

(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  
7. Februar 2008 (07.02.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2008/014772 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:  
H01L 33/00 (2006.01)

(DE). HEIDBORN, Peter [DE/DE]; Ödenthaler Strasse 15  
d, 93197 Zeilarn (DE). BEHRES, Alexander [DE/DE];  
Waldhofstr. 3c, 93309 Kelheim (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2007/001349

(74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENT-  
TANWALTSGESELLSCHAFT MBH; Ridlerstrasse 55,  
80339 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

27. Juli 2007 (27.07.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102006035627.6 31. Juli 2006 (31.07.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE/DE]; Wernerwerkstrasse 2, 93049 Regensburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GRÖNNINGER, Günther [DE/DE]; Föhrenstrasse 28, 92358 Seubersdorf (DE). JUNG, Christian [DE/DE]; Jurastrasse 45, 93161 Sinzing

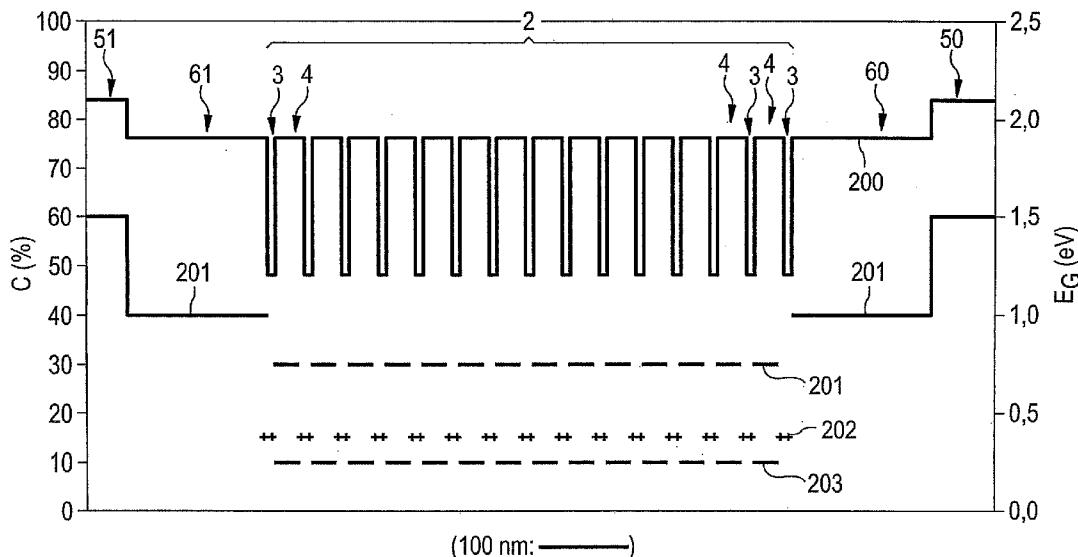
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LED SEMICONDUCTOR BODY

(54) Bezeichnung: LED-HALBLEITERKÖRPER



(57) Abstract: The invention describes an LED semiconductor body with a semiconductor layer sequence which comprises a quantum structure intended to generate radiation and having at least one quantum layer and at least one barrier layer, wherein the quantum layer and the barrier layer are oppositely biased.

WO 2008/014772 A1 (57) Zusammenfassung: Es wird ein LED-Halbleiterkörper mit einer Halbleiterschichtenfolge angegeben, die eine zur Erzeugung von Strahlung vorgesehene Quantenstruktur mit mindestens einer Quantenschicht und mindestens einer Barriereforschicht umfasst, wobei die Quantenschicht und die Barriereforschicht mit zueinander entgegengesetzten Vorzeichen verspannt sind.



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

## Beschreibung

### LED-Halbleiterkörper

Die Erfindung betrifft einen LED-Halbleiterkörper, der zur Erzeugung von Strahlung vorgesehen ist.

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2006 035 627.6, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

In LED-Halbleiterkörpern liegt die interne Quanteneffizienz, also das Verhältnis von im Halbleiterkörper erzeugten Photonen zu den in den Halbleiterkörper injizierten Elektron-Loch-Paaren, oftmals deutlich unter dem Idealwert von 1.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde einen LED-Halbleiterkörper mit verbesserten Eigenschaften anzugeben. Insbesondere soll die interne Quanteneffizienz gesteigert und die spektrale Breite der im Betrieb des LED-Halbleiterkörpers abgestrahlten Strahlung verringert werden. Weiterhin soll die Linearität der Leistung der abgestrahlten Strahlung bezüglich des Betriebsstroms bei hohen Betriebsströmen verbessert werden.

Diese Aufgabe wird mit einem LED-Halbleiterkörper mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst.

In einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen LED-Halbleiterkörpers weist der LED-Halbleiterkörper eine Halbleiterschichtenfolge auf, die eine zur Erzeugung von inkohärenter Strahlung vorgesehene Quantenstruktur mit mindestens einer Quantenschicht und mindestens einer

Barriereschicht umfasst. Dabei sind die Quantenschicht und die Barriereschicht mit zueinander entgegengesetzten Vorzeichen verspannt.

Da die Barriereschicht eine Verspannung aufweist, die ein der Verspannung der Quantenschicht entgegengesetztes Vorzeichen aufweist, kann die Verspannung der Quantenschicht mittels der Verspannung der Barriereschicht kompensiert sein. Dies kann zu einer verbesserten Kristallqualität der Halbleiterschichtenfolge führen. Versetzungen, die sich in stark verspannten Quantenschicht vermehrt ausbilden, können so mit Vorteil vermindert werden.

Die intrinsische Gitterkonstante von Halbleitern hängt in der Regel von der Materialzusammensetzung des Halbleiters ab. Bei hinreichend dünnen Halbleiterschichten kann die Gitterkonstante der Halbleiterschicht von der entsprechenden intrinsischen Gitterkonstante des Halbmaterials abweichen.

Eine Halbleiterschicht wird im Rahmen der Erfindung insbesondere als verspannt angesehen, wenn bei der, beispielsweise epitaktischen, Abscheidung auf einer Referenzschicht eine Halbleiterschicht mit einer Gitterkonstante entsteht, die in lateraler Richtung, das heißt in einer Richtung senkrecht zur Richtung der Abscheidung, von der intrinsischen Gitterkonstante der Halbleiterschicht verschieden ist. Dabei ist die Gitterkonstante der verspannten Halbleiterschicht in lateraler Richtung gleich derjenigen der Referenzschicht.

Die Referenzschicht kann insbesondere ein Aufwachsubstrat, auf dem die Abscheidung der Halbleiterschicht erfolgt ist, oder eine Halbleiter-Pufferschicht, deren Gitterkonstante von

der intrinsischen Gitterkonstante der Halbleiter-Pufferschicht nicht oder nicht wesentlich abweicht, sein.

Verspannte Halbleiterschichten, die wie oben beschrieben in lateraler Richtung die Gitterkonstante der Referenzschicht aufweisen und bei denen die Verspannung nicht oder nur zu einem geringen Teil in Form von Versetzungen abgebaut wird, werden auch als pseudomorph bezeichnet..

Halbleiterschichten, deren Gitterkonstante kleiner ist als ihre intrinsische Gitterkonstante, werden als druckverspannt oder positiv verspannt bezeichnet.

Analog dazu werden Halbleiterschichten, deren Gitterkonstante größer ist als ihre intrinsische Gitterkonstante, als zugverspannt oder negativ verspannt bezeichnet.

Eine druckverspannte, also positiv verspannte, und eine zugverspannte, also negativ verspannte, Halbleiterschicht weisen somit eine Verspannung mit zueinander entgegengesetztem Vorzeichen auf.

Die akkumulierte Verspannung einer Halbleiterschicht kann durch eine darüber oder darunter liegende Halbleiterschicht mit einer Verspannung mit entgegengesetztem Vorzeichen teilweise oder vollständig kompensiert werden, was auch als Verspannungskompensation bezeichnet wird. Ein Maß für die Verspannung von  $n$  aufeinander angeordneten verspannten Halbleiterschichten ist die so genannte mittlere Verspannung  $V_0$ , welche gegeben ist durch

$$V_O = \frac{\sum_{l=1}^n f_l d_l}{\sum_{l=1}^n d_l},$$

wobei  $f_l$  die Verspannung der  $l$ -ten Halbleiterschicht und  $d_l$  die Dicke der  $l$ -ten Halbleiterschicht ist. Das Produkt  $f_l \cdot d_l$  ist das Produkt von Verspannung und Schichtdicke der  $l$ -ten Halbleiterschicht. Dabei ist die Verspannung  $f_l$  gegeben durch

$$f_l = \frac{g_l - g_0}{g_0},$$

wobei  $g_l$  die intrinsische Gitterkonstante der  $l$ -ten Halbleiterschicht und  $g_0$  die Gitterkonstante der Referenzschicht und damit die tatsächliche Gitterkonstante der verspannten Halbleiterschicht ist.

