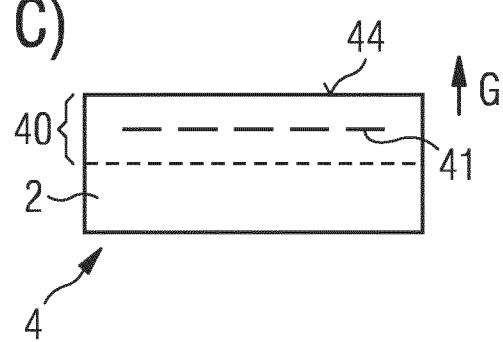
A)



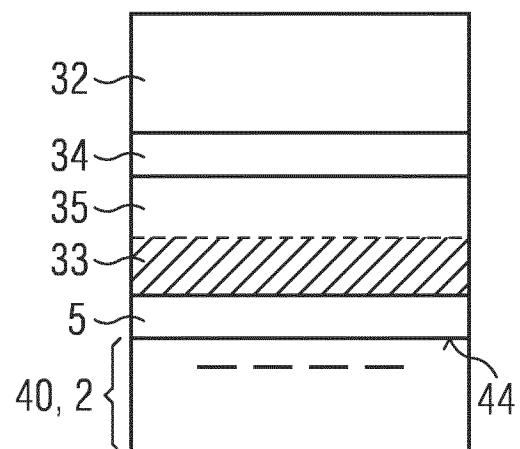
B)



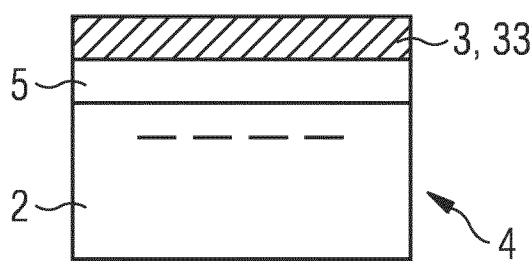
C)



D)



E)



F)

