

(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
3. April 2014 (03.04.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/048792 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 33/08 (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/069235

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. September 2013 (17.09.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 217 681.0
27. September 2012 (27.09.2012) DE

(71) Anmelder: **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS
GMBH** [DE/DE]; Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg (DE).

(72) Erfinder: **GALLER, Bastian**; Alfons-Auer-Str. 8b, 93053
Regensburg (DE). **ZEISEL, Roland**; Klöpfelweg 6, 93105
Tegernheim (DE). **BINDER, Michael**; Ostheim 1, 93055
Regensburg (DE).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER
PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH,
ZUSAMMENSCHLUSS NR. 175**; Schlossschmidstr. 5,
80639 Munich (DE).

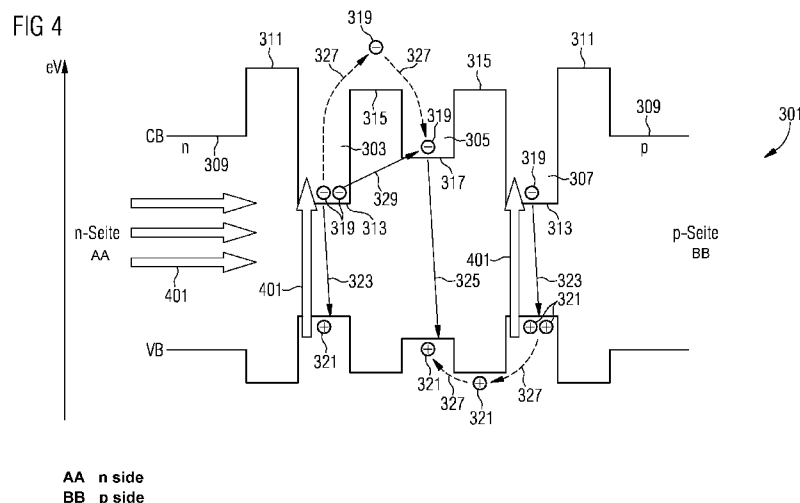
(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, 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, 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, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTOELECTRONIC COMPONENT AND METHOD FOR OPERATING AN OPTOELECTRONIC COMPONENT

(54) Bezeichnung : OPTOELEKTRONISCHES BAUTEIL UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES
OPTOELEKTRONISCHEN BAUTEILS



(57) **Abstract:** The invention relates to an optoelectronic component (101), comprising a semiconductor layer sequence (103) having a multiple quantum well structure (105, 301), wherein the multiple quantum well structure (105, 301) has a first quantum well (107, 303) having a first band gap energy and a second quantum well (109, 305) having a second band gap energy that is greater than the first band gap energy wherein the first quantum well (107, 303) and the second quantum well (109, 305) are formed adjacent to each other, wherein the difference between the first and the second band gap energy is selected in such a way that charge carriers (319, 321) formed by exciting the first quantum well (107, 303) can use energy from a loss process, in particular an Auger process, to reach the second quantum well (109, 305) in order to radiantly recombine in the second quantum well (109, 305). The invention further relates to a method for operating the optoelectronic component (101).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/048792 A1



SI, 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)

Die Erfindung betrifft ein optoelektronisches Bauteil (101), umfassend : - eine Halbleiterschichtenfolge (103) mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur (105, 301), - wobei die Mehrfach-Quantentopf-Struktur (105, 301) einen ersten Quantentopf (107, 303) mit einer ersten Bandlückenenergie und - einen zweiten Quantentopf (109, 305) mit einer zweiten Bandlückenenergie aufweist, die größer ist als die erste Bandlückenenergie - wobei der erste Quantentopf (107, 303) und der zweite Quantentopf (109, 305) benachbart zu einander gebildet sind, - wobei eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie derart gewählt ist, dass mittels einer Anregung des ersten Quantentopfes (107, 303) gebildete Ladungsträger (319, 321) eine Energie aus einem Verlustprozeß, insbesondere einem Augerprozess, nutzen können, um in den zweiten Quantentopf (109, 305) zu gelangen, um in dem zweiten Quantentopf (109, 305) strahlend zu rekombinieren. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben des optoelektronischen Bauteils (101).

Beschreibung

Optoelektronisches Bauteil und Verfahren zum Betreiben eines optoelektronischen Bauteils

5

Die Erfindung betrifft ein optoelektronisches Bauteil. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben eines optoelektronischen Bauteils. Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Computerprogramm.

10

Aus der Offenlegungsschrift WO 01/39282 A2 ist eine optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur bekannt.

15 Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe kann darin gesehen werden, ein verbessertes optoelektronisches Bauteil anzugeben.

Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe kann auch darin
20 gesehen werden, ein entsprechendes Verfahren zum Betreiben eines optoelektronischen Bauteils bereitzustellen.

Diese Aufgaben werden mittels des jeweiligen Gegenstands der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen
25 sind Gegenstand jeweils abhängigen Unteransprüchen.

Nach einem Aspekt wird ein optoelektronisches Bauteil bereitgestellt. Das Bauteil umfasst eine Halbleiterschichtenfolge mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur. Die Mehrfach-
30 Quantentopf-Struktur weist einen Quantentopf mit einer ersten Bandlückenenergie auf. Des Weiteren umfasst die Mehrfach-Quantentopf-Struktur einen zweiten Quantentopf mit einer zweiten Bandlückenenergie. Hierbei ist die zweite Bandlücken-

energie größer als die erste Bandlückenenergie. Der erste Quantentopf und der zweite Quantentopf sind benachbart zueinander gebildet.

5 Es ist eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie derart gewählt, dass mittels einer Anregung des ersten Quantentopfes gebildete Ladungsträger, insbesondere Augerladungsträger, eine Energie aus einem Verlustprozeß
10 nutzen können, insbesondere einem Augerprozess, um in den zweiten Quantentopf zu gelangen, um in dem zweiten Quantentopf strahlend zu rekombinieren. Das heißt also insbesondere, dass die Ladungsträger, insbesondere die Augerladungsträger, eine Energie aufweisen, die sie durch den Verlustprozeß, insbesondere den Augerprozess, aufgenommen haben.

15

Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Verfahren zum Betreiben des optoelektronischen Bauteils bereitgestellt. Hierbei wird der erste Quantentopf angeregt, sodass mittels der Anregung des ersten Quantentopfs gebildete Ladungsträger, insbesondere
20 Augerladungsträger, eine Energie aus einem Verlustprozeß, insbesondere einem Augerprozess, nutzen können, um in den zweiten Quantentopf zu gelangen, um in dem zweiten Quantentopf strahlend zu rekombinieren.

25 Die folgenden Ausführungen sind in Bezug zu Augerladungsträgern und zu Augerprozessen formuliert. Dies ist nicht einschränkend. Soweit konkret Augerladungsträger aufweisend eine Energie aus einem Augerprozess beschrieben werden, sind hierbei stets Ladungsträger allgemein aufweisend eine Energie aus
30 einem Verlustprozeß gemeint.

Eine konkrete Nummerierung wie beispielsweise erster, zweiter, dritter eines Quantentopfes ist nicht zwangsläufig

gleichzusetzen mit einer entsprechenden Position des Quantentopfes innerhalb der Mehrfach-Quantentopf-Struktur, sondern dient in der Regel zu einer Unterscheidung der einzelnen Quantentöpfe.

5

Die Erfindung umfasst also insbesondere den Gedanken, Augerladungsträger oder Ladungsträger im allgemeinen, die bei einer Anregung des ersten Quantentopfes entstehen oder gebildet werden, wieder zu verwenden oder zu recyceln, indem diese
10 aufgrund der gewählten Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie in den zweiten Quantentopf gelangen können, sodass diese Augerladungsträger dann in dem zweiten Quantentopf in vorteilhafter Weise strahlend rekombinieren können. Das heißt also insbesondere, dass die zusätzliche
15 Energie der Augerladungsträger über die Bandkante des ersten Quantentopfes hinaus oder der Ladungsträger im Allgemeinen nicht strahlungslos verloren geht, sondern für eine Strahlungserzeugung wiederverwertet werden kann.