Bei geeigneter Wahl der Schichtdicken und der Verspannung kann sich die mittlere Verspannung der verspannten Halbleiterschichten teilweise oder vollständig, also vereinfacht zu einem Wert von 0, kompensieren.

Mittels dieser Verspannungskompensation ist es möglich, vergleichsweise dicke Halbleiterschichtstapel mit hoher Kristallqualität abzuscheiden. Kristalldefekte wie Versetzungen, die in stark verspannten Schichten vermehrt auftreten, können so vorteilhaft vermindert werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung weist die Quantenstruktur zumindest eine weitere Quantenschicht und zumindest eine weitere Barriereschicht auf, wobei die weitere Quantenschicht

und die weitere Barrièreschicht mit zueinander entgegengesetzten Vorzeichen verspannt sind.

Bevorzugt weist der LED-Halbleiterkörper vier Quantenschichten oder mehr, besonders bevorzugt zehn Quantenschichten oder mehr, beispielsweise fünfzehn Quantenschichten, auf.

Eine derart hohe Anzahl von Quantenschichten hat den Vorteil, dass sich der LED-Halbleiterkörper im Betrieb durch eine verbesserte Linearität bei hohen Strömen, insbesondere bei Strömen von oberhalb von 0,5 A, auszeichnen kann. Dies bedeutet, dass die Strahlungsleistung der im LED-Halbleiterkörper erzeugten Strahlung auch bei hohen Strömen bei einer Erhöhung des Betriebsstroms linear mit dem Betriebsstrom ansteigt. Je höher die Anzahl der Quantenschichten ist, desto höher ist der Wert des Betriebsstroms, bis zu dem die Strahlungsleistung der im LED-Halbleiterkörper erzeugten Strahlung linear mit dem Betriebsstrom zunimmt.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Quantenstruktur zur Erzeugung von Strahlung mit einer Peak-Wellenlänge im Wellenlängenbereich von einschließlich 750 nm bis einschließlich 1050 nm vorgesehen. Dieser Spektralbereich, insbesondere dessen Anteil außerhalb der Empfindlichkeit des menschlichen Auges, ist beispielsweise vorteilhaft für Sensorsysteme mit Sender und Empfänger, da das menschliche Auge von einer Strahlung des Senders nicht gestört wird.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Quantenstruktur derart ausgebildet, dass die Halbwertsbreite des Emissionsspektrums von der Quantenstruktur erzeugten

Strahlung 70 nm oder weniger, bevorzugt 60 nm oder weniger, besonders bevorzugt 50 nm oder weniger, beispielsweise zwischen einschließlich 40 und einschließlich 45 nm, beträgt. Hierbei wird unter der Halbwertsbreite die volle spektrale Breite der emittierten Strahlung bei auf das Maximum bezogen halber Strahlungsleistung (FWHM, full width at half maximum) verstanden.

Mit schmalbandig emittierenden LEDs als Sender können vereinfacht Sensorsysteme mit Sender und Empfänger realisiert werden. Weiterhin ist ein Emissionsspektrum mit einer möglichst geringen spektralen Breite im Nahen Infrarot vorteilhaft, da spektrale Ausläufer der Spektrums in den sichtbaren Spektralbereich vermindert werden können. Eine Blendung des menschlichen Auges kann so vereinfacht vermieden werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist zumindest eine Quantenschicht druckverspannt und eine Barriereschicht zugverspannt. Mittels der zugverspannten Barriereschicht kann die Druckverspannung der Quantenschicht vollständig oder zumindest teilweise kompensiert werden. Eine vollständige Kompensation der Verspannung erfolgt, wenn das Produkt von Verspannung und Schichtdicke der Quantenschicht betragsmäßig gleich dem Produkt von Verspannung und Schichtdicke der Barriereschicht ist, wobei diese Produkte unterschiedliche Vorzeichen aufweisen. Dadurch kann vorteilhaft eine hohe Kristallqualität des LED-Halbleiterkörpers erzielt werden. Das Ausbilden von Kristallfehlern wie Versetzungen kann vermindert werden.

Insbesondere ermöglicht die Verspannungskompensation die Herstellung einer Halbleiterschichtenfolge, bei der die Summe

der Dicken der Quantenschichten oberhalb der kritischen Schichtdicke für eine Quantenschicht liegt. Die kritische Schichtdicke einer Halbleiterschicht ist dabei eine materialspezifische Obergrenze für pseudomorphes Wachstum der Halbleiterschicht. Oberhalb der kritischen Schichtdicke ist ein die Kristallqualität mindernder Abbau der Verspannung in Form von Versetzungen typisch. Gegenüber einer Halbleiterschichtenfolge, in der die Verspannung der Quantenschicht nicht kompensiert ist, ermöglicht die Verspannungskompensation eine Erhöhung der Anzahl der Quantenschichten.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die Verspannung von zumindest einer Barriereschicht betragsmäßig kleiner als eine Verspannung der Quantenschicht. Bevorzugt liegt der Betrag der Verspannung der Barriereschicht zwischen einem Wert von einschließlich 0,2 und einschließlich 0,67, besonders bevorzugt zwischen einschließlich 0,33 und einschließlich 0,5, des Betrags der Verspannung der Quantenschicht. Hierbei ist die Barriereschicht zur Kompensation der Verspannung der Quantenschicht bevorzugt entsprechend dicker als die Quantenschicht.

In einer bevorzugten Weiterbildung ist das Verhältnis der Dicke der Barriereschicht zu der Dicke der Quantenschicht größer oder gleich 1 bevorzugt größer oder gleich 1,5, besonders bevorzugt größer oder gleich 2,5, beispielsweise bis zu 3.

Bei Quantenstrukturen, bei denen die Dicke der zwischen zwei benachbarten Quantenschichten angeordneten Barriereschicht größer ist als die Einzeldicken der Quantenschichten, können die sich in den Quantenschichten ausbildenden quantisierten

Zustände der Ladungsträger vereinfacht von den Zuständen der benachbarten Quantenschicht entkoppelt sein. Durch diese Entkopplung wird die Erzeugung einer spektral schmalbandigen Strahlung mittels der Quantenstruktur erleichtert.

In einer bevorzugten Weiterbildung beträgt die Dicke der Barrièreschicht 5 nm oder mehr, bevorzugt 10 nm oder mehr, besonders bevorzugt 20 nm oder mehr. Mit zunehmender Dicke der Barrièreschicht können zwei Quantenschichten, die mittels der Barrièreschicht voneinander getrennt sind, besonders gut voneinander entkoppelt werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die Quantenschichten und die Barrièreschichten in der Quantenstruktur in alternierender Abfolge aufeinander angeordnet. Dabei sind die Barrièreschichten bevorzugt jeweils so ausgebildet, dass das Produkt von Verspannung und Schichtdicke einer Quantenschicht jeweils durch das Produkt von Verspannung und Schichtdicke der nachfolgenden Barrièreschicht vollständig oder im Wesentlichen vollständig kompensiert wird. Dies kann zu einer Reduktion der mittleren Verspannung der Quantenstruktur führen. Mit Vorteil kann so eine gegenüber einer nicht verspannungskompensierten Halbleiterschichtenfolge vergleichsweise dicke Quantenstruktur mit hoher Kristallqualität ausgebildet sein.

Insbesondere kann die Zahl der in der Quantenstruktur entstehenden Versetzungen verringert werden. Dadurch kann sich die Zahl der Ladungsträger, die in der Quantenstruktur an solchen Versetzungen nicht-strahlend rekombinieren, reduziert werden. Dies kann vorteilhafterweise eine gesteigerte interne Quanteneffizienz im Betrieb des Halbleiterkörpers zur Folge haben.

In einer bevorzugten Ausgestaltung enthält der LED-Halbleiterkörper ein III-V Halbleitermaterial, beispielsweise  $In_yGa_{1-y}As$  mit  $0 \leq y \leq 1$ , bevorzugt mit  $y \neq 0$ . Bevorzugt enthält zumindest eine Quantenschicht  $In_yGa_{1-y}As$  mit  $0 \leq y \leq 0,5$ , bevorzugt mit  $0,05 \leq y \leq 0,3$ , besonders bevorzugt mit  $0,1 \leq y \leq 0,2$ . Bei  $In_yGa_{1-y}As$  nimmt die intrinsische Gitterkonstante mit zunehmendem Indium-Gehalt zu. Damit steigt die Druckverspannung einer  $In_yGa_{1-y}As$ -Halbleiterschicht bezogen auf GaAs ebenfalls mit zunehmendem Indium-Gehalt an. Eine druckverspannte  $In_yGa_{1-y}As$ -Halbleiterschicht weist dabei in Abscheiderichtung eine größere Gitterkonstante auf als in lateraler Richtung.