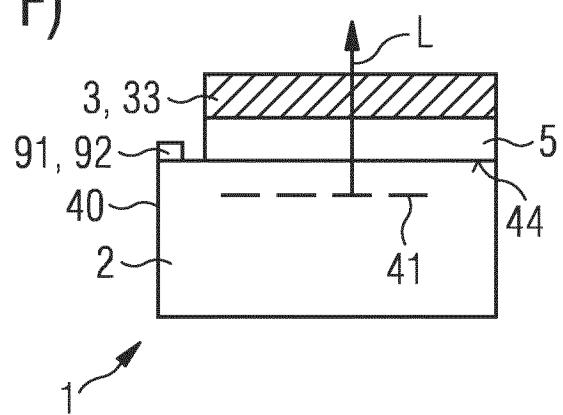


FIG 2

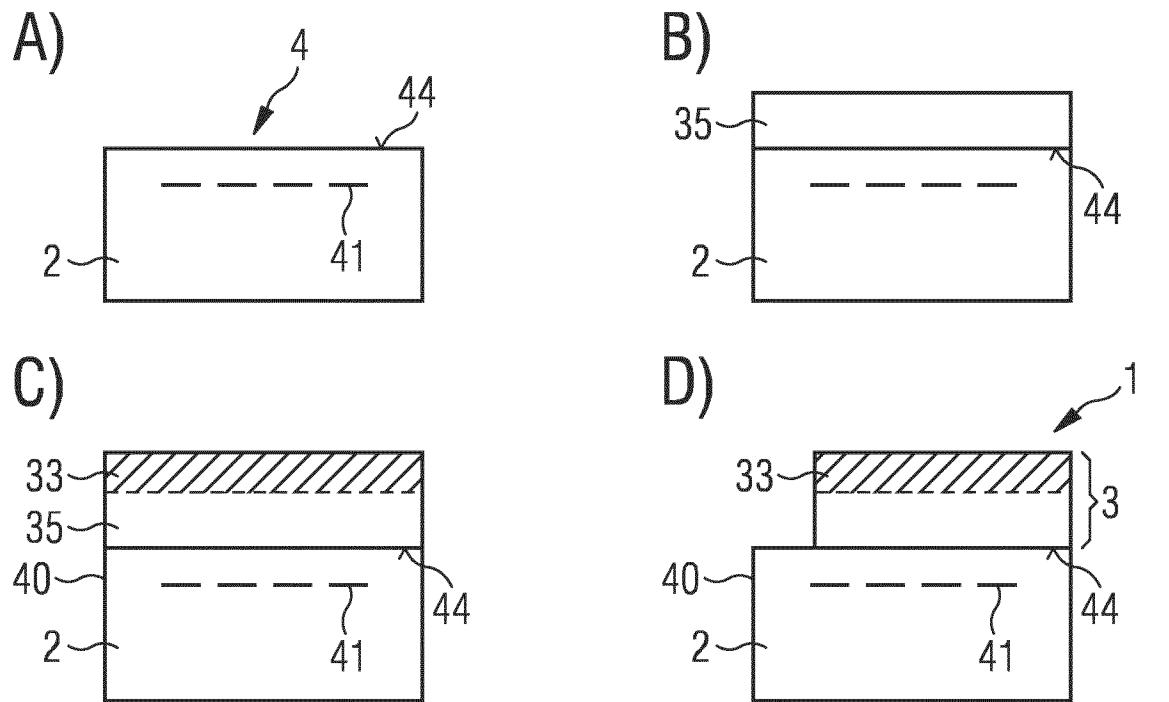


FIG 3

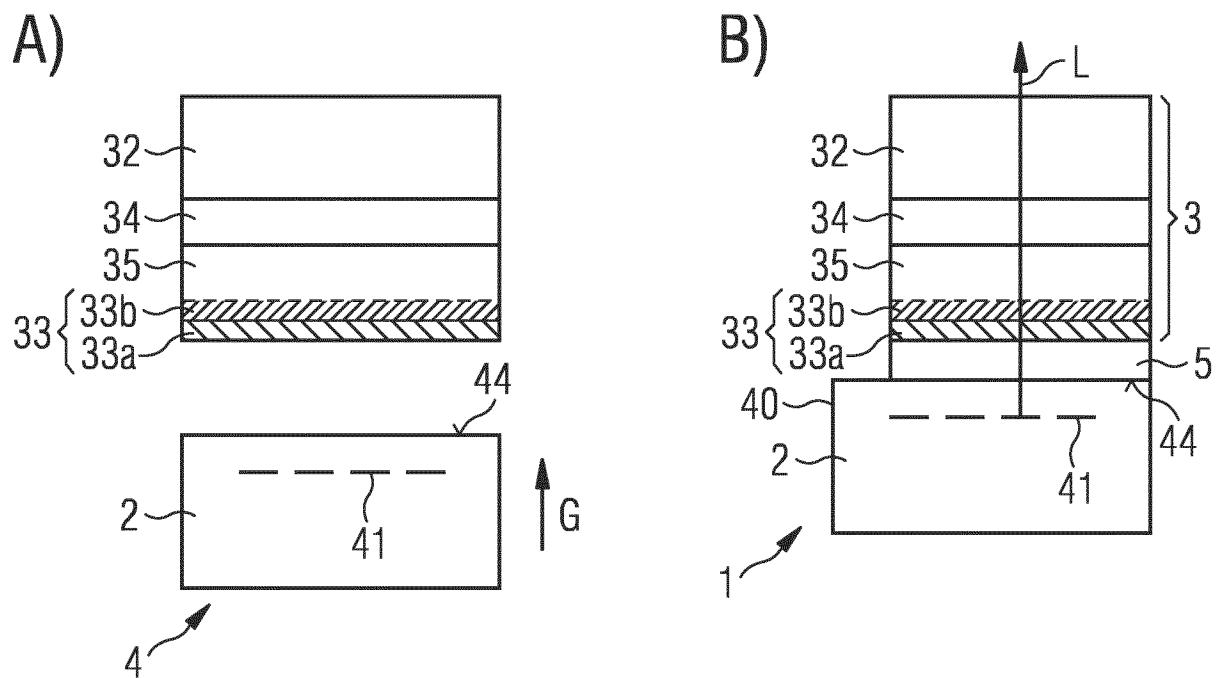
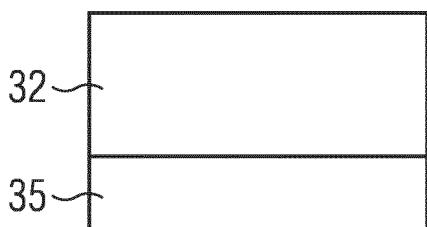
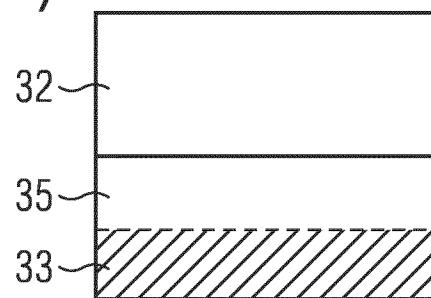


FIG 4

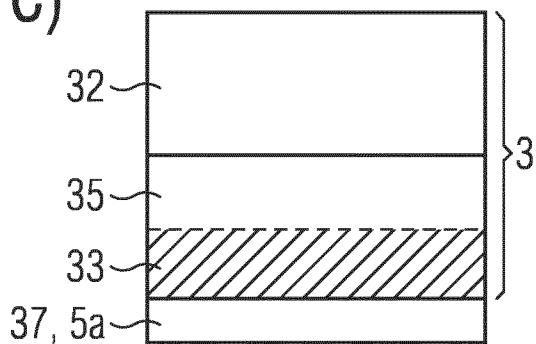
A)



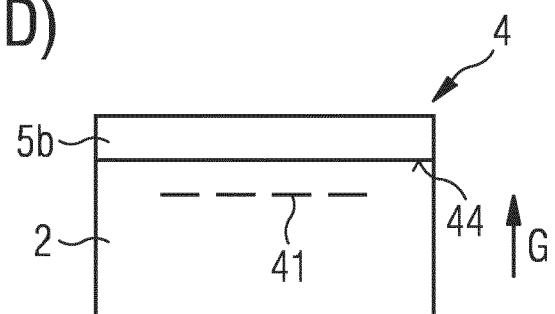
B)



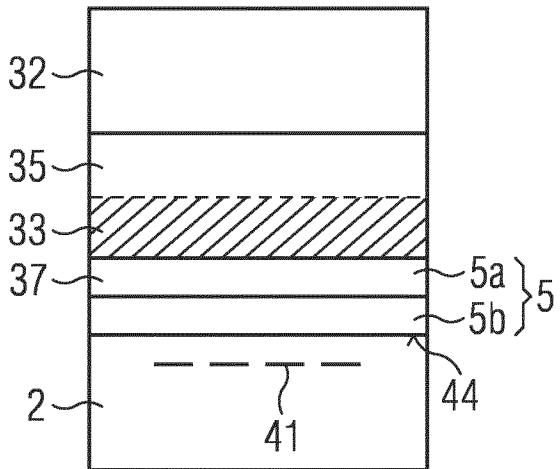
C)



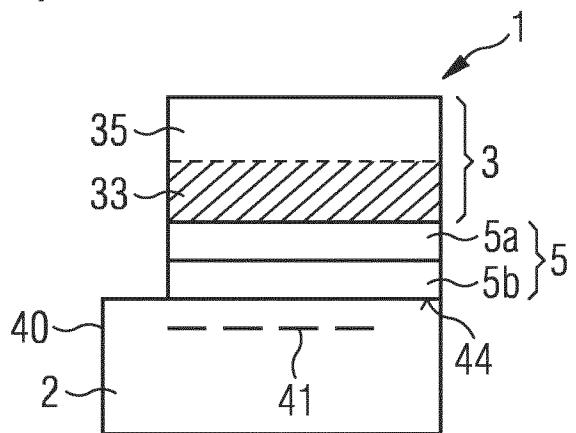
D)



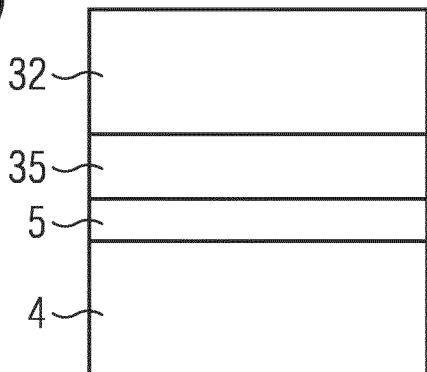
E)