20 Bei der Anregung eines Quantentopfes einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur eines optoelektronischen Bauteils treten in der Regel Augerprozesse auf. Durch diese werden die Augerladungsträger gebildet. Die zusätzliche Energie der Augerladungsträger über die Bandkante des angeregten Quantentopfes
25 hinaus geht somit in der Regel für eine Strahlungserzeugung oder Lichterzeugung durch Relaxation zu der entsprechenden Bandkante des angeregten Quantentopfes verloren. Das heißt also, dass aufgrund der stattfindenden Augerprozesse in den bekannten Bauteilen stets ein Teil der dem optoelektronischen
30 Bauteil für die Strahlung und Lichterzeugung zugeführten Energie verloren geht. In bekannten Mehrfach-Quantentopf-Strukturen relaxieren die Augerladungsträger insbesondere un-

ter Aussendung von Phononen an Bandkanten der entsprechenden Quantentöpfe, sodass ihre Energie in Wärme umgewandelt wird.

Die diesen Prozessen zu Grunde liegenden theoretischen Berechnungen sind beispielsweise in dem Artikel „Indirect Auger recombination as a cause of efficiency droop in nitride light-emitting diodes“ von E. Kioupakis, P. Rinke, K. T. Delaney, and C. G. van der Walle, veröffentlicht in Appl. Phys. Lett. 98, 161107 (2011), beschrieben.

10

In dem erfindungsgemäßen optoelektronischen Bauteil können diese Augerladungsträger aber für einen strahlenden Rekombinationsprozess verwendet werden. Dies deshalb, da eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie der beiden Quantentöpfe derart gewählt ist, dass zumindest ein Teil der Augerladungsträger, insbesondere alle, in den zweiten Quantentopf gelangen kann. Das heißt als insbesondere, dass durch die räumliche Verteilung einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Augerladungsträger sowie die Möglichkeit von Streuprozessen zumindest ein Teil der Augerladungsträger in gebundene höher energetische Zustände des zweiten Quantentopfs gelangen kann und aus diesem strahlend rekombiniert.

15

20

Ladungsträger im Sinne der vorliegenden Erfindung umfassen insbesondere Elektronen und Löcher. Das heißt also insbesondere, dass es sich bei den Augerladungsträgern um Augerelektronen und/oder Augerlöcher handeln kann.

25

Gemäß einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass zwischen dem ersten Quantentopf und dem zweiten Quantentopf eine Barrierschicht gebildet ist, die eine Barrierebandlückenenergie aufweist, die größer ist als die zweite Bandlücken-

30

energie. Das Vorsehen einer solchen Barriereschicht reduziert in vorteilhafter Weise eine Wahrscheinlichkeit, dass ein Ladungsträger in einem gebundenen Zustand des zweiten Quantentopfes in den energetisch günstigeren ersten Quantentopf gelangen kann, womit die potentiell gewonnene Energie wieder verloren wäre. Ein Wirkungsgrad des optoelektronischen Bauteils wird somit in vorteilhafter Weise erhöht.

Gemäß einer anderen Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass eine weitere Barriereschicht benachbart zu einer dem zweiten Quantentopf abgewandten Seite des ersten Quantentopfs gebildet ist, wobei die weitere Barriereschicht eine weitere Barrierebandlückenenergie aufweist, die größer ist als die zweite Bandlückenenergie. Dadurch wird in vorteilhafter Weise eine Wahrscheinlichkeit eines Einfangs der Ladungsträger durch den höher energetischen zweiten Quantentopf erhöht. Dadurch wird ein Wirkungsgrad des optoelektronischen Bauteils in vorteilhafter Weise erhöht.

Benachbart zueinander angeordnet im Sinne der vorliegenden Erfindung umfasst insbesondere den Fall, dass der erste Quantentopf und der zweite Quantentopf unmittelbar benachbart zueinander angeordnet sind. Unmittelbar benachbart im Sinne der vorliegenden Erfindung bedeutet insbesondere, dass sich zwischen dem ersten Quantentopf und dem zweiten Quantentopf kein weiterer Quantentopf mehr befindet. Ein Zwischenraum zwischen den beiden Quantentöpfen ist somit insbesondere quantentopffrei. Hier ist es in der Regel so, dass eine Wahrscheinlichkeit, dass Ladungsträger von dem ersten Quantentopf in den zweiten Quantentopf gelangen können, je größer ist desto näher die beiden Quantentöpfe zueinander angeordnet sind. Das heißt also insbesondere, dass bei einem kleineren Abstand zwischen den beiden Quantentöpfen die Wahrscheinlichkeit grö-

Der ist im Vergleich zu einem größeren Abstand zwischen den beiden Quantentöpfen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass ein dritter Quantentopf benachbart zu einer dem ersten Quantentopf abgewandten Seite des zweiten Quantentopfs gebildet ist, insbesondere spiegelbildlich zu dem ersten Quantentopf gebildet ist. Auch dieser dritte Quantentopf kann in vorteilhafter Weise angeregt werden, sodass Augerladungsträger gebildet werden, die dann aber nicht strahlungslos verloren gehen, sondern in den zweiten Quantentopf gelangen können, um aus diesem strahlend zu rekombinieren. Insbesondere ist der dritte Quantentopf analog zu dem ersten Quantentopf gebildet. Insbesondere ist ein Abstand zwischen dem dritten Quantentopf und dem zweiten Quantentopf gleich dem Abstand zwischen dem ersten Quantentopf und dem zweiten Quantentopf. Das heißt also insbesondere, dass der erste Quantentopf und der dritte Quantentopf symmetrisch um den zweiten Quantentopf angeordnet sind. In der Ausführungsform mit den drei Quantentöpfen stehen dem zweiten Quantentopf gleich zwei weitere Quantentöpfe, der erste und der dritte Quantentopf, zur Verfügung, um die Augerladungsträger, die in dem ersten und dem dritten Quantentopf gebildet werden, aufzunehmen, sodass die Augerladungsträger strahlend rekombinieren können und nicht durch strahlungslose Prozesse verloren gehen. Das heißt also insbesondere, dass der zweite Quantentopf besonders effizient und effektiv doppelt genutzt wird, was in vorteilhafter Weise einen Wirkungsgrad des optoelektronischen Bauteils erhöht.

Es wird angemerkt, dass die im Zusammenhang mit dem ersten Quantentopf gemachten Ausführungen analog für den dritten Quantentopf und umgekehrt gelten. Ausführungen oder Ausführungsformen bezogen auf den ersten Quantentopf respektive

dritten Quantentopf können insbesondere Ausführungen oder Ausführungsformen umfassend zusätzlich den dritten Quantentopf respektive ersten Quantentopf umfassen.

5 Nach noch einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass eine Anregungseinrichtung zum Bereitstellen einer Anregungsenergie gebildet ist, um den ersten Quantentopf anzuregen, insbesondere um den dritten Quantentopf anzuregen, insbesondere um den ersten und den dritten Quantentopf anzuregen. Das
10 heißt also insbesondere, dass die Anregungseinrichtung eine Anregungsenergie bereitstellt, welche die einzelnen Quantentöpfe anregen kann, sodass bei den anschließenden strahlenden Rekombinationsprozessen in den entsprechenden Quantentöpfen elektromagnetische Strahlung emittiert wird.