Ein LED-Halbleiterkörper mit einer  $In_yGa_{1-y}As$ -haltigen Quantenschicht kann sich insbesondere im Wellenlängenbereich von einschließlich 750 nm bis einschließlich 1050 nm durch eine hohe Quanteneffizienz auszeichnen.

Die Barrièreschicht kann beispielsweise  $Al_xGa_{1-x}As_{1-z}P_z$  mit  $0 \leq x \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$ , bevorzugt mit  $z \neq 0$ , enthalten. Die intrinsische Gitterkonstante einer derartigen Halbleiterschicht nimmt mit zunehmendem Phosphor-Gehalt ab, wobei bei einer zugverspannten  $Al_xGa_{1-x}As_{1-z}P_z$ -Halbleiterschicht die Gitterkonstante in Abscheiderichtung kleiner ist als die Gitterkonstante in lateraler Richtung. Bezogen auf GaAs nimmt die Zugverspannung mit zunehmendem Phosphor-Gehalt zu, so dass über die Variation des Phosphor-Gehalts die Verspannung einer druckverspannten  $In_yGa_{1-y}As$ -haltigen Halbleiterschicht mittels einer  $Al_xGa_{1-x}As_{1-z}P_z$ -Halbleiterschicht kompensiert werden kann. Weiterhin kann die Bandlücke einer  $Al_xGa_{1-x}As_{1-z}P_z$ -Halbleiterschicht über den Aluminium-Gehalt eingestellt werden. Bei einem Quantentopf,

der mittels einer  $In_yGa_{1-y}As$ -Quantenschicht und zweier  $Al_xGa_{1-x}As_{1-z}P_z$ -Barrièreschichten gebildet ist, ermöglicht eine Variation des Aluminium-Gehalts ein vereinfachtes Einstellen der energetischen Tiefe des Quantentopfs.

Als Aufwachssubstrat für eine, beispielsweise epitaktische Abscheidung der Halbleiterschichten, etwa mittels MBE oder MOVPE, kann ein GaAs-Substrat eingesetzt werden.

Selbstverständlich können bei einem LED-Halbleiterkörper, der eine Mehrzahl von Quantenschichten und eine Mehrzahl von Barrièreschichten aufweist, auch mehrere Quantenschichten und/oder Barrièreschichten oder alle Quantenschichten und/oder Barrièreschichten die in den angegebenen bevorzugten Ausgestaltungen angeführten Merkmale aufweisen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Quantenstruktur zwischen zwei Mantelschichten eingebettet; wobei eine der Mantelschichten die Referenzschicht bilden kann. Besonders bevorzugt ist die eine Mantelschicht p-dotiert und die andere Mantelschicht n-dotiert ausgebildet. So kann der LED-Halbleiterkörper in Form einer PIN-Diodenstruktur ausgebildet sein, wobei die Quantenstruktur bevorzugt intrinsisch ausgeführt ist.

Zumindest eine Mantelschicht weist bevorzugt eine Bandlücke auf, welche größer ist als die Bandlücke einer Barrièreschicht. Für die sich in der Quantenstruktur befindlichen Ladungsträger kann die Mantelschicht somit eine Potentialbarriere darstellen. Diese kann Ladungsträger daran hindern, aus der Quantenstruktur in die Mantelschicht zu gelangen. Eine strahlende Rekombination der Ladungsträger innerhalb der Quantenstruktur wird so gefördert.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung beträgt die mittlere Verspannung der Quantenstruktur 2000 ppm (parts per million) oder weniger, bevorzugt 1000 ppm oder weniger, besonders bevorzugt 500 ppm oder weniger. Je niedriger die mittlere Verspannung der Quantenstruktur ist, desto höher kann die Kristallqualität der Quantenstruktur sein.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der LED-Halbleiterkörper als Dünnfilm-Halbleiterkörper ausgeführt. Bei einem Dünnfilm-Halbleiterkörper ist im Gegensatz zu einem herkömmlichen Halbleiterkörper das Aufwachsubstrat, auf dem die Halbleiterschichtenfolge des Halbleiterkörpers, beispielsweise epitaktisch, abgeschieden ist, vollständig oder bereichsweise gedünnt oder vollständig oder bereichsweise entfernt. Dies kann beispielsweise mechanisch und/oder chemisch erfolgen. Auch ein Lasertrennverfahren oder das Verfahren der Laserablation ist hierfür geeignet.

Ein Dünnfilm-Halbleiterchip kann den Dünnfilm-Halbleiterkörper und einen Träger umfassen, wobei der Halbleiterkörper auf dem Träger angeordnet und vorzugsweise befestigt ist. Der Träger ist insbesondere vom Aufwachsubstrat des Halbleiterkörpers verschieden. Der Träger kann der mechanischen Stabilisierung des Halbleiterkörpers dienen. Da Aufwachsubstrat ist hierfür nicht mehr erforderlich und kann ohne eine wesentliche Gefahr der Schädigung des Halbleiterkörpers gedünnt oder entfernt werden.

Mit Vorteil muss der Träger im Gegensatz zu dem Aufwachsubstrat nicht die hohen Anforderungen hinsichtlich kristalliner Reinheit erfüllen, sondern kann vielmehr im

Hinblick auf andere Kriterien, wie beispielsweise mechanische Stabilität, optische, thermische oder elektrische Eigenschaften ausgewählt werden.

Ein Dünnfilm-Halbleiterchip, etwa ein Dünnfilm-LED-Chip, kann sich weiterhin durch mindestens eines der folgenden charakteristischen Merkmale auszeichnen:

- an einer zu einem Trägerelement hin gewandten ersten Hauptfläche einer Halbleiterschichtenfolge, die eine aktive Zone umfasst, insbesondere einer Epitaxieschichtenfolge, ist eine Spiegelschicht aufgebracht oder, etwa als Braggspiegel in der Halbleiterschichtenfolge integriert, ausgebildet, die zumindest einen Teil der in der Halbleiterschichtenfolge erzeugten Strahlung in diese zurückreflektiert;
- die Halbleiterschichtenfolge weist eine Dicke im Bereich von  $20\mu\text{m}$  oder weniger, insbesondere im Bereich von  $10\mu\text{m}$  auf; und/ oder
- die Halbleiterschichtenfolge enthält mindestens eine Halbleiterschicht mit zumindest einer Fläche, die eine Durchmischungsstruktur aufweist, die im Idealfall zu einer annähernd ergodischen Verteilung des Lichtes in der Halbleiterschichtenfolge führt, d.h. sie weist ein möglichst ergodisch stochastisches Streuverhalten auf.

Ein Grundprinzip eines Dünnfilm-Leuchtdiodenchips ist beispielsweise in I. Schnitzer et al., Appl. Phys. Lett. 63 (16), 18. Oktober 1993, 2174 - 2176 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt insofern hiermit durch Rückbezug in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist auf dem Halbleiterkörper eine Spiegelschicht angeordnet. Besonders

bevorzugt ist die Spiegelschicht zwischen dem Träger und dem Halbleiterkörper angeordnet. Dabei ist die Spiegelschicht für im Betrieb des Halbleiterkörpers erzeugte Strahlung reflektierend ausgebildet. Die Spiegelschicht ist weiterhin bevorzugt metallisch ausgeführt. Beispielsweise kann die metallische Spiegelschicht Au, Ag, Al, Pt oder eine Legierung mit mindestens einem dieser Materialien enthalten. Au zum Beispiel zeichnet sich durch eine besonders hohe Reflektivität im roten und infraroten Spektralbereich aus.

In der Quantenstruktur erzeugte und in Richtung des Trägers verlaufende Strahlung kann an der Spiegelschicht reflektiert und an einer der Spiegelschicht abgewandten, eine Strahlungsaustrittsfläche bildenden, Oberfläche des Halbleiterchips aus diesem ausgekoppelt werden. Der durch die Strahlungsaustrittsfläche ausgekoppelte Strahlungsanteil wird dementsprechend mit Vorteil erhöht. Weiterhin kann die Spiegelschicht einer Absorption von Strahlung durch das Trägermaterial vorbeugen. Die Freiheitsgrade bei der Auswahl des Trägermaterials sind so weitergehend erhöht.

Weitere Merkmale, vorteilhafte Ausgestaltungen und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den Figuren.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittansicht eines LED-Halbleiterchips mit einem erfindungsgemäßen LED-Halbleiterkörper, und

Figur 2 eine graphische Darstellung des Verlaufs der Bandlücke und der Materialzusammensetzungen für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen LED-Halbleiterkörpers in einem Ausschnitt um eine Quantenstruktur des LED-Halbleiterkörpers.