F)



G)



H)

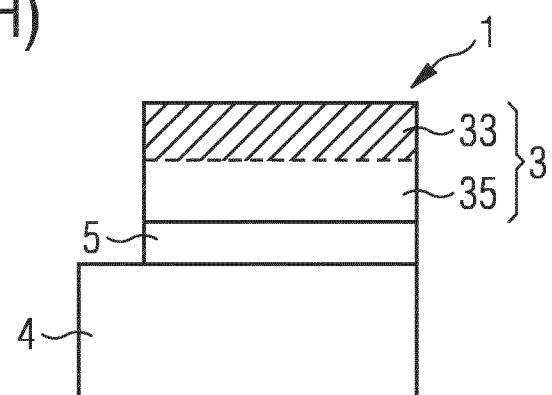


FIG 5

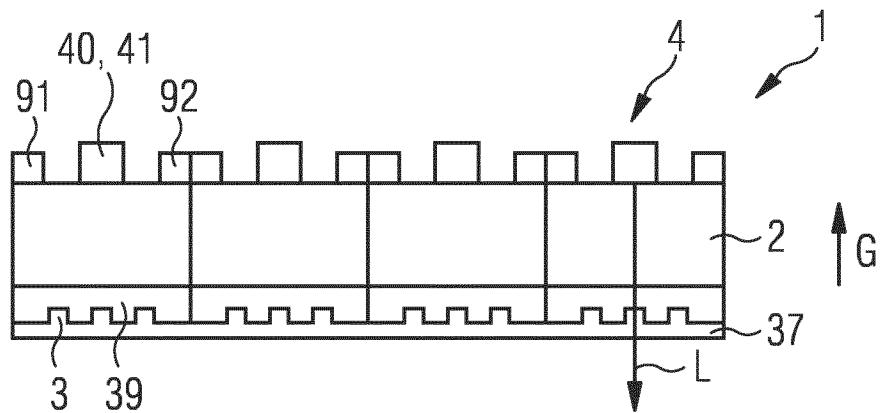


FIG 6

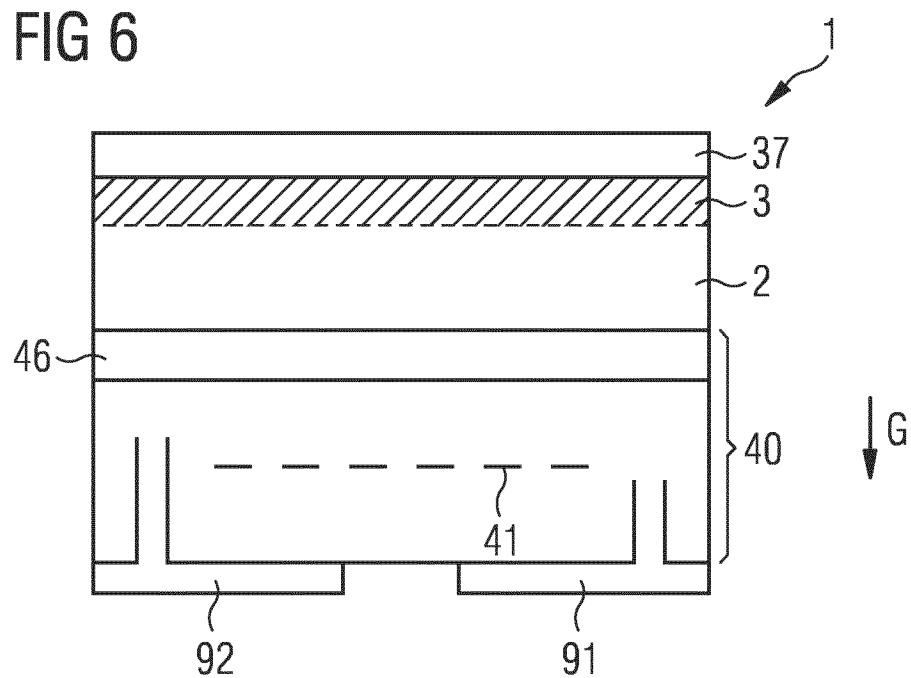


FIG 7

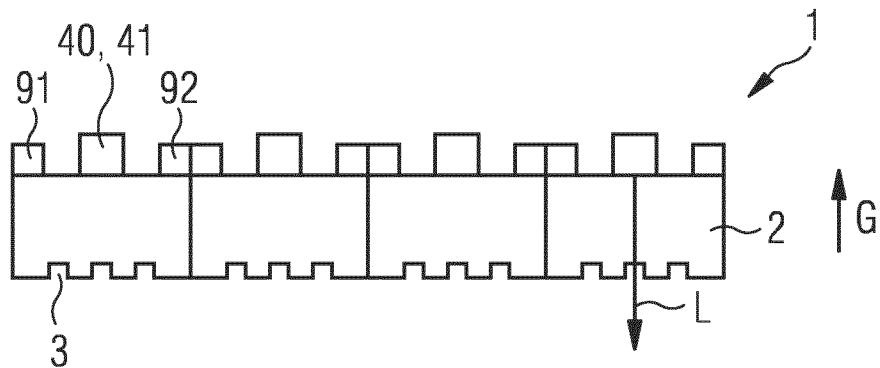


FIG 8

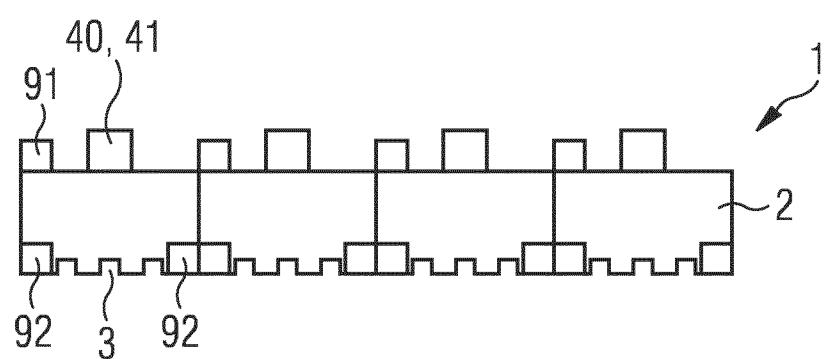