15

Nach einer Ausführungsform kann eine Steuerung zum Steuern der Anregungseinrichtung vorgesehen sein, um mittels der Anregungsenergie primär den ersten Quantentopf und/oder den dritten Quantentopf anzuregen. Das heißt also insbesondere,
20 dass primär ausschließlich der erste Quantentopf respektive der dritte Quantentopf angeregt wird, ohne dass der zweite Quantentopf angeregt wird. Dieser zweite Quantentopf wird lediglich durch die aufgrund der primären Anregung entstehenden Augerladungsträger angeregt. Dies steigert in vorteilhafter
25 Weise einen Wirkungsgrad des optoelektronischen Bauteils.

Gemäß einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie zwischen 0 eV und 1,5 eV, insbesondere zwischen 0,5 eV
30 und 1,5 eV, beträgt.

In einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die zweite Bandlückenenergie größer gleich ($\geq$) 3 eV beträgt.

Nach einer anderen Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die erste Bandlückenenergie zwischen 0 eV und 3,4 eV, insbesondere zwischen 1,5 eV und 3,4 eV, beträgt.

5

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass das Anregen des ersten Quantentopfes respektive des dritten Quantentopfes ein elektrisches Pumpen und/oder ein optisches Pumpen des ersten respektive dritten Quantentopfes umfasst. Das heißt also insbesondere, dass bei einem elektronischen Pumpen eine elektrische Spannung an die Halbleiterschichtenfolge angelegt wird, sodass es zu einer Verschiebung von Ladungsträgern kommt. Diese Ladungsträger können dann in den ersten respektive dritten Quantentopf gelangen, um aus diesen strahlend zu rekombinieren.

15

Bei einem optischen Pumpen wird die Halbleiterschichtenfolge mittels elektromagnetischer Strahlung bestrahlt, wobei hier durch Absorption der elektromagnetischen Strahlung Elektronen-Loch-Paare erzeugt werden, sodass bei anschließender Rekombination der Elektronen und der Löcher wieder elektromagnetische Strahlung emittiert oder abgegeben wird.

20

Nach einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass das optische Pumpen mittels elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge durchgeführt wird, die einer Pumpenergie entspricht, die größer ist als die erste Bandlückenenergie und kleiner ist als die zweite Bandlückenenergie. Dadurch, dass die der Wellenlänge entsprechende Energie, hier als Pumpenergie bezeichnet, kleiner ist als die zweite Bandlückenenergie, wird der zweite Quantentopf nicht angeregt werden.

25

30

Nach einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass eine Folge von Quantentöpfen gebildet ist, wobei alternierend die Quantentöpfe unterschiedliche Bandlückenenergien aufweisen. Das heißt also insbesondere, dass jedem Quantentopf ein benachbarter Quantentopf zugeordnet ist, der eine höhere Bandlückenenergie aufweist. Das heißt also insbesondere, dass bei einer primären Anregung der Quantentöpfe mit der niedrigeren Energie die erzeugten Augerladungsträger in den diesen Quantentöpfen zugeordneten Quantentöpfen mit der höheren Bandlückenenergie gelangen können. Aus diesen Quantentöpfen mit der höheren Bandlückenenergie können die Augerladungsträger dann in vorteilhafter Weise strahlend rekombinieren.

Beispielsweise kann eine Folge von Quantentöpfen vorgesehen sein, die aus einem ersten Quantentopf, dem zweiten Quantentopf und dann wieder dem ersten Quantentopf und wieder dem zweiten Quantentopf und wieder dem ersten Quantentopf und wieder dem zweiten Quantentopf und beliebig so weiter gebildet ist. Eine Anzahl an alternierenden ersten und zweiten Quantentöpfen kann beliebig variiert werden. Vorzugsweise kann in einer solchen Folge vorgesehen sein, dass zumindest einer der ersten Quantentöpfe durch den dritten Quantentopf ersetzt ist. Somit ist in vorteilhafter Weise ein optoelektronisches Bauteil geschaffen, das verschiedene Wellenlängen emittieren kann.

Da der zweite Quantentopf aufgrund der strahlenden Rekombinationsprozesse der Augerladungsträger eine elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge entsprechend seiner Bandlücke emittiert, kann das optoelektronische Bauteil unterschiedliche Wellenlängen emittieren, je nachdem wie die Bandlücke des zweiten Quantentopfes eingestellt wird. Das heißt also insbesondere, dass abhängig von den verwendeten Bandlücken der

einzelnen Quantentöpfe, also insbesondere des ersten, des zweiten und des dritten Quantentopfes, unterschiedliche Wellenlängen der emittierten elektromagnetischen Strahlung eingestellt werden können. Je nach Bedarf und Anwendung kann somit in vorteilhafter Weise eine Vielzahl von möglichen Farbkombinationen des abgestrahlten Lichts oder der abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung bewirkt werden. Insbesondere kann somit in vorteilhafter Weise Weißlicht erzeugt werden.

- 10 Da aufgrund der strahlenden Rekombinationsprozesse in den einzelnen Quantentöpfen elektromagnetische Strahlung emittiert wird, können die Quantentöpfe auch als optisch aktive Quantentöpfe bezeichnet werden. Dies insbesondere zur Abgrenzung gegenüber solchen Vor-Quantentöpfen, auch „Pre-Wells“
 15 genannt, die optisch nicht aktiv sind, also keine elektromagnetische Strahlung emittieren.

Nach einer Ausführungsform kann die Halbleiterschichtenfolge folgende Halbleiterschichten umfassen, um die Mehrfach-
 20 Quantentopf-Struktur zu bilden:

$\text{GaN} \mid \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} \mid \text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N} \mid \text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N} \mid \text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N} \mid$, wobei
 $0 \leq a, b, x, y \leq 1$ und $x \geq y, a \geq b$ sind.

- 25 Das heißt also insbesondere, dass der erste Quantentopf als Halbleiterschicht die $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ -Halbleiterschicht umfasst. Der zweite Quantentopf umfasst insbesondere als Halbleiterschicht die $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ - Halbleiterschicht. Die Barrierschichten sind bevorzugt aus $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ gebildet. Die Abfolge
 30 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N} \mid \text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N} \mid \text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N} \mid \text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ tritt hierbei bevorzugt mehrmals wiederholt und aufeinanderfolgend auf.

Dabei ist es möglich, dass die den ersten Quantentöpfen nachfolgenden Barrierschichten einen anderen Al-Gehalt aufweisen als die den zweiten Quantentöpfen nachfolgenden Barrierschichten. Zum Beispiel unterscheiden sich die Al-Gehalte dieser zwei Arten von Barrierschichten um mindestens 2 Prozentpunkte oder 5 Prozentpunkte und/oder um höchstens 10 Prozentpunkte oder 7 Prozentpunkte.

Hier kann insbesondere vorgesehen sein, dass basierend auf einem unterschiedlichen Gehalt an Indium (In) eine entsprechende Bandlückenenergie der Quantentöpfe eingestellt wird. Das heißt also insbesondere, dass der zweite Quantentopf mit der höheren Bandlückenenergie insbesondere mehr Indium aufweist als der erste Quantentopf mit der niedrigeren Bandlückenenergie.

Es kann beispielsweise nach einer anderen Ausführungsform vorgesehen sein, dass eine entsprechende Bandlückenenergie abhängig von einer Dicke der jeweiligen Halbleiterschicht des ersten respektive dritten und des zweiten Quantentopfes eingestellt wird. Das heißt also insbesondere, dass beide Halbleiterschichten des ersten respektive zweiten und des dritten Quantentopfes aus einem gleichen Material, beispielsweise InGaN, gebildet sind, aber unterschiedliche Dicken aufweisen. Dass die Bandlückenenergien aufgrund der unterschiedlichen Dicken unterschiedlich sind, hat ihre Ursache insbesondere in der Quantisierungsenergie und des quantum-confined Stark-Effekts.