Gleiche, gleichartige und gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

In Figur 1 ist in einer schematischen Schnittansicht der Aufbau eines LED-Halbleiterchips 11 mit einem erfindungsgemäßen Halbleiterkörper 1 dargestellt. Der LED-Halbleiterkörper 1 ist durch eine Halbleiterschichtenfolge gebildet, die eine Quantenstruktur 2 umfasst. Diese Quantenstruktur weist beispielhaft vier Quantenschichten 3 auf, wobei zwischen jeweils zwei benachbarten Quantenschichten jeweils eine Barriereschicht 4 angeordnet ist. Bei einer Anzahl von  $n$  Quantenschichten beträgt die Anzahl der Barriereschichten in der Regel  $n-1$ . Vom in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel abweichend kann die Anzahl der Barriereschichten aber auch  $n+1$  betragen.

Die Quantenstruktur 2 ist zwischen einer ersten Mantelschicht 50 und einer zweiten Mantelschicht 51 angeordnet. Eine Strahlungsauskoppelfläche 10 ist mittels einer Oberfläche der ersten Mantelschicht 50 gebildet.

Der LED-Halbleiterchip 11 ist als Dünnfilm-Halbleiterchip ausgeführt. Dabei ist der LED-Halbleiterkörper 1 auf einem Träger 70 des LED-Halbleiterchips 11 angeordnet. Dieser Träger ist von einem Aufwachsubstrat für den Halbleiterkörper 1, insbesondere die Halbleiterschichtenfolge, verschieden. Die Abscheidung der

Halbleiterschichtenfolge auf dem Aufwachssubstrat bei der Herstellung des Halbleiterkörpers erfolgt vorzugsweise epitaktisch, beispielsweise mittels MBE oder MOVPE. Der Träger muss demnach hinsichtlich der kristallinen Reinheit nicht den hohen Anforderungen an ein Aufwachssubstrat genügen, sondern kann beispielsweise hinsichtlich der Wärmeableitungseigenschaften und/oder der elektrischen Leitfähigkeit optimiert ausgeführt sein. Ein Dünnfilm-Halbleiterchip, bei dem das Aufwachssubstrat für den Halbleiterkörper während der Herstellung abgelöst ist, ist deshalb für Hochleistungs-LED-Halbleiterchips mit vergleichsweise hoher im Halbleiterchip entstehender Verlustwärme besonders geeignet.

Weiterhin dient der Träger der mechanischen Stabilisierung der Halbleiterschichtenfolge nach dem Entfernen des Aufwachssubstrats. Das Entfernen des Aufwachssubstrats kann dabei beispielsweise mechanisch und/oder chemisch vollständig oder bereichsweise entfernt oder gedünnt sein. Auch ein Lasertrennverfahren oder das Verfahren der Laserablation kann hierfür Anwendung finden. Vorzugsweise ist das Aufwachssubstrat vollständig entfernt. In der Figur 1 ist das Aufwachssubstrat deshalb nicht dargestellt.

Bevorzugt weist der Träger eine vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit auf. Beispielsweise kann der Träger Germanium enthalten oder aus Germanium bestehen. Auch ein GaAs-Träger kann Anwendung finden. Enthält der Träger ein Halbleitermaterial oder besteht der Träger aus einem Halbleitermaterial, so ist dieser mit Vorzug zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit geeignet dotiert.

Zwischen dem Halbleiterkörper 1 und dem Träger 70 ist eine Spiegelschicht 72 angeordnet, die vorzugsweise auf dem Halbleiterkörper aufgebracht ist. In der Quantenstruktur im Betrieb des LED-Halbleiterkörpers erzeugte und in Richtung des Trägers 70 abgestrahlte Strahlung kann von der Spiegelschicht reflektiert werden. Hierdurch wird eine Absorption in der Spiegelschicht von der Quantenstruktur aus gesehen nachgeordneten Strukturen, etwa dem Träger, vermieden. Die Spiegelschicht kann ein Metall oder eine metallische Legierung enthalten oder metallisch ausgeführt sein. Beispielsweise kann die Spiegelschicht Gold, Silber, Aluminium, Platin oder eine Legierung mit mindestens einem dieser Materialien enthalten oder aus einem solchen Material oder einer solchen Legierung bestehen. Gold beispielsweise zeichnet sich im gelben, orangen, roten bis in den infraroten Spektralbereich durch besonders hohe Reflektivitäten aus. Im Vergleich zu einem Bragg-Spiegel, der in den Halbleiterkörper integriert sein kann, kann sich die Spiegelschicht auf Metallbasis oder auf metallischer Legierungsbasis durch eine hohe Reflektivität in einem vergleichsweise breiten Spektralbereich auszeichnen. Auch die Abhängigkeit der Reflektivität von dem Winkel, in dem die Strahlung auf die Spiegelschicht auftrifft, kann bei einer Spiegelschicht auf Metallbasis oder auf metallhaltiger Legierungsbasis im Vergleich zu einem Bragg-Spiegel vorteilhaft reduziert sein. Eine als Metallschicht oder Legierungsschicht ausgeführte Spiegelschicht ist deshalb gegenüber einem Bragg-Spiegel bevorzugt. In der Quantenstruktur 2 erzeugte und auf die Spiegelschicht auftreffende Strahlung kann so effizient von der Spiegelschicht reflektiert werden. In der Folge kann die aus der Strahlungsauskoppelfläche 10 austretende Strahlungsleistung vorteilhaft gesteigert werden.

Bei der Herstellung des LED-Halbleiterchips 11 erfolgt die Abscheidung des Metalls oder die Ausbildung der Legierung der Spiegelschicht auf dem vorgefertigten Halbleiterkörper 1, insbesondere nach Abschluss der Abscheidung des Halbleiterkörpers. Geeignete Verfahren für die Herstellung der Spiegelschicht 72 sind beispielsweise Sputtern oder Aufdampfen.

Weiterhin ist zwischen der Spiegelschicht 72 und dem Träger 70 eine Verbindungsschicht 71 ausgebildet. Diese Verbindungsschicht dient der Befestigung des Halbleiterkörpers 1 an dem Träger. Die Verbindungsschicht ist bevorzugt elektrisch leitfähig ausgebildet und kann beispielsweise als Lotschicht ausgeführt sein.

Weiterhin ist auf der dem LED-Halbleiterchip abgewandten Seite des Trägers 70 ein Kontakt 75 angeordnet. Mittels dieses Kontakts sowie dem auf der Strahlungsaustrittsfläche 10 angeordneten Kontakt 76 ist der LED-Halbleiterkörper 1 elektrisch anschließbar. Im Betrieb des LED-Halbleiterkörpers können so mittels dieser Kontakte Ladungsträger in die zur Erzeugung von Strahlung vorgesehene Quantenstruktur 2 injiziert werden. Der Kontakt 75 und/oder der Kontakt 76 ist bevorzugt metallisch oder als metallische Legierung ausgeführt. Beispielsweise kann der Kontakt eines der Materialen Au, Ni, Ti, Pt, Al, Ag oder eine Legierung mit zumindest einem dieser Materialien enthalten oder daraus bestehen. Selbstverständlich kann der Kontakt 75 und/oder der Kontakt 76 gegebenenfalls auch mehrschichtig ausgebildet sein.

Alternativ oder ergänzend kann der Kontakt zumindest ein strahlungsdurchlässiges elektrisch leitfähiges Metalloxid

(TCO, Transparent Conductive Oxide) -Material, beispielsweise ITO (Indium Tin Oxide), enthalten oder daraus bestehen.

Die Herstellung der Kontakte 75 und 76 kann beispielsweise mittels Sputterns oder Aufdampfens, vorzugsweise auf dem vorgefertigten Halbleiterkörper 1, erfolgen.

Der LED-Halbleiterkörper kann beispielsweise als PIN-Diodenstruktur ausgeführt sein. Dabei kann beispielsweise die erste Mantelschicht 50 p-leitend dotiert und die zweite Mantelschicht 51 n-leitend dotiert sein, oder umgekehrt. Die Halbleiterschichten der Quantenstruktur 2, die zwischen der Quantenstruktur und der ersten Mantelschicht 50 vorzugsweise angeordnete Zwischenschicht sowie die zwischen der Quantenstruktur und der zweiten Mantelschicht vorzugsweise angeordnete Zwischenschicht 61 sind bevorzugt undotiert ausgebildet. Im Betrieb des LED-Halbleiterchips führt die Rekombination von in die Quantenstruktur injizierten Ladungsträgern zur spontanen Emission von inkohärenter Strahlung. Hierbei erfolgt die strahlende Rekombination der Ladungsträger bevorzugt in den Quantenschichten.