FIG 9

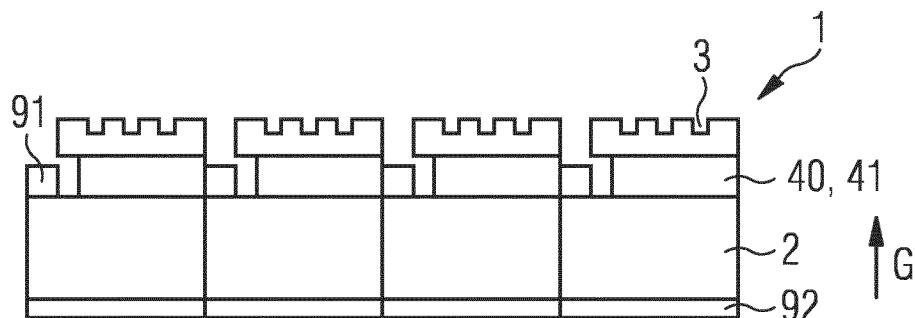


FIG 10

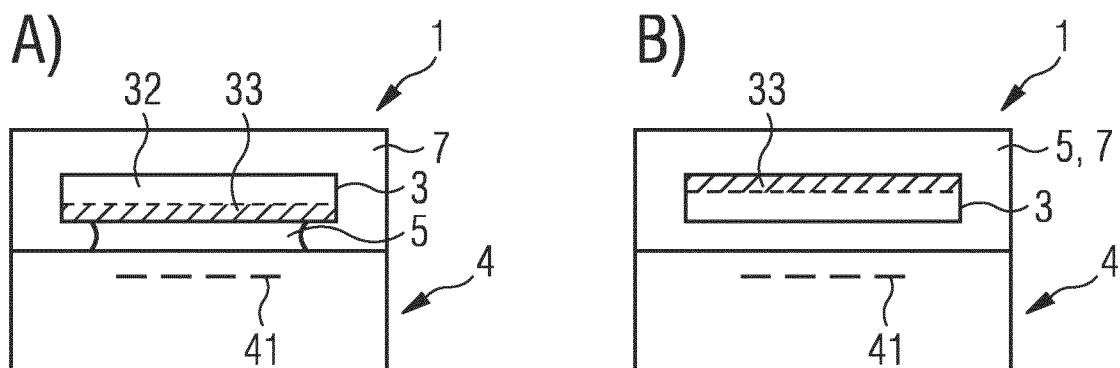


FIG 11

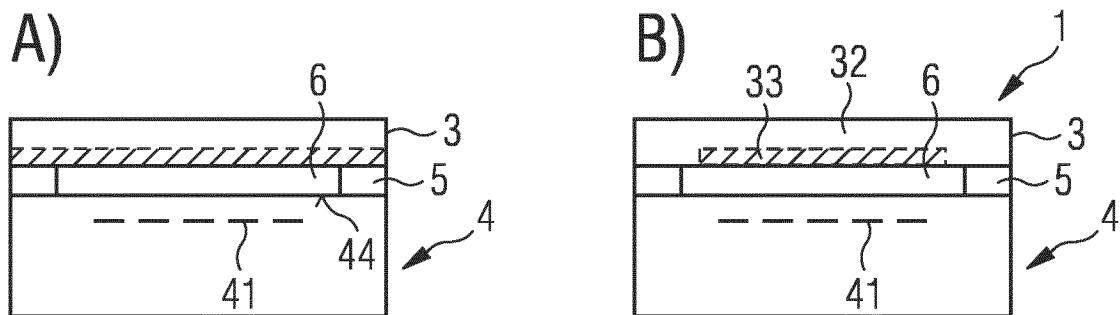


FIG 12

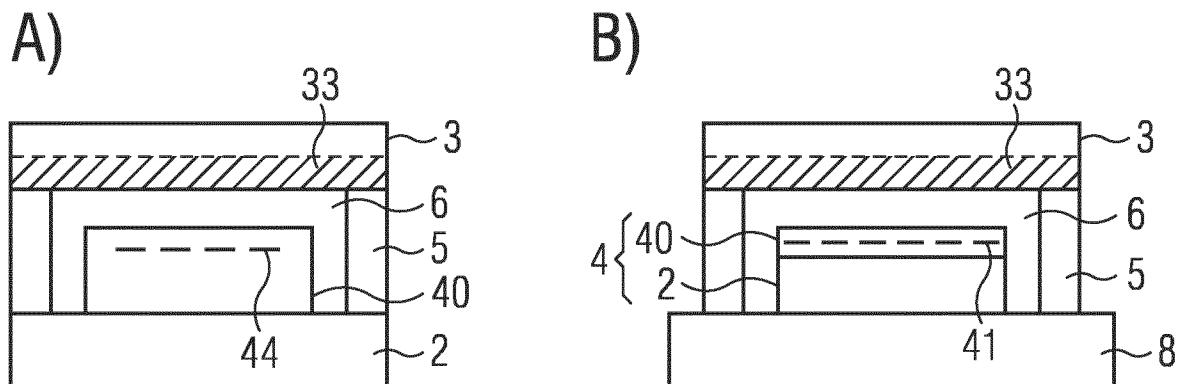


FIG 13