Die GaN-Schicht kann beispielsweise beliebig dick sein. Die weiteren obigen Halbleiterschichten können insbesondere jeweils eine Dicke zwischen 2 nm und 20 nm aufweisen, wobei eine jeweilige Dicke der einzelnen Schichten insbesondere un-

terschiedlich sein kann. Insbesondere kann ein Gehalt an Indium in einer der Schichten größer als 10 Prozent betragen.

Vorzugsweise kann eine oder mehrere oder alle der obigen

5 Schichten durch eine Aluminiumgalliumindiumnitrid (AlGaInN) ersetzt werden.

In einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die vorgenannte Schichtfolge achsensymmetrisch wiederholt wird. Das

10 heißt also insbesondere, dass sich nach der $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ -Halbleiterschicht eine $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ -Schicht anschließt, an welcher sich wieder die $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ -Halbleiterschicht des ersten Quantentopfes anschließt, an welcher sich die $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Halbleiterschicht anschließt, an welcher sich die GaN -
15 Halbleiterschicht anschließt.

In einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass zwischen den beiden GaN -Halbleiterschichten eine beliebige Kombination aus den $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -, $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ -, $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ - und

20 $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ -Schichten gebildet sind, derart, dass einem Quantentopf mit einer niedrigeren Bandlückenenergie ein Quantentopf mit einer höheren Bandlückenenergie zugeordnet, also benachbart zueinander angeordnet, ist.

25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist die Mehrfach-Quantentopf-Struktur mehrere der ersten und mehrere der zweiten Quantentöpfe auf. Die ersten Quantentöpfe und die zweiten Quantentöpfe (109, 305) sind einander abwechselnd aufeinander folgend angeordnet, sodass je ein erster Quantentopf auf ei-
30 nen zweiten Quantentopf folgt. Zwischen benachbarten Quantentöpfen befindet sich bevorzugt je eine Barrierschicht mit einer die Bandlückenenergie der Quantentöpfe übersteigenden Bandlückenenergie.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform sind alle ersten Quantentöpfe untereinander baugleich, im Rahmen der Herstellungstoleranzen. Dies kann ebenso für die zweiten Quantentöpfe,
5 für die dritten Quantentöpfe und/oder für die Barriereschichten gelten.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform übersteigt die Anzahl der zweiten Quantentöpfe eine Anzahl der ersten Quantentöpfe
10 um eins. Die Mehrfach-Quantentopf-Struktur kann dann mit einem zweiten Quantentopf beginnen und auch enden. Alternativ gilt, dass die Anzahl der ersten Quantentöpfe um eins größer ist.

15 Die Erfindung wird im Folgenden anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen

Fig. 1 ein optoelektronisches Bauteil;

20 Fig. 2 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Betreiben eines optoelektronischen Bauteils;

Fig. 3 eine Mehrfach-Quantentopf-Struktur, die elektrisch gepumpt wird, und

25

Fig. 4 die Mehrfach-Quantentopf-Struktur gemäß Fig. 3, die optisch gepumpt wird.

Im Folgenden können für gleiche Merkmale gleiche Bezugszeichen verwendet werden.
30

Fig. 1 zeigt ein optoelektronisches Bauteil 101.

Das Bauteil 101 weist eine Halbleiterschichtenfolge 103 auf, die eine Mehrfach-Quantentopf-Struktur 105 umfasst.

Die Mehrfach-Quantentopf-Struktur 105 umfasst einen ersten
5 Quantentopf 107 und einen zweiten Quantentopf 109. Die beiden Quantentöpfe 107 und 109 sind benachbart zueinander gebildet.

Der erste Quantentopf 107 weist eine erste Bandlückenenergie auf. Der zweite Quantentopf 109 weist eine zweite Bandlücken-
10 energie auf. Hierbei ist eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie derart gewählt, dass mittels einer Anregung des ersten Quantentopfes 107 gebildete Augerladungsträger 113 in den zweiten Quantentopf 109 gelangen können, um in dem Quantentopf 109 strahlend zu rekombi-
15 nieren.

Das heißt also insbesondere, dass bei einer Anregung des ersten Quantentopfes 107 zum einen elektromagnetische Strahlung abgestrahlt wird, was hier mittels eines Pfeils mit dem Be-
20 zugszeichen 111 symbolisch dargestellt ist. Gleichzeitig finden Augerprozesse in dem ersten Quantentopf 107 statt. Dadurch werden die Augerladungsträger 113 gebildet.

Die Augerladungsträger 113 können aufgrund der gewählten Dif-
25 ferenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie in den zweiten Quantentopf 109 gelangen, um aus diesem dann wieder strahlend zu rekombinieren. Das heißt also insbesondere, dass durch diesen strahlenden Rekombinationsprozess in dem zweiten Quantentopf 109 elektromagnetische Strahlung ab-
30 gestrahlt wird, was hier mittels eines Pfeils mit dem Bezugszeichen 115 symbolisch dargestellt ist.

In Fig. 1 sind die Augerladungsträger 113 als Augerelektronen „e-“ exemplarisch dargestellt. Insbesondere können alternativ oder zusätzlich Augerlöcher als Augerladungsträger gebildet werden, die dann in den zweiten Quantentopf 109 gelangen können, um aus diesem strahlend zu rekombinieren.

Fig. 2 zeigt ein Verfahren zum Betreiben des optoelektronischen Bauteils 101 gemäß Fig. 1.

10 In einem Schritt 201 wird der erste Quantentopf 107 angeregt, sodass gemäß einem Schritt 203 die Augerladungsträger 113 gebildet werden. Die Augerladungsträger 113 gelangen aufgrund der gewählten Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie in den zweiten Quantentopf 109 gemäß einem
15 Schritt 205. Gemäß einem Schritt 207 können dann diese Augerladungsträger 113 in dem zweiten Quantentopf 109 strahlend rekombinieren.

Fig.3 zeigt eine Mehrfach-Quantentopf-Struktur 301.

20 Insbesondere sind die Energieverhältnisse für das Valenzband VB und das Leitungsband CB gezeigt. In Ordinatendrichtung ist die Bandlückenenergie eV aufgetragen. In Abszissenrichtung sind die einzelnen Quantentöpfe mit einer Breite, die der
25 Schichtdicke entspricht, aufgetragen.

Die Mehrfach-Quantentopf-Struktur 301 umfasst drei nacheinander angeordnete Quantentöpfe 303, 305 und 307, wobei die beiden Quantentöpfe 303 und 305 und die beiden Quantentöpfe 305
30 und 307 jeweils benachbart zueinander angeordnet sind.

Zum Bilden der drei Quantentöpfe 303, 305 und 307 ist eine Halbleiterschichtenfolge umfassend die folgenden aufeinander aufgetragenen Halbleiterschichten vorgesehen:

5 Als n-dotierte Halbleiterschicht ist eine GaN-Schicht 309 vorgesehen. Auf dieser GaN-Halbleiterschicht 309 ist eine $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Halbleiterschicht 311 aufgetragene. Auf der $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Halbleiterschicht 311 ist eine $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ -Halbleiterschicht 313 aufgetragene. Auf der $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ -Halbleiterschicht 313 ist eine
10 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ -Halbleiterschicht 315 aufgetragene. Auf der $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ -Halbleiterschicht 315 ist eine $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ -Halbleiterschicht 317 aufgetragene. Auf der $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ -Halbleiterschicht 317 ist wiederum die $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ -Halbleiterschicht 315 aufgetragene. Auf dieser Schicht ist die $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ -Halbleiterschicht 313 aufgetragene.
15 aufgetragene. Auf dieser ist die $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Halbleiterschicht 311 aufgetragene, auf welcher die GaN-Halbleiterschicht 309 als p-dotierte Schicht aufgetragene ist.

Hierbei gilt insbesondere, dass $0 \leq a, b, x, y \leq 1$ und $x \geq y, a \geq$
20 b sind.