Eine Quantenschicht 3 und eine Barrièreschicht 4 sind zueinander mit entgegengesetzten Vorzeichen verspannt. Beispielsweise kann die Quantenschicht druckverspannt, also positiv verspannt, und die Barrièreschicht zugverspannt, also negativ verspannt, sein. In einem LED-Halbleiterkörper 1 mit einer verspannten Quantenschicht 3 kann die Diffusion von Kristallfehlern, zum Beispiel Versetzungen, vermindert sein. Eine Degradation des LED-Halbleiterkörpers und eine damit verbundene Abnahme der vom Halbleiterkörper abgestrahlten Strahlungsleistung mit zunehmender Betriebsdauer kann vorteilhaft reduziert sein. Ein LED-Halbleiterkörper mit

einer verspannten Quantenschicht kann sich also durch ein verbessertes Lichtalterungsverhalten auszeichnen.

Durch die Verspannung der Barrièreschicht 4 mit einem zur Verspannung der Quantenschicht 3 entgegengesetzten Vorzeichen kann die mittlere Verspannung der Halbleiterschichtenfolge vermindert sein. Dabei ist die Barrièreschicht bevorzugt so ausgeführt, dass das Produkt von Verspannung und Schichtdicke für die Barrièreschicht und für die Quantenschicht betragsmäßig jeweils den gleichen oder im wesentlichen gleichen Wert aufweist. Eine hohe Kristallqualität der Halbleiterkörpers 1, insbesondere der Quantenstruktur 2, ist so vereinfacht erzielbar. Ein die Kristallqualität mindernder Abbau der Verspannung der verspannten Halbleiterschichten in Form von Kristalldefekten wie beispielsweise Versetzungen wird vorteilhaft verringert. Der Anteil von Ladungsträgern in der Quantenstruktur 2, der an solchen Kristalldefekten nicht-strahlend rekombiniert, kann sich bei einer Abnahme der Dichte von Kristalldefekten verringern, was eine Steigerung der strahlenden Rekombination in der Quantenstruktur und somit eine Erhöhung der internen Quanteneffizienz des LED-Halbleiterkörpers zur Folge hat.

Durch die Kompensation der Verspannung der Quantenschichten 3 mittels der Barrièreschichten 4 ist eine vergleichsweise große Anzahl von Quantenschichten 3 und Barrièreschichten 4 mit guter Kristallqualität herstellbar. Dabei sind die verspannten Quantenschichten und Barrièreschichten vorzugsweise in alternierender Abfolge aufeinander angeordnet.

Die Quantenstruktur 2 kann mehr als vier Quantenschichten 3, bevorzugt zehn Quantenschichten oder mehr, beispielsweise 15

Quantenschichten oder mehr, enthalten. Mit zunehmender Anzahl der Quantenschichten kann die Linearität des Bauteils bezüglich des Betriebsstroms, insbesondere bei hohen Strömen oberhalb von 0,5 A noch weiter gesteigert werden.

Weiterhin kann eine Erhöhung der Anzahl der Quantenschichten zu einer Reduzierung der spektralen Breite führen.

Insbesondere ist der LED-Halbleiterkörper vorzugsweise derart ausgeführt, dass das Spektrum der von der Quantenstruktur erzeugten Strahlung eine Halbwertsbreite von 70 nm oder weniger, bevorzugt 60 nm oder weniger, besonders bevorzugt 50 nm oder weniger, beispielsweise 40 bis 45 nm beträgt.

Der Betrag der Verspannung einer Barriereschicht 4 weist bevorzugt einen Wert zwischen einschließlich 0,2 und einschließlich 0,67, besonders bevorzugt zwischen einschließlich 0,33 und einschließlich 1/2 des Betrags der Verspannung einer angrenzenden Quantenschicht 3 auf. Bei einer derartigen Barriereschicht kann die Dicke der Barriereschicht zur Kompensation der Verspannung der zugehörigen Quantenschicht entsprechend dicker als die Quantenschicht gewählt werden. Zwei benachbarte Quantenschichten 3, zwischen denen die Barriereschicht 4 angeordnet ist, können also vergleichsweise weit voneinander beabstandet sein. Die sich in einer Quantenschicht ausbildenden energetischen Zustände können so vorteilhaft von denen der benachbarten Quantenschicht entkoppelt sein. Ein LED-Halbleiterkörper mit einer spektral vergleichsweise schmalbandigen Emission ist so vereinfacht herstellbar.

Ein Verhältnis der Dicke der Barriereschicht 4 zur Dicke der Quantenschicht 3 von größer oder gleich 1, bevorzugt größer

oder gleich 1,5, besonders bevorzugt größer oder gleich 2,5, beispielsweise 3, hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen. Die Dicke der Barrièreschicht kann 5 nm oder mehr, bevorzugt 10 nm oder mehr, besonders bevorzugt 20 nm oder mehr, betragen. Die Dicke der Quantenschichten beträgt dabei typischerweise zwischen einschließlich 3 und einschließlich 10 nm, beispielsweise 5 nm.

In Figur 2 zeigt die Kurve 200 den Verlauf der Bandlücke  $E_g$  für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen LED-Halbleiterkörpers in einem Ausschnitt um die Quantenstruktur 2. Dabei ist auch der Bereich der Zwischenschichten 60 und 61 sowie ein Teil der an die erste Zwischenschicht 60 angrenzenden ersten Mantelschicht 50 und ein Teil der an die zweite Zwischenschicht 61 angrenzenden zweiten Mantelschicht 51 gezeigt. Der Verlauf der Bandlücke  $E_g$  ist lediglich beispielhaft für einen Halbleiterkörper gezeigt, der für die Emission von Strahlung mit einer Peak-Wellenlänge von 940 nm ausgebildet ist.

In dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst die Quantenstruktur 2 fünfzehn Quantenschichten 3, wobei jeweils zwischen 2 benachbarten Quantenschichten 3 jeweils eine Barrièreschicht 4 angeordnet ist. Die Quantenschichten weisen jeweils eine Dicke von 7 nm und die Barrièreschichten eine Dicke von 21 nm auf. Die Quantenschichten sind mittels  $In_yGa_{1-y}As$  gebildet, wobei der Indium-Gehalt für eine Emissionswellenlänge von 940 nm 15% beträgt. Die Barrièreschichten sind durch  $Al_xGa_{1-x}As_{1-z}P_z$  gebildet, wobei der Aluminium-Gehalt 30% und der Phosphor-Gehalt 10% beträgt. In der Figur 2 ist der Verlauf des Aluminium-Gehalts durch die Kurve 201, der Verlauf des Indium-Gehalts durch die Kurve

202 und der Verlauf des Phosphor-Gehalts durch die Kurve 203 dargestellt.

Bei einem Indium-Gehalt von 15% beträgt die Verspannung von InGaAs gegenüber dem GaAs-Aufwachsubstrat etwa 10754 ppm. Dabei sind die InGaAs-Quantenschichten 3 druckverspannt gegenüber GaAs.

Die AlGaAsP-Barrièreschichten 4 mit einem Aluminium-Gehalt von  $x = 30\%$  und einem Phosphor-Gehalt von  $z = 10\%$  sind mit einem Betrag der Verspannung von 3593 ppm gegenüber GaAs zugverspannt. Der Betrag der Verspannung der Barrièreschichten beträgt somit etwa ein Drittel des Betrags der Verspannung der Quantenschichten 3. Entsprechend kann mittels einer Barrièreschicht 4, die etwa dreimal so dick ist wie die Quantenschicht 3, die Verspannung dieser Quantenschicht durch die Verspannung dieser Barrièreschicht kompensiert werden, da dann das Produkt von Verspannung und Schichtdicke für die Barrièreschicht und für die Quantenschicht einen betragsmäßig gleichen Wert mit zueinander entgegengesetzten Vorzeichen aufweisen kann.

Typischerweise beträgt die mittlere Verspannung der Quantenstruktur insbesondere 2000 ppm oder weniger, bevorzugt 1000 ppm oder weniger, besonders bevorzugt 500 ppm oder weniger. So kann eine gute Kristallqualität der Quantenstruktur erreicht werden.

Selbstverständlich sind die angegebenen Materialzusammensetzungen als lediglich beispielhaft anzusehen. Durch Variation der Materialzusammensetzung und/oder der Schichtdicken kann von der Quantenstruktur 2 auch Strahlung mit einer größeren oder kleineren Peak-

Wellenlänge, insbesondere im Wellenlängenbereich von einschließlich 750 nm bis einschließlich 1050 nm erzielt werden. Beispielsweise kann durch eine Erhöhung des Indium-Gehalts die Bandlücke verringert werden, was zu einer größeren Peak-Wellenlänge führen kann.