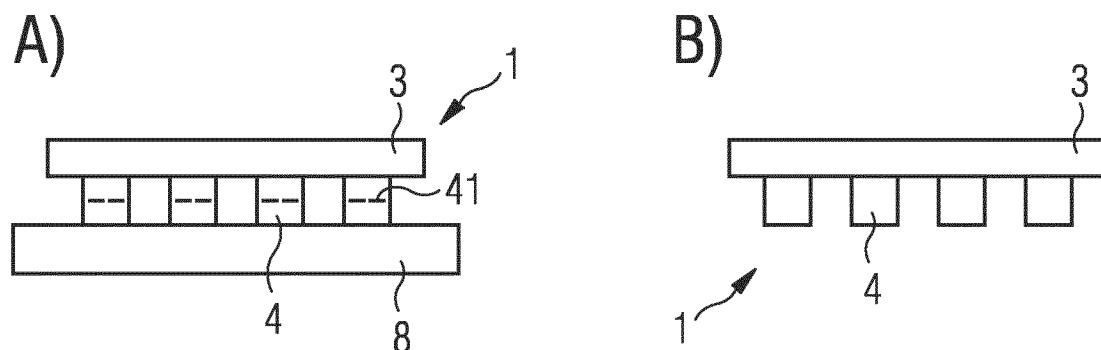


FIG 14

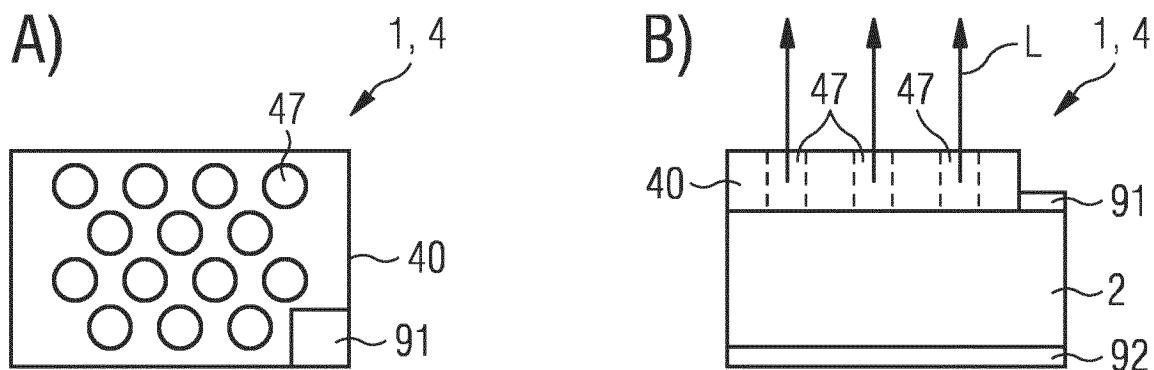
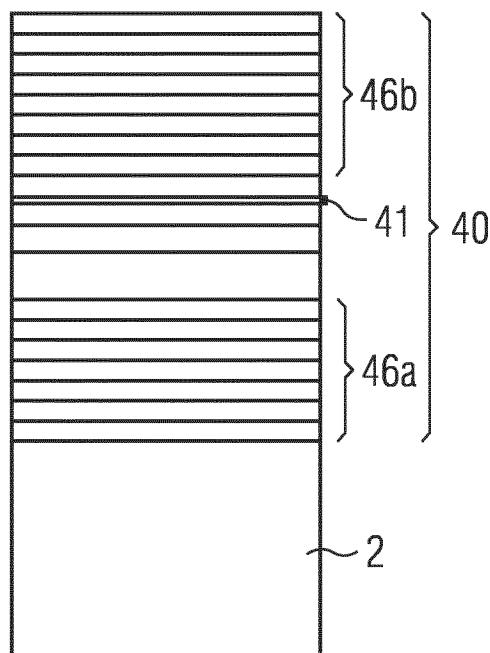
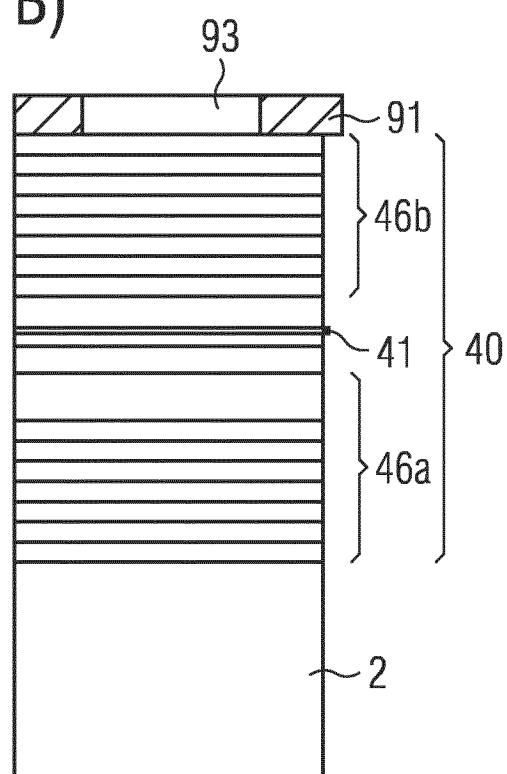


FIG 15

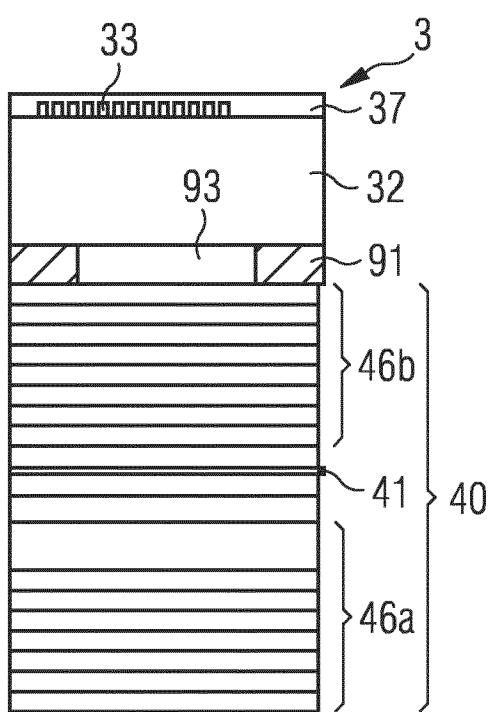
A)



B)



C)



D)