Das heißt also insbesondere, dass die Halbleiterschicht 313 eine Quantentopfschicht für den Quantentopf 303 bildet. Die Halbleiterschicht 317 bildet insbesondere eine Quantentopfschicht für den Quantentopf 305. Die Halbleiterschicht 313 bildet insbesondere eine Quantentopfschicht für den Quantentopf 307.
25

Die beiden Halbleiterschichten 311 sind jeweils auf abgewandten Seiten des Quantentopfes 303 respektive 307 relativ zu dem Quantentopf 305 vorgesehen.
30

Die beiden Halbleiterschichten 315 sind jeweils zwischen dem Quantentopf 305 und dem Quantentopf 307 respektive 303 vorgesehen.

- 5 Wie die Ordinate zeigt, weisen die beiden Quantentöpfe 303 und 307 eine niedrigere Bandlückenenergie auf als der Quantentopf 305. Das heißt also insbesondere, dass die beiden Quantentöpfe 303 und 307 jeweils eine erste Bandlückenenergie aufweisen, die kleiner ist als eine zweite Bandlückenenergie
10 des Quantentopfes 305.

Bei einem elektrischen Pumpen dieser Halbleiterschichtenfolge, also insbesondere wenn an die Halbleiterschichtenfolge eine elektrische Spannung angelegt wird, kommt es zu einer
15 Verschiebung von Ladungsträgern. Elektronen als negative Ladungsträger sind hier mit dem Bezugszeichen 318a gekennzeichnet. Löcher als positive Ladungsträger sind hier mit dem Bezugszeichen 318b gekennzeichnet.

- 20 Aufgrund des elektrischen Pumpens findet also in dem Quantentopf 303 und in dem Quantentopf 307 jeweils ein strahlender Rekombinationsprozess der verschobenen Ladungsträger 318a und 318b statt. Gleichzeitig mit diesen Rekombinationsprozessen finden Augerprozesse statt, welche zur Bildung von Auger-
25 elektronen und/oder Augerlöchern führen können. Die Augerelektronen sind mit dem Bezugszeichen 319 gekennzeichnet. Die Augerlöcher sind mit dem Bezugszeichen 321 gekennzeichnet.

Aufgrund der gewählten Energiedifferenz zwischen der ersten
30 und der zweiten Bandlückenenergie können die Augerelektronen 319 respektive die Augerlöcher 321 in den Quantentopf 305 gelangen, um von dort aus strahlend zu rekombinieren.

Durch die in den Quantentöpfen 303, 305 und 307 auftretenden strahlenden Rekombinationsprozesse wird elektromagnetische Strahlung emittiert. Die elektromagnetische Strahlung, die aufgrund der primären Anregungen aus den Quantentöpfen 303 und 307 emittiert wird, ist hier symbolisch mit einem Pfeil mit dem Bezugszeichen 323 gekennzeichnet. Die elektromagnetische Strahlung, die aufgrund der Anregung des Quantentopfes 305 mittels der Augerladungsträger 319 und 321 und der anschließenden Rekombinationsprozesse emittiert wird, ist symbolisch mit einem Pfeil mit dem Bezugszeichen 325 gekennzeichnet.

Der Prozess des Gelangens eines Augerladungsträgers 319 und 321 in den energetisch höher gelegenen Quantentopf 305 ist symbolisch mit gestrichelten Pfeilen mit dem Bezugszeichen 327 gekennzeichnet. Das heißt also insbesondere, dass die Augerladungsträger 319 und 321 in höhere Energiezustände gelangen und von dort in den Quantentopf 305 relaxieren.

Ein Energiegewinn aufgrund der Wiederverwertung der Augerladungsträger 319 und 321 ist hier symbolisch mit einem Pfeil mit dem Bezugszeichen 329 gekennzeichnet.

Das Vorsehen der beiden Halbleiterschichten 311 bewirkt insbesondere, dass eine Wahrscheinlichkeit eines Einfangs durch den höher energetischen Quantentopf 305 in vorteilhafter Weise erhöht wird. Die beiden Halbleiterschichten 311 können insbesondere als weitere Barrierschichten bezeichnet werden.

30

Die beiden Halbleiterschichten 315 bewirken insbesondere, dass eine Wahrscheinlichkeit, dass Augerladungsträger 319 und 321 aus einem gebundenen Zustand im Quantentopf 319 in den

energetisch günstigeren Quantentopf 303 respektive 307 gelangen können, womit ihre potentiell gewonnene Energie wieder verloren wäre, in vorteilhafter Weise erniedrigt wird. Die beiden Halbleiterschichten 315 können insofern insbesondere
5 als Barrierschichten bezeichnet werden.

Fig. 4 zeigt die Mehrfach-Quantentopf-Struktur 301 gemäß Fig. 3, wobei hier die Mehrfach-Quantentopf-Struktur 301 optisch und nicht elektrisch gepumpt wird.

10

Das heißt also insbesondere, dass die Mehrfach-Quantentopf-Struktur 301 optisch mittels elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge gepumpt wird, wobei die Wellenlänge einer Pumpenergie entspricht, die größer ist als die erste
15 Bandlückenenergie und kleiner ist als die zweite Bandlückenenergie. Das Pumpen mit dieser Wellenlänge ist symbolisch mittels Pfeilen mit dem Bezugszeichen 401 dargestellt.

20

Insbesondere kann die Mehrfach-Quantentopf-Struktur 301 mittels elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge von 450 Nanometern gepumpt werden. Bei einer Bandlücke von etwa 2,8 eV bezüglich der beiden Quantentöpfe 303 und 307 können die beiden Quantentöpfe 303 und 307 entsprechend optisch angeregt werden, wobei gleichzeitig eventuell auftretende
25 Stokes-Verluste aufgrund der etwas höheren Energie der Pumpwellenlänge kompensiert werden.

30

In einer nicht gezeigten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Mehrfach-Quantentopf-Struktur 301 sowohl optisch als auch elektrisch gepumpt wird.

Nach einer nicht gezeigten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Bandlücke des ersten Quantentopfs 303 und des

zweiten Quantentopfs 207 etwa 1,5 eV ist. Das heißt also insbesondere, dass diese Quantentöpfe für eine optische Anregung mit 800 Nanometern gepumpt werden müssen. In weiteren nicht gezeigten Ausführungsformen kann vorgesehen sein, dass die
5 entsprechende Bandlücke kleiner gleich ($\leq$) 800 Nanometer ist.

In einer nicht gezeigten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die zweite Bandlückenenergie, also insbesondere die Bandlücke des Quantentopfs 205, gleich 3 eV ist. Das
10 heißt also insbesondere, dass bei einem strahlenden Rekombinationsprozess von Augerladungsträgern elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von etwa 400 Nanometern emittiert wird.

15 In weiteren nicht gezeigten Ausführungsformen kann vorgesehen sein, dass die entsprechende Bandlücke des Quantentopfes 305 größer als 3 eV ist. Somit kann beispielsweise das von diesem Quantentopf 305 emittierte Licht insbesondere im UV-Bereich liegen. Das kann beispielsweise bewirken, dass ein Konverter-
20 stoff effektiver angeregt wird als durch das Licht der primär gepumpten Quantentöpfe 303 und 307.

In einer weiteren nicht gezeigten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Bandlücken der einzelnen Quantentöpfe
25 303, 305 und 307 im Infrarotbereich liegen.

In weiteren nicht gezeigten Ausführungsformen kann vorgesehen sein, dass als Materialien für die einzelnen Halbleiterschichten beispielsweise Halbleiter mit direkter Bandlücke
30 verwendet werden, also beispielsweise III-V-Verbindungen, wobei Phosphide und/oder Nitride insbesondere bevorzugt für den sichtbaren Bereich verwendet werden.