Auch eine Verbreiterung der Quantenschichten kann zu einer Verringerung der Übergangsenergie bei der Rekombination von einem Elektron mit einem Loch und damit zur Emission von Strahlung mit einer größeren Peak-Wellenlänge führen, da sich die Grundzustandsenergie der Ladungsträger in den Quantenschichten bei Verbreiterung der Quantenschichten reduziert. Der Indium-Gehalt kann dabei zwischen ausschließlich 0 und einschließlich 100%, bevorzugt zwischen einschließlich 5% und einschließlich 30%, besonders bevorzugt zwischen einschließlich 10% und einschließlich 20%, liegen. Da sich mit Zunahme des Indium-Gehalts nicht nur die Bandlücke von InGaAs verringert, sondern auch die Verspannung gegenüber GaAs zunimmt, ist es zweckmäßig, die Zusammensetzung der Barriereschichten 4 entsprechend an die Zusammensetzung Quantenschichten 3 anzupassen. Eine Kompensation einer höheren Verspannung einer Quantenschicht kann dabei beispielsweise durch eine Erhöhung des Phosphor-Gehalts in einer Barriereschicht oder durch eine Verbreiterung der Barriereschicht erzielt werden.

Analog dazu kann bei einer Verringerung des Indium-Gehalts in einer Quantenschicht 3 die Emission von Strahlung mit einer größeren Peak-Wellenlänge erzielt werden. Aufgrund der mit abnehmendem Indium-Gehalt abnehmenden Verspannung der InGaAs-Quantenschichten, kann die Verspannung der Quantenschichten durch dünnerne Barriereschichten 4 oder durch

Barriereschichten mit verringertem Phosphorgehalt kompensiert werden.

Zur Kompensation der Verspannung von druckverspannten Quantenschichten 3, die mittels InGaAs gebildet sind, sind zugverspannte Barriereschichten 4, die AlGaAsP enthalten, besonders geeignet, da die Verspannung der Barriereschichten über den Phosphor-Gehalt auf einen für die Verspannungskompensation geeigneten Wert eingestellt werden kann.

Weiterhin kann die Bandlücke von AlGaAsP über den Aluminium-Gehalt eingestellt werden. Die Barriereschichten können hierbei eine gegenüber den Quantenschichten vergleichsweise hohe Bandlücke aufweisen. Dadurch kann mittels einer InGaAs-Quantenschicht, die zwischen zwei AlGaAsP-Barriereschichten mit entsprechend hohem Aluminium-Gehalt eingebettet ist, ein vergleichsweise energetisch tiefer Quantentopf gebildet sein. Je tiefer der Quantentopf ist, desto niedriger ist die Wahrscheinlichkeit, dass Ladungsträger in einem quantisierten Zustand der Quantenschicht infolge thermischer Anregung aus der Quantenschicht in die Barriereschicht gelangen. Die Wahrscheinlichkeit, dass Ladungsträger in der Quantenschicht strahlend rekombinieren, kann in der Folge vorteilhaft erhöht sein, wodurch die interne Quanteneffizienz der Quantenstruktur 2 zunimmt.

Die erste Zwischenschicht 60 und die zweite Zwischenschicht 61 weisen bevorzugt eine gleiche oder im wesentlichen gleiche Bandlücke auf wie die Barriereschicht 4. Im Unterschied zu den Barriereschichten 4 in der Quantenstruktur 2 sind die erste und die zweite Zwischenschichten jedoch bevorzugt nicht oder nicht wesentlich verspannt. In dem in Figur 2 gezeigten

Ausführungsbeispiel sind die Zwischenschichten 60 und 61 als  $Al_xGa_{1-x}As$ -Halbleiterschichten ausgeführt und weisen einen gegenüber einem Aluminium-Gehalt von 30% in den Barrièreschichten 4 erhöhten Aluminium-Gehalt, beispielhaft einen Aluminium-Gehalt von 40%, auf. Durch die Ausführung der Zwischenschichten als  $AlGaAs$ -Halbleiterschichten sind diese bezogen auf  $GaAs$  vergleichsweise wenig verspannt. Eine zusätzliche Verspannung der Halbleiterschichtenfolge des Halbleiterkörpers 1 wird so vorteilhaft vermieden.

Der Aluminium-Gehalt der ersten Mantelschicht 50 und der zweiten Mantelschicht 51, die jeweils mittels  $AlGaAs$  gebildet sind, ist bevorzugt gegenüber dem Aluminium-Gehalt der Zwischenschichten 60 und 61 erhöht. So entsteht an den Übergängen von der ersten Zwischenschicht 60 zur ersten Mantelschicht 50 und von der zweiten Zwischenschicht 61 zur zweiten Mantelschicht 51 jeweils ein Potenzialsprung. Der Potenzialsprung ist zweckmäßigerweise so groß, dass eine thermische Anregung von Ladungsträgern aus der Zwischenschicht in die erste Mantelschicht 50 und die zweite Mantelschicht 51 mit einer hinreichend niedrigen Wahrscheinlichkeit erfolgt. Eine hinreichend niedrige Wahrscheinlichkeit wird erreicht, wenn die Differenz der Bandlücken an der Stelle des Potenzialsprungs erheblich, beispielsweise etwa fünfmal bis zehnmal, größer ist als die mittlere thermische Energie von Ladungsträgern bei Betriebstemperatur des Halbleiterkörpers. Bei dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt der Potenzialsprung etwa 200 meV, was in etwa der achtfachen mittleren thermischen Energie von Ladungsträgern bei Raumtemperatur entspricht. Der Anteil von in den Quantenschichten 3 der Quantenstruktur 2 unter Emission von Strahlung rekombinierenden Ladungsträgern kann so erhöht werden. Dies

kann zu einer gesteigerten internen Quanteneffizienz des LED-Halbleiterchips führen.

Die Mantelschichten 50 und 51 sind bevorzugt vergleichsweise dick im Vergleich zu der Quantenstruktur ausgeführt.

Beispielsweise beträgt die Dicke jeweils mindestens das zweifache der Dicke der Quantenstruktur 2. Die Mantelschichten dienen somit, insbesondere nach dem Ablösen des Aufwachsubstrats des Halbleiterkörpers 1, der mechanischen Stabilisierung der Quantenstruktur. Die Verspannung der Quantenschichten und der Barriereschichten muss nicht notwendigerweise auf das Aufwachsubstrat bezogen sein.

Beispielsweise kann die Verspannung auch auf die im Vergleich zu der Quantenstruktur dicken Mantelschichten 50 oder 51 bezogen sein. Die Verspannung der Quantenschichten 3 und Barriereschichten 4 der Quantenstruktur bleibt dadurch auch nach Ablösen des Substrats erhalten. Ein Abbau der Verspannung in Form von Versetzungen und eine damit einhergehende Verschlechterung der Kristallqualität der Quantenstruktur 2 nach Ablösen des Aufwachsubstrats kann so vorteilhafterweise vermieden werden.

Selbstverständlich können für den Halbleiterkörper 1 und für das Aufwachsubstrat auch andere Halbleitermaterialien, insbesondere III-V-Halbleitermaterialien Verwendung finden.

Beispielsweise kann der Halbleiterkörper und insbesondere die Quantenstruktur 2 InAs, GaSb, AlSb, InP, AlAs, AlP oder GaP oder ein ternäres oder quaternäres Halbleitermaterial, das mittels dieser Halbleiter bildbar ist, enthalten.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neuen Merkmal sowie jede Kombination von

Merkmale, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder den Ausführungsbeispielen angegeben ist.

## Patentansprüche

1. LED-Halbleiterkörper (1) mit einer Halbleiterschichtenfolge, die eine zur Erzeugung von inkohärenter Strahlung vorgesehene Quantenstruktur (2) mit mindestens einer Quantenschicht (3) und mindestens einer Barriereschicht (4) umfasst, wobei die Quantenschicht (3) und die Barriereschicht (4) mit zueinander entgegengesetzten Vorzeichen verspannt sind.
2. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 1, wobei der LED-Halbleiterkörper (1) als Dünnfilm-Halbleiterkörper ausgeführt ist.
3. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Quantenschicht (3) druckverspannt und die Barriereschicht (4) zugverspannt ist.
4. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Verspannung der Barriereschicht (4) betragsmäßig kleiner ist als die Verspannung der Quantenschicht (3).
5. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 4, wobei der Betrag der Verspannung der Barriereschicht (4) einen Wert zwischen einschließlich 0,2 und einschließlich 0,67, bevorzugt zwischen einschließlich 0,33 und einschließlich 1/2, des Betrags der Verspannung der Quantenschicht (3) aufweist.
6. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5,

wobei das Verhältnis der Dicke der Barrièreschicht (4) zu der Dicke der Quantenschicht (3) größer oder gleich 1, bevorzugt größer oder gleich 1,5, besonders bevorzugt größer oder gleich 2,5 ist.

7. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6,

wobei die Dicke der Barrièreschicht (4) 5 nm oder mehr, bevorzugt 10 nm oder mehr, besonders bevorzugt 20 nm oder mehr beträgt.

8. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7,

wobei die Quantenschicht (3)  $In_yGa_{1-y}As$  mit  $0 \leq y \leq 0,5$ , bevorzugt mit  $0,05 \leq y \leq 0,3$ , besonders bevorzugt mit  $0,1 \leq y \leq 0,2$ , enthält.

9. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8,

wobei die verspannte Barrièreschicht (4)  $Al_xGa_{1-x}As_{1-z}P_z$  mit  $0,01 \leq x \leq 1$ , bevorzugt mit  $0,1 \leq x \leq 0,6$ , besonders bevorzugt mit  $0,2 \leq x \leq 0,4$  und/oder mit  $0,01 \leq z \leq 0,5$ , bevorzugt mit  $0,03 \leq z \leq 0,3$ , besonders bevorzugt mit  $0,05 \leq z \leq 0,2$ , enthält.

10. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9,

wobei die Quantenstruktur (2) eine weitere Quantenschicht (3) und eine weitere Barrièreschicht (4) aufweist und die weitere Quantenschicht (3) und die weitere Barrièreschicht (4) mit ebenfalls zueinander entgegengesetztem Vorzeichen verspannt sind.

11. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 10,  
wobei die weitere Quantenschicht (3) und/oder die weitere  
Barriereschicht (4) gemäß zumindest einem der Merkmale der  
Patentansprüche 3 bis 9 ausgeführt ist.

12. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 10 oder 11,  
wobei die verspannten Quantenschichten (3) und die  
verspannten Barriereschichten (4) in der Quantenstruktur (2)  
in alternierender Abfolge aufeinander angeordnet sind.

13. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche  
1 bis 12,  
wobei eine mittlere Verspannung der Quantenstruktur (2)  
2000 ppm oder weniger, bevorzugt 1000 ppm oder weniger,  
besonders bevorzugt 500 ppm oder weniger beträgt.

14. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche  
1 bis 13,  
wobei der Halbleiterkörper (1) auf einem Träger (70)  
angeordnet ist.

15. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 14,  
wobei der Träger (70) von einem Aufwachsubstrat des  
Halbleiterkörpers (1) verschieden ist.

16. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 14 oder 15,  
wobei zwischen dem Träger (70) und dem Halbleiterkörper (1)  
eine Spiegelschicht (72) angeordnet ist.

17. LED-Halbleiterkörper nach Anspruch 16,  
wobei die Spiegelschicht (72) metallisch ausgeführt ist.

18. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17,

wobei die Quantenstruktur (2) zur Erzeugung von Strahlung mit einer Peak-Wellenlänge im Wellenlängenbereich von einschließlich 750 nm bis einschließlich 1050 nm vorgesehen ist.

19. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 18,

wobei die Quantenstruktur derart ausgeführt ist, dass eine Halbwertsbreite des Spektrums der von der Quantenstruktur (2) erzeugten Strahlung 70 nm oder weniger, bevorzugt 60 nm oder weniger, besonders bevorzugt 50 nm oder weniger beträgt.

20. LED-Halbleiterkörper nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 19,

wobei die Quantenstruktur (2) 4 Quantenschichten (3) oder mehr, bevorzugt 10 Quantenschichten oder mehr, aufweist.

FIG 1

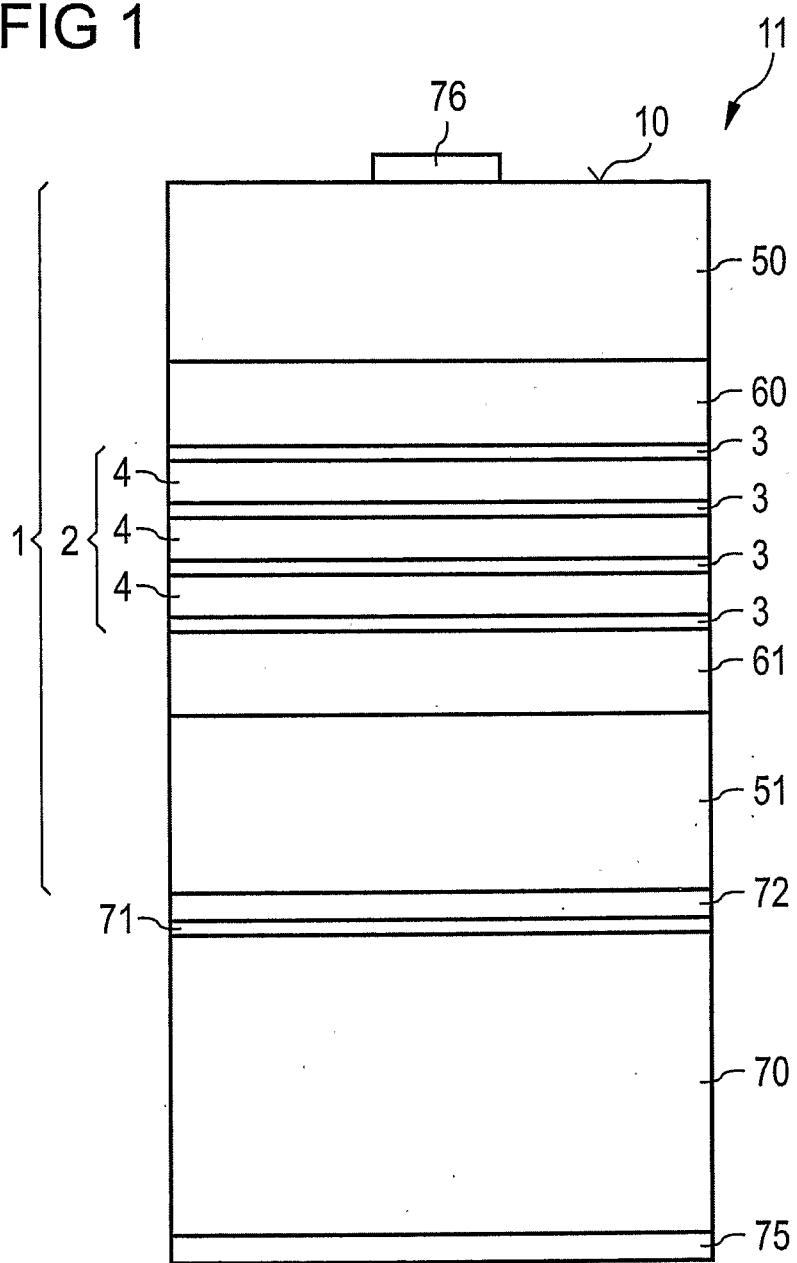
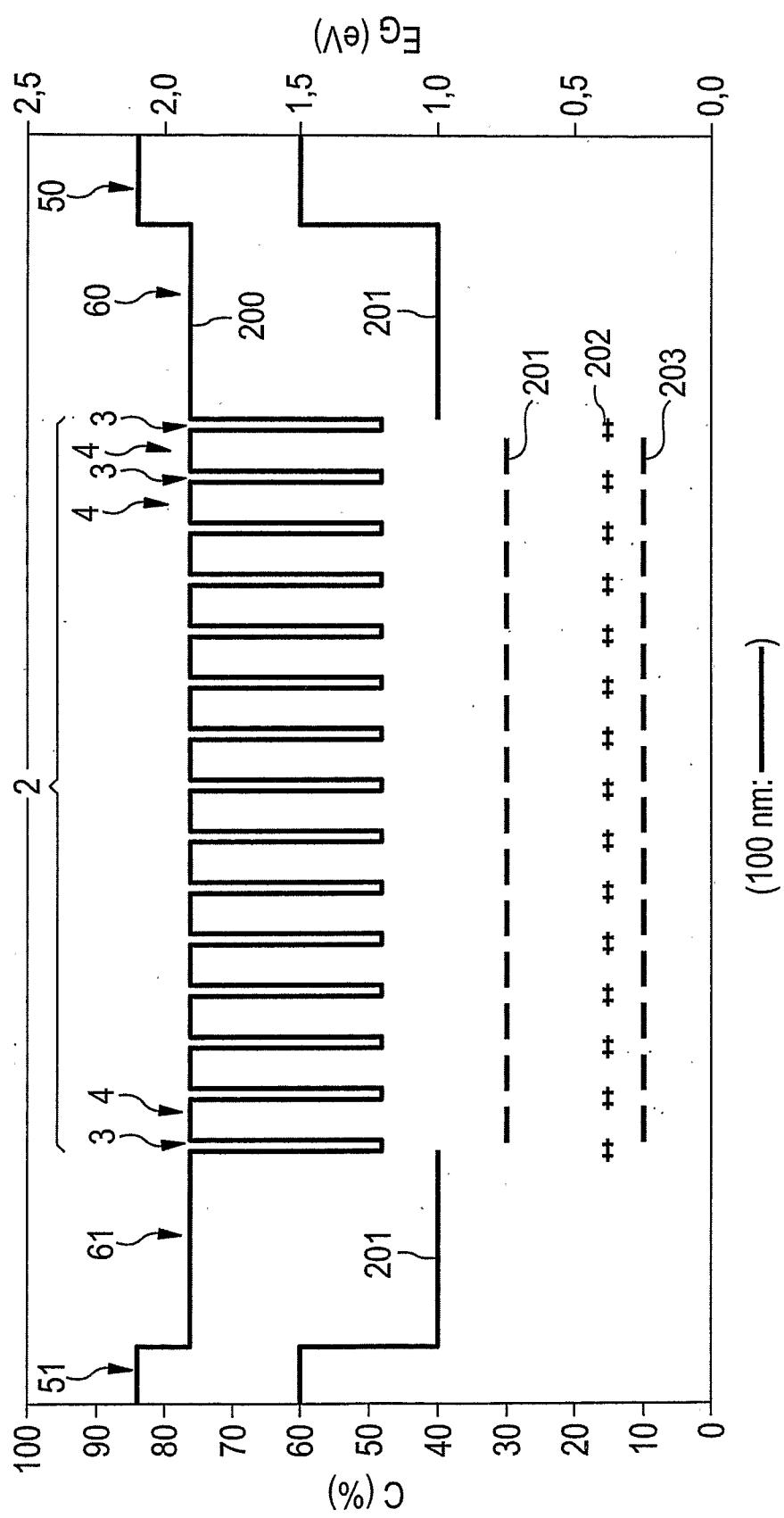