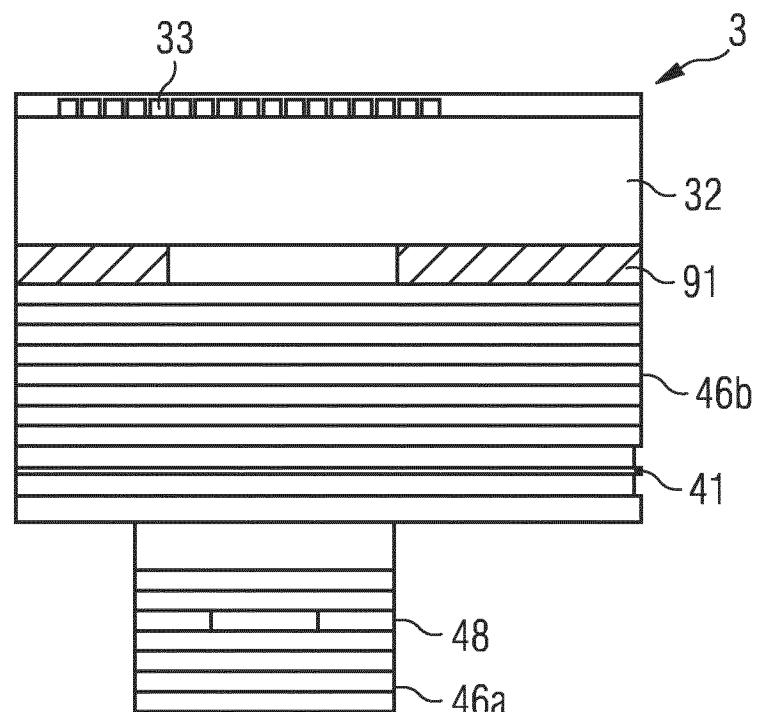


FIG 15

E)

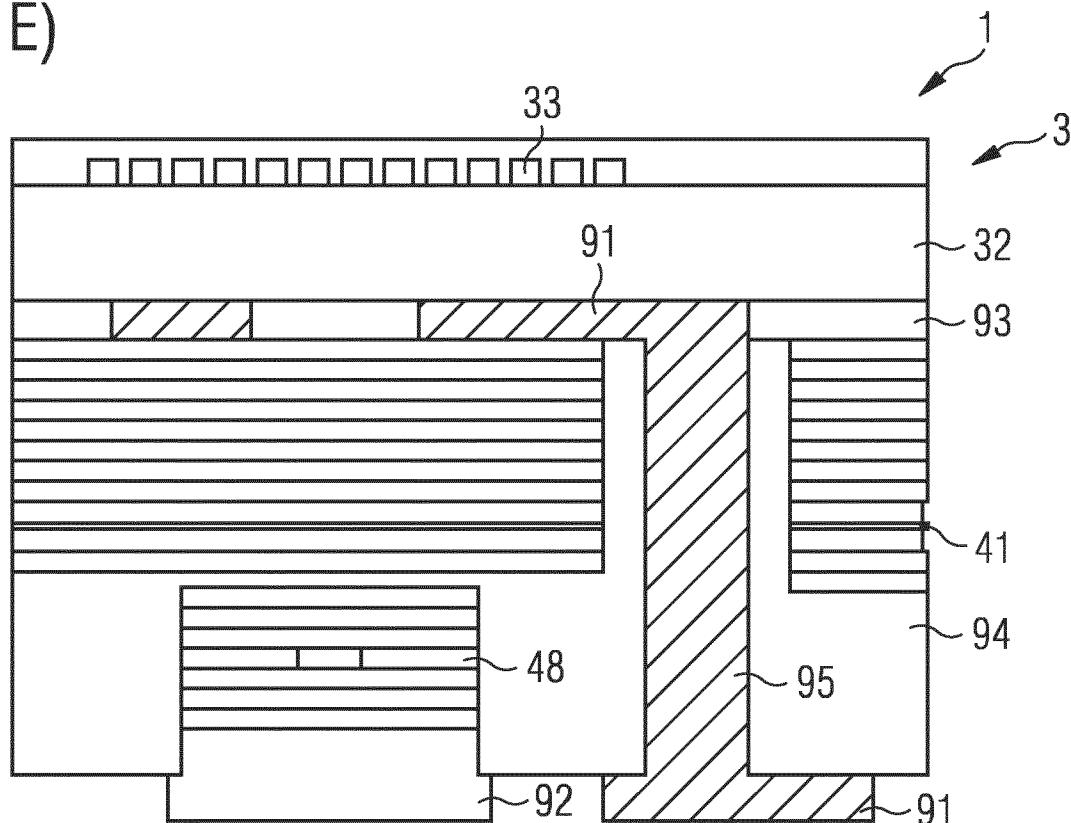
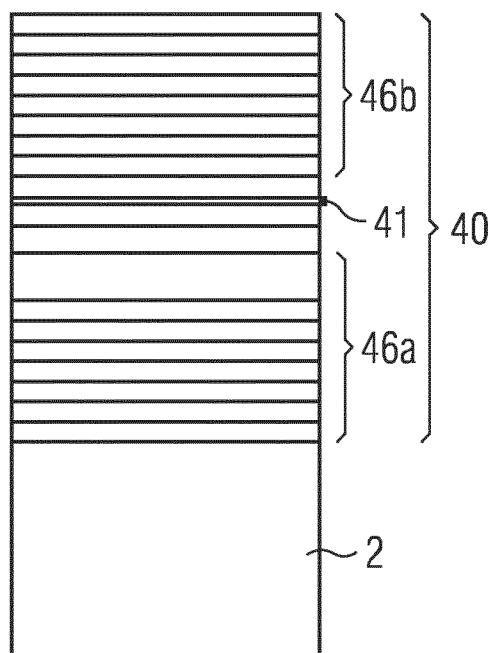


FIG 16

A)



B)