Nach einer weiteren nicht gezeigten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass als Material für die Halbleiterschichten auch II-VI-Verbindungen verwendet werden: Beispielsweise (CdZn)Se oder (MgZn)O.

5

Die Erfindung umfasst also insbesondere den Gedanken, einen Teil oder alles der in den beteiligten Augerprozessen ansonsten verlorenen Energie zur Erzeugung kürzerwelligen Lichts zu verwenden. Dadurch lässt sich der Wirkungsgrad eines erfindungsgemäßen optoelektronischen Bauteils im Vergleich zu einem bekannten optoelektronischen Bauteil erhöhen.

Dieser Effekt kann insbesondere noch dadurch verstärkt werden, dass nun ein geringerer Anteil der Augerenergie zur Erwärmung der LED zur Verfügung steht. Die daraus resultierende verringerte Betriebstemperatur erhöht an sich wiederum den Anteil der gewünschten strahlenden Rekombination in den niederenergetischen Quantentöpfen.

Entsprechend lässt sich nur mit diesem Sekundäreffekt auch der Wirkungsgrad einer blauen Leuchtdiode (LED), also einer im blauen Spektralbereich (insbesondere 430 nm bis 480 nm, insbesondere 440 nm bis 460nm) emittierenden LED, verbessern, ohne dass die entstehenden (unsichtbaren) UV-Photonen wieder konvertiert werden.

Insbesondere bietet die Erfindung jedoch auch die Möglichkeit, weißen Lichteindruck zu erzeugen, ohne dass die im Fall konventioneller Konverterlösungen unumgänglichen Stokes-Verluste auftreten.

Die Kombination einer langwellig (aus dem ersten Quantenopf) (zum Beispiel: gelb-grün) emittierenden InGaN-LED mit darin

enthaltenen blauen Quantenöpfe (zweiter Quantentopf) kehren das heute bekannte verwendete Prinzip der Teilkonversion gewissermaßen um, indem ausschließlich ansonsten verlorenen Energie (Augerenergie) zur Erzeugung blauverschobener Photonen verwendet wird.

Durch Verzicht auf einen Konverter bzw. weitere halbleiterbasierte Lichtquellen besteht neben der Möglichkeit zur Steigerung der Energieeffizienz auch Potenzial zur Senkung der Herstellungskosten einer weißen LED.

Jegliche sonstige Farbkombination zur Darstellung andersfarbigen Lichts kann über erste und zweite Quantenöpfe mit entsprechender Bandlücke in vorteilhafter Weise gebildet werden. Dies umschließt auch Halbleiter-Heterostrukturen, welche aus anderen Materialsystemen bestehen.

Zusammenfassend umfasst also die Erfindung insbesondere den Gedanken, Ladungsträger, insbesondere Augerladungsträger, die bei einer primären Anregung eines Quantentopfes entstehen, in einen zweiten Quantentopf zu bringen, sodass diese in dem zweiten Quantentopf strahlend rekombinieren können. Das heißt also insbesondere, dass die gebildeten Augerladungsträger wiederverwertet oder recycelt werden können und für eine weitere Lichterzeugung zur Verfügung stehen. Ein Wirkungsgrad eines entsprechenden optoelektronischen Bauteils ist somit in vorteilhafter Weise erhöht.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese 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 o-

der diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen
5 Patentanmeldung 10 2012 217 681.0, deren Offenbarungsgehalt
hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Bezugszeichenliste

	101	optoelektronisches Bauteil
	103	Halbleiterschichtenfolge
5	105, 301	Mehrfach-Quantentopf-Struktur
	107, 303	erster Quantentopf
	109, 305	zweiter Quantentopf
	319, 321	Augerladungsträger
	315	Barriereschicht
10	311	weitere Barriereschicht
	307	dritter Quantentopf

Ansprüche

1. Optoelektronisches Bauteil (101), umfassend:
 - eine Halbleiterschichtenfolge (103) mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur (105, 301),
 - wobei die Mehrfach-Quantentopf-Struktur (105, 301) mindestens einen ersten Quantentopf (107, 303) mit einer ersten Bandlückenenergie, und
 - mindestens einen zweiten Quantentopf (109, 305) mit einer zweiten Bandlückenenergie aufweist, die größer ist als die erste Bandlückenenergie,
 - wobei der erste Quantentopf (107, 303) und der zweite Quantentopf (109, 305) benachbart zueinander gebildet sind,
 - wobei eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Bandlückenenergie derart gewählt ist, dass mittels einer Anregung des ersten Quantentopfes (107, 303) gebildete Ladungsträger (319, 321) Energie aus einem Verlustprozess nutzen können, um in den zweiten Quantentopf (109, 305) zu gelangen, um in dem zweiten Quantentopf (109, 305) strahlend zu rekombinieren.
2. Optoelektronisches Bauteil (101) nach Anspruch 1, bei dem der Verlustprozess ein Augerprozess ist, wobei die mehreren ersten Quantentöpfe (107, 303) und die mehreren zweiten Quantentöpfe (109, 305) einander abwechselnd aufeinander folgend angeordnet sind.
3. Optoelektronisches Bauteil (101) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei zwischen dem ersten Quantentopf (107, 303) und dem zweiten Quantentopf (109, 305) eine Barrierschicht (315)

gebildet ist, die eine Barrierebandlückenenergie aufweist, die größer ist als die zweite Bandlückenenergie.

4. Optoelektronisches Bauteil (101) nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei eine weitere Barriereschicht (311) benachbart zu einer dem zweiten Quantentopf (109, 305) abgewandten Seite des ersten Quantentopfs (107, 303) gebildet ist, wobei die weitere Barriereschicht (311) eine weitere Barrierebandlückenenergie aufweist, die größer ist als die zweite Bandlückenenergie.

5. Optoelektronisches Bauteil (101) nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei ein dritter Quantentopf (307) benachbart zu einer dem ersten Quantentopf (107, 303) abgewandten Seite des zweiten Quantentopfs (109, 305) spiegelbildlich zu dem ersten Quantentopf (107, 303) gebildet ist.

6. Optoelektronisches Bauteil (101) nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei eine Anregungseinrichtung zum Bereitstellen einer Anregungsenergie gebildet ist, um den ersten Quantentopf (107, 303) anzuregen.

7. Optoelektronisches Bauteil (101) nach Anspruch 6,

wobei eine Steuerung zum Steuern der Anregungseinrichtung vorgesehen ist, um mittels der Anregungsenergie primär den ersten Quantentopf (107, 303) anzuregen.

8. Optoelektronisches Bauteil (101) nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die Differenz zwischen der ersten und der zweiten

Bandlückenenergie zwischen 0 eV und 1,5 eV, insbesondere zwischen 0,5 eV und 1,5 eV, beträgt.

9. Optoelektronisches Bauteil (101) nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die erste Bandlückenenergie zwischen 0 eV und 3,4 eV, insbesondere zwischen 1,5 eV und 3,4 eV, beträgt.

10. Verfahren zum Betreiben eines optoelektronischen Bauteils (101) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der erste Quantentopf (107, 303) angeregt (200) wird, so dass mittels der Anregung des ersten Quantentopfs (107, 303) gebildete Ladungsträger (319, 321) eine Energie aus einem Verlustprozeß, insbesondere einem Augerprozess, nutzen können, um in den zweiten Quantentopf (109, 305) zu gelangen (205), um in dem zweiten Quantentopf (109, 305) strahlend zu rekombinieren (207).

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das optische Pumpen mittels elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge durchgeführt wird, die einer Pumpenergie entspricht, die größer ist als die erste Bandlückenenergie und kleiner ist als die zweite Bandlückenenergie.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei das Anregen des ersten Quantentopfes (107, 303) ein elektrisches Pumpen und/oder ein optisches Pumpen des ersten Quantentopfes (107, 303) umfasst.