FIG 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

|   |
|---|
| International application No<br>PCT/DE2007/001349 |
|---|

|   |
|---|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER<br>INV. H01L33/00 |
|---|

|   |
|---|
| 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)<br>H01L |
|---|

|   |
|---|
| 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 practical, search terms used) |
|--|

|                      |
|----------------------|
| EPO-Internal, INSPEC |
|----------------------|

|  |
|--|
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |
|--|

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No.    |
|-----------|---|--------------------------|
| X         | ZHANG G ET AL: "STRAIN-COMPENSATED INGAAS/GAASP/GAINASP/GAINP QUANTUM WELL LASERS ( {0.98 UM) GROWN BY GAS-SOURCE MOLECULAR BEAM EPITAXY"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US,<br>vol. 62, no. 14,<br>5 April 1993 (1993-04-05), pages<br>1644-1646, XP000355014<br>ISSN: 0003-6951<br>the whole document<br>----- | 1,3,4,<br>6-14,<br>18-20 |
| Y         | US 2005/161699 A1 (HON SCHANG-JING [TW])<br>28 July 2005 (2005-07-28)<br>paragraphs [0027] - [0029]<br>-----<br>-/-   | 2,15,17                  |
| Y         | -----   | 2,15,17                  |

|  |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. |
|--|

|  |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 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 document 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 |
|--|

|                 |
|-----------------|
| 5 Dezember 2007 |
|-----------------|

|            |
|------------|
| 12/12/2007 |
|------------|

|                                      |
|--------------------------------------|
| Name and mailing address of the ISA/ |
|--------------------------------------|

|   |
|---|
| European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 |
|---|

|                    |
|--------------------|
| Authorized officer |
|--------------------|

|                      |
|----------------------|
| RODRIGUEZ-GIRONES, M |
|----------------------|

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

|   |
|---|
| International application No<br>PCT/DE2007/001349 |
|---|

## C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No.   |
|-----------|--|---|
| X         | EP 0 731 511 A (NORTHERN TELECOM LTD [CA]<br>NORTEL NETWORKS CORP [CA])<br>11 September 1996 (1996-09-11)<br>column 4, line 47 - column 5, line 2<br>column 6, lines 7-18<br>-----<br>US 2004/017835 A1 (JEWELL JACK L [US] ET<br>AL) 29 January 2004 (2004-01-29)<br>paragraphs [0134] - [0154]<br>paragraphs [0193] - [0195]<br>-----<br>US 6 020 601 A (NOGUCHI HIROYASU [JP] ET<br>AL) 1 February 2000 (2000-02-01)<br>column 1, lines 42-59<br>column 2, lines 27-36<br>table 1<br>claims 1-3<br>-----<br>MITCHELL C J ET AL: "Material<br>characterization of highly strained and<br>partially strain compensated<br>InxGal-xAs/InyAl1-yAs quantum cascade<br>light emitting diodes grown by mbe for<br>emission in the near infrared (2-4/spl<br>mu/m)"<br>ELECTRON DEVICES FOR MICROWAVE AND<br>OPTOELECTRONIC APPLICATIONS, 2002. EDMO<br>2002. THE 10TH IEEE INTERNATIONAL<br>SYMPOSIUM ON 18-19 NOV. 2002, PISCATAWAY,<br>NJ, USA, IEEE,<br>18 November 2002 (2002-11-18), pages 8-13,<br>XP010625920<br>ISBN: 0-7803-7530-0<br>abstract<br>----- | 1, 3-5,<br>10-14, 20<br>1, 16<br>1, 3, 4, 6,<br>7, 10-14<br>1, 3,<br>10-12,<br>14, 20 |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No  
PCT/DE2007/001349

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s)  | Publication date |
|--|------------------|--------------------------|------------------|
| US 2005161699                          | A1 28-07-2005    | NONE                     |                  |
| EP 0731511                             | A 11-09-1996     | NONE                     |                  |
| US 2004017835                          | A1 29-01-2004    | NONE                     |                  |
| US 6020601                             | A 01-02-2000     | JP 11150330 A 02-06-1999 |                  |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE2007/001349

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. H01L33/00

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
H01L

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, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr.         |
|------------|---|----------------------------|
| X          | ZHANG G ET AL: "STRAIN-COMPENSATED<br>INGAAS/GAASP/GAINASP/GAINP QUANTUM WELL<br>LASERS ( 0.98 UM) GROWN BY GAS-SOURCE<br>MOLECULAR BEAM EPITAXY"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN<br>INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US,<br>Bd. 62, Nr. 14,<br>5. April 1993 (1993-04-05), Seiten<br>1644-1646, XP000355014<br>ISSN: 0003-6951<br>das ganze Dokument<br>----- | 1, 3, 4,<br>6-14,<br>18-20 |
| Y          | US 2005/161699 A1 (HON SCHANG-JING [TW])<br>28. Juli 2005 (2005-07-28)<br>Absätze [0027] - [0029]<br>-----<br>-/-   | 2, 15, 17                  |
| Y          | -----   | 2, 15, 17                  |
|            |   |                            |

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\* älteres Dokument, 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 anderen 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   |
| 5. Dezember 2007  | 12/12/2007  |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Bevollmächtigter Bediensteter<br>RODRIGUEZ-GIRONES, M |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2007/001349

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile   | Betr. Anspruch Nr.        |
|------------|--|---------------------------|
| X          | EP 0 731 511 A (NORTHERN TELECOM LTD [CA]<br>NORTEL NETWORKS CORP [CA])<br>11. September 1996 (1996-09-11)<br>Spalte 4, Zeile 47 – Spalte 5, Zeile 2<br>Spalte 6, Zeilen 7-18<br>-----   | 1, 3-5,<br>10-14, 20      |
| X          | US 2004/017835 A1 (JEWELL JACK L [US] ET<br>AL) 29. Januar 2004 (2004-01-29)<br>Absätze [0134] – [0154]<br>Absätze [0193] – [0195]<br>-----  | 1, 16                     |
| X          | US 6 020 601 A (NOGUCHI HIROYASU [JP] ET<br>AL) 1. Februar 2000 (2000-02-01)<br>Spalte 1, Zeilen 42-59<br>Spalte 2, Zeilen 27-36<br>Tabelle 1<br>Ansprüche 1-3<br>-----  | 1, 3, 4, 6,<br>7, 10-14   |
| X          | MITCHELL C J ET AL: "Material<br>characterization of highly strained and<br>partially strain compensated<br>InxGa1-xAs/InyAl1-yAs quantum cascade<br>light emitting diodes grown by mbe for<br>emission in the near infrared (2-4/spl<br>mu/m)"<br>ELECTRON DEVICES FOR MICROWAVE AND<br>OPTOELECTRONIC APPLICATIONS, 2002. EDMO<br>2002. THE 10TH IEEE INTERNATIONAL<br>SYMPOSIUM ON 18-19 NOV. 2002, PISCATAWAY,<br>NJ, USA, IEEE,<br>18. November 2002 (2002-11-18), Seiten<br>8-13, XP010625920<br>ISBN: 0-7803-7530-0<br>Zusammenfassung<br>----- | 1, 3,<br>10-12,<br>14, 20 |

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/DE2007/001349**

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung |    | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |  | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|----|-------------------------------|----|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| US 2005161699                                      | A1 | 28-07-2005                    |    | KEINE                             |  |                               |
| EP 0731511   | A  | 11-09-1996                    |    | KEINE                             |  |                               |
| US 2004017835                                      | A1 | 29-01-2004                    |    | KEINE                             |  |                               |
| US 6020601   | A  | 01-02-2000                    | JP | 11150330 A                        |  | 02-06-1999                    |