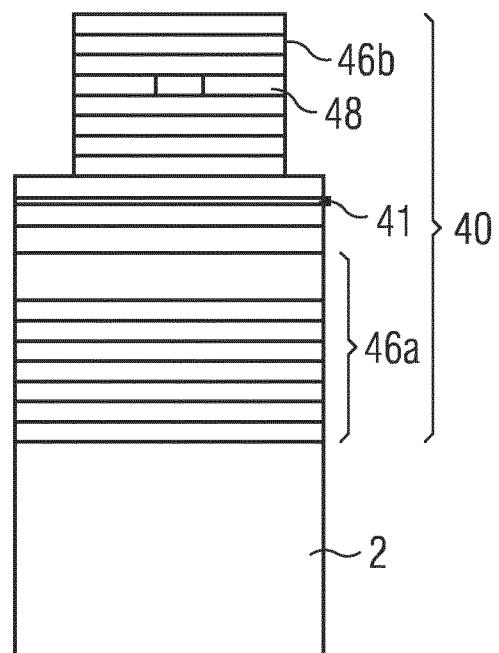
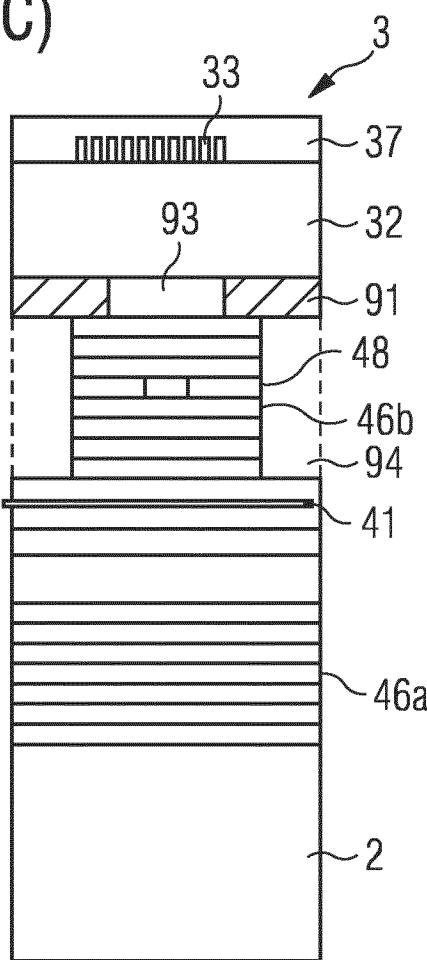
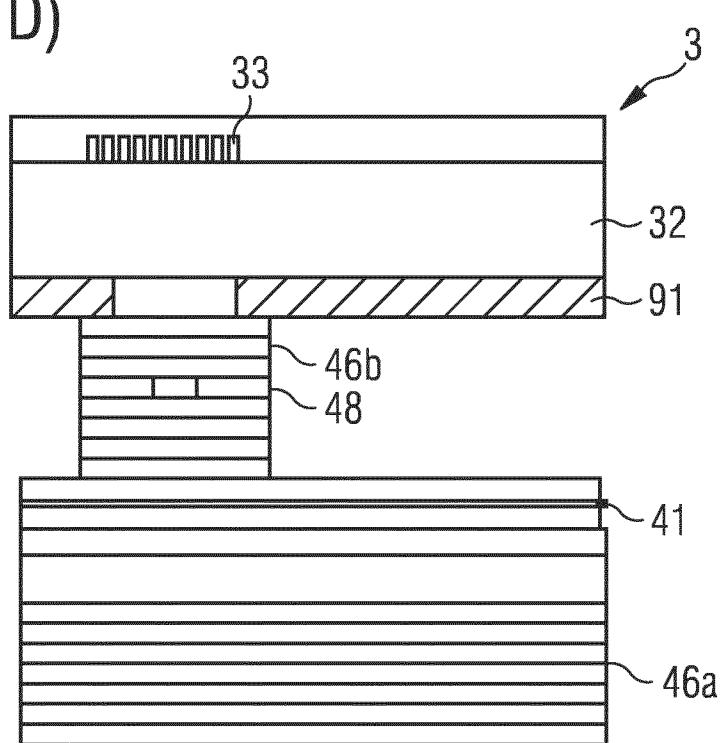


FIG 16

C)



D)



E)