FIG 1

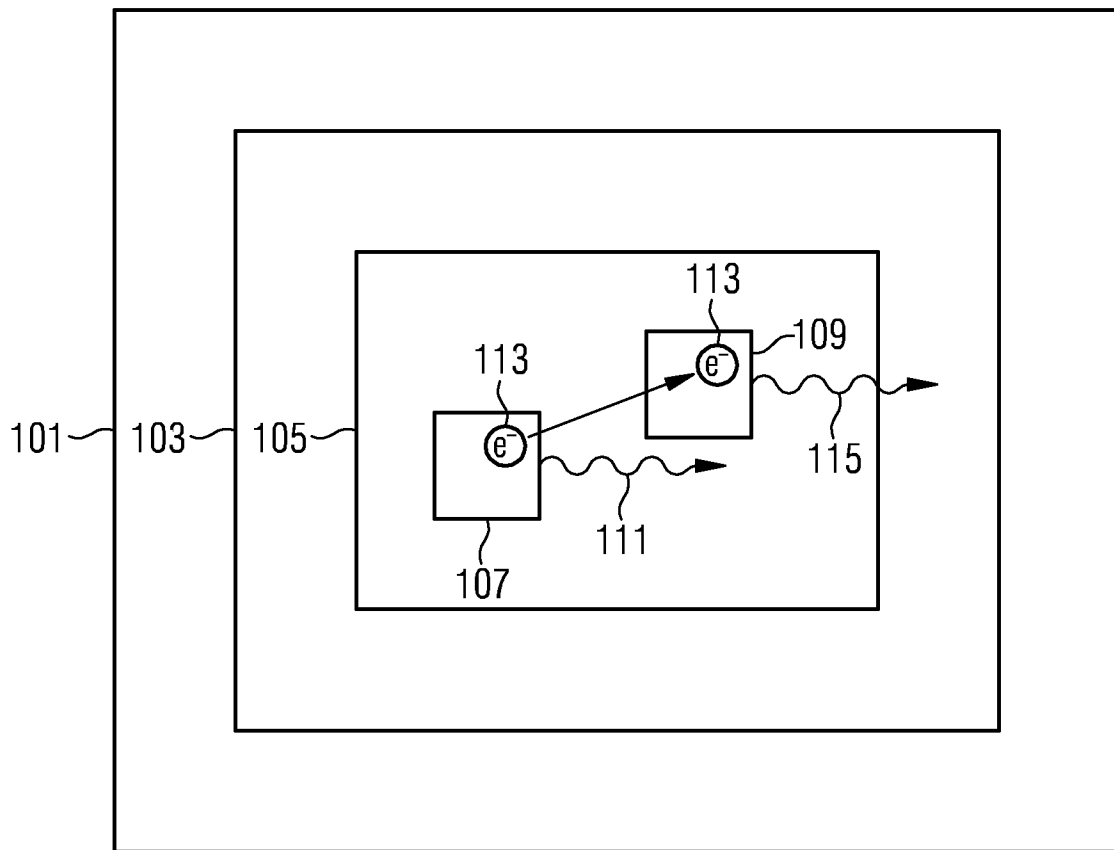
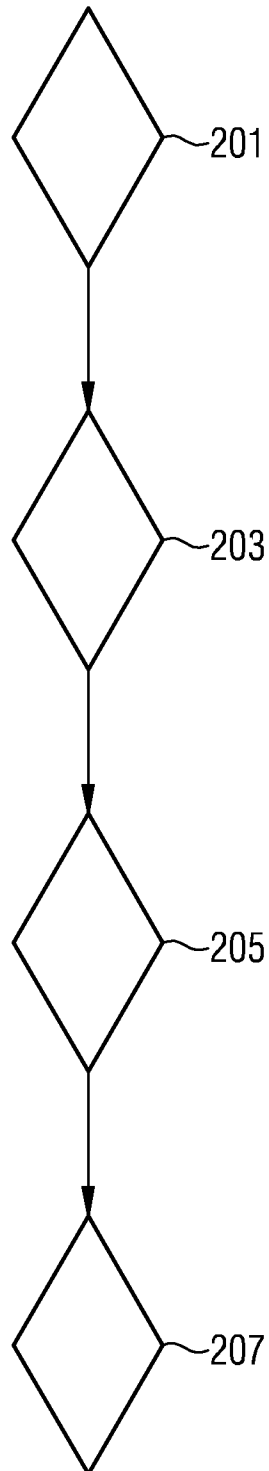