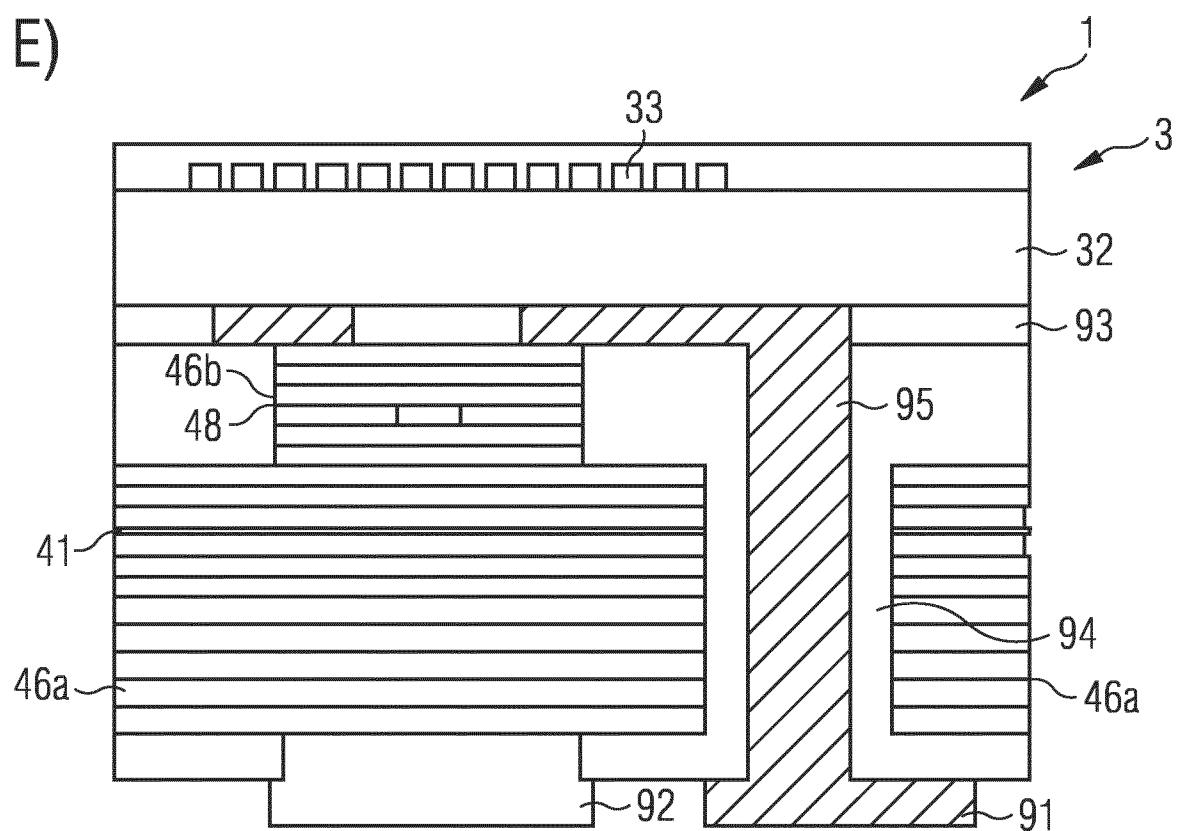
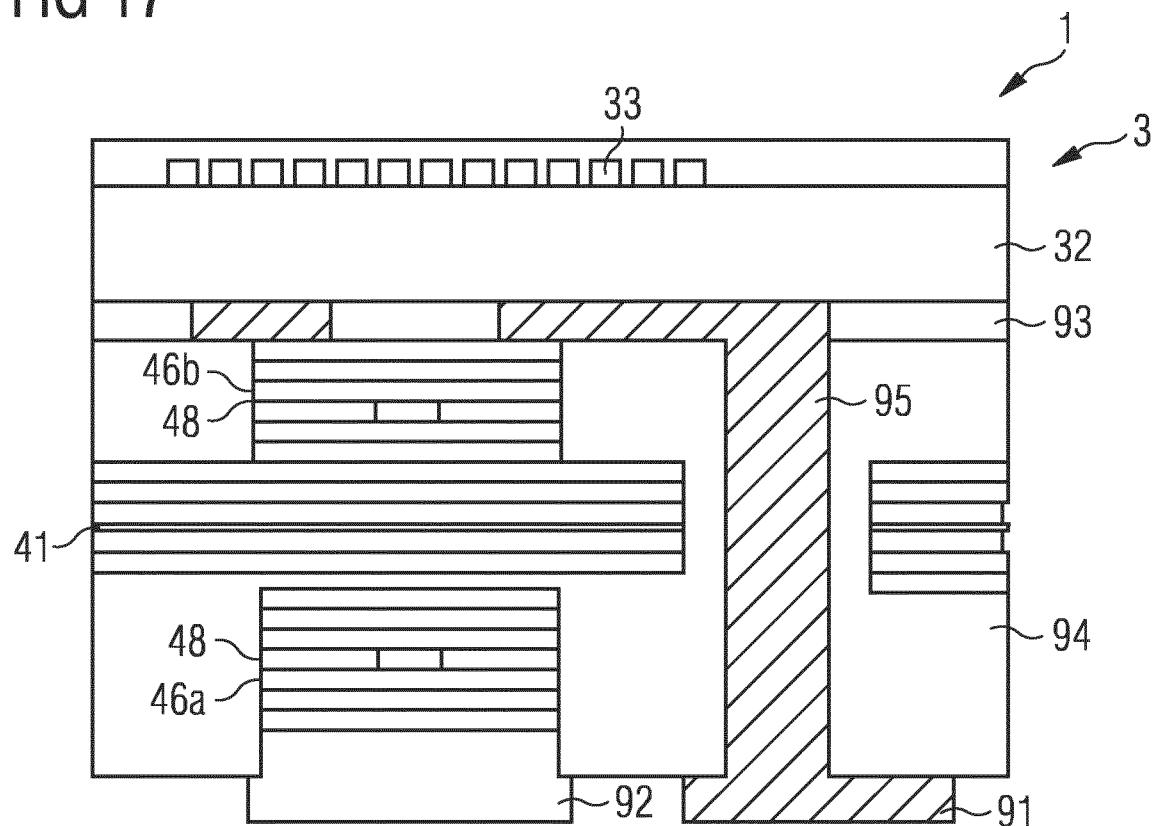


FIG 17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/050459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01S5/183 H01S5/042
 ADD. H01S5/022 H01S5/42

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, COMPENDEX, INSPEC, 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	DE 100 58 949 A1 (AGILENT TECHNOLOGIES INC [US]) 12 July 2001 (2001-07-12) column 3, line 30 - column 5, line 30; figures 2,3 -----	1,2,4,7, 10-13,18
Y	US 2016/164261 A1 (WARREN MIAL E [US]) 9 June 2016 (2016-06-09) ----- paragraphs [0032] - [0093]; figures 1-11 -----	15-17 1-3,5-9, 11,12, 14,17,18 15-17
Y	WO 03/003424 A1 (XANOPTIX INC [US]) 9 January 2003 (2003-01-09) page 23, line 5 - page 34, line 25; figures 18-21,27-29 -----	15,16



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	Date of mailing of the international search report
10 April 2018	19/04/2018
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 Laenen, Robert

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2018/050459

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10058949	A1 12-07-2001	DE 10058949 A1 GB 2360656 A JP 2001196608 A US 7265439 B1	12-07-2001 26-09-2001 19-07-2001 04-09-2007
US 2016164261	A1 09-06-2016	NONE	
WO 03003424	A1 09-01-2003	EP 1412966 A1 US 2003081638 A1 WO 03003424 A1	28-04-2004 01-05-2003 09-01-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/050459

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01S5/183 H01S5/042
 ADD. H01S5/022 H01S5/42

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte 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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 100 58 949 A1 (AGILENT TECHNOLOGIES INC [US]) 12. Juli 2001 (2001-07-12)	1,2,4,7, 10-13,18
Y	Spalte 3, Zeile 30 - Spalte 5, Zeile 30; Abbildungen 2,3 -----	15-17
X	US 2016/164261 A1 (WARREN MIAL E [US]) 9. Juni 2016 (2016-06-09)	1-3,5-9, 11,12, 14,17,18
Y	Absätze [0032] - [0093]; Abbildungen 1-11 -----	15-17
Y	WO 03/003424 A1 (XANOPTIX INC [US]) 9. Januar 2003 (2003-01-09) Seite 23, Zeile 5 - Seite 34, Zeile 25; Abbildungen 18-21,27-29 -----	15,16



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 erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher 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

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10. April 2018

19/04/2018

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

Laenen, Robert

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/050459

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10058949	A1 12-07-2001	DE 10058949 A1 GB 2360656 A JP 2001196608 A US 7265439 B1	12-07-2001 26-09-2001 19-07-2001 04-09-2007
US 2016164261	A1 09-06-2016	KEINE	
WO 03003424	A1 09-01-2003	EP 1412966 A1 US 2003081638 A1 WO 03003424 A1	28-04-2004 01-05-2003 09-01-2003