FIG 2



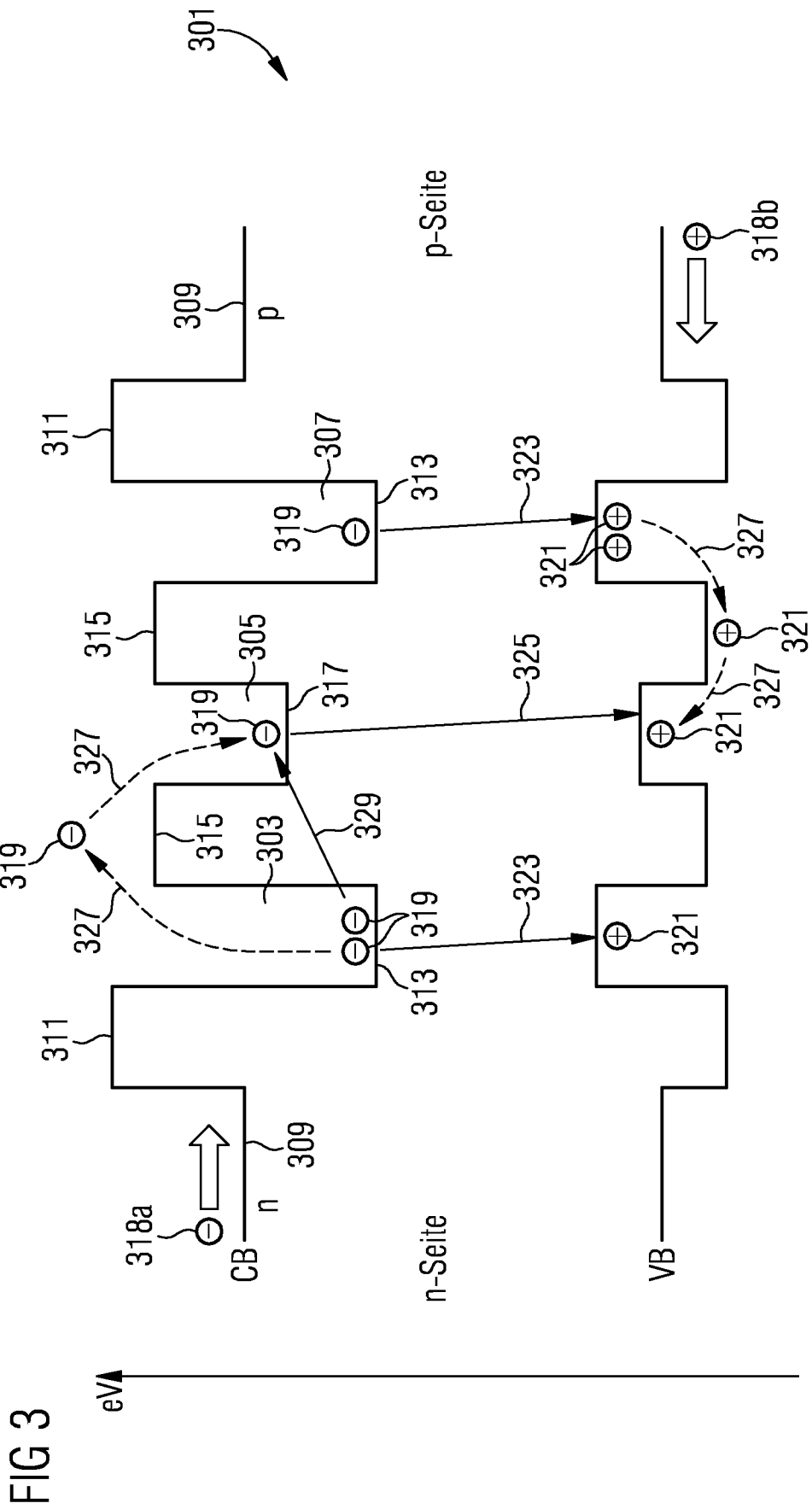
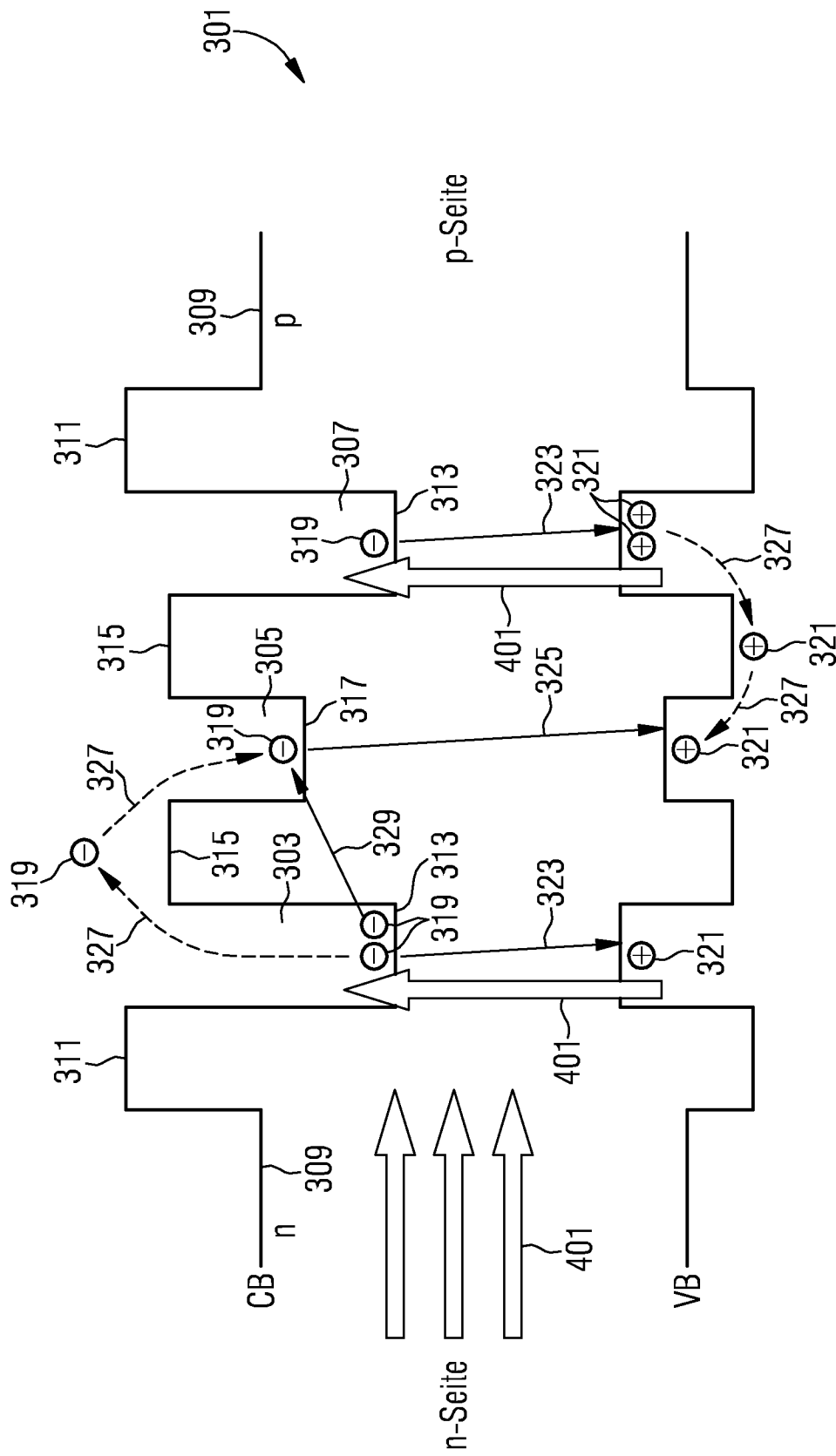


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2013/069235

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01L33/08
 ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/090339 A1 (LEE DONG Y [KR] ET AL LEE DONG YUL [KR] ET AL) 26 April 2007 (2007-04-26) paragraphs [0011] - [0013], [0024], [0025], [0028] - [0040]; figures 3, 4 -----	1-3, 6-10,12
T	BINDER M ET AL: "Identification of nnp and npp Auger recombination as significant contributor to the efficiency droop in (GaIn)N quantum wells by visualization of hot carriers in photoluminescence", APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 103, no. 7, 071108, 12 August 2013 (2013-08-12), pages 071108-1-071108-5, XP002717137, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS USA ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.4818761 the whole document ----- -/--	1,10



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

29 November 2013

Date of mailing of the international search report

18/12/2013

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

Müller-Kirsch, Lutz

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/069235

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2011/115529 A1 (SHRETER YURI GEORGIEVICH [RU]; REBANE YURI TOOMASOVICH [RU]; MIRONOV A) 22 September 2011 (2011-09-22) the whole document	1
X	DE 10 2007 044439 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 19 March 2009 (2009-03-19) paragraphs [0042], [0044], [0090] - [0093]; figures 3B, 6C, 7, 8A	1-9
A	MACHIDA S ET AL: "Anti-Stokes photoluminescence between In _x (Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{1-x} As/Al _{0.17} Ga _{0.83} As quantum wells with different x values", PHYSICA E - LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS AND NANOSTRUCTURES, vol. 33, no. 1, 1 June 2006 (2006-06-01), pages 196-200, XP028038449, ELSEVIER SCIENCE BV, NL ISSN: 1386-9477 [retrieved on 2006-06-01] page 198, column 2, line 19 - page 200, column 1, line 30; figures 4,5	1
X	YATSUI T ET AL: "Nanophotonic energy up conversion using ZnO nanorod double-quantum-well structures", APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 94, no. 8, 083113, 27 February 2009 (2009-02-27), XP012119228, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.3090491 the whole document	10,11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/069235

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007090339 A1	26-04-2007	JP 4875455 B2	15-02-2012
		JP 2007123878 A	17-05-2007
		US 2007090339 A1	26-04-2007

WO 2011115529 A1	22-09-2011	EP 2548233 A1	23-01-2013
		JP 2013522903 A	13-06-2013
		RU 2010109251 A	20-09-2011
		US 2013009152 A1	10-01-2013
		WO 2011115529 A1	22-09-2011

DE 102007044439 A1	19-03-2009	DE 102007044439 A1	19-03-2009
		TW 200919883 A	01-05-2009
		WO 2009036730 A2	26-03-2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L33/08
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter 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, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/090339 A1 (LEE DONG Y [KR] ET AL LEE DONG YUL [KR] ET AL) 26. April 2007 (2007-04-26) Absätze [0011] - [0013], [0024], [0025], [0028] - [0040]; Abbildungen 3, 4 -----	1-3, 6-10, 12
T	BINDER M ET AL: "Identification of nnp and npp Auger recombination as significant contributor to the efficiency droop in (GaIn)N quantum wells by visualization of hot carriers in photoluminescence", APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 103, Nr. 7, 071108, 12. August 2013 (2013-08-12), Seiten 071108-1-071108-5, XP002717137, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS USA ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.4818761 das ganze Dokument ----- -/-	1, 10



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 er-
scheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer
anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden
soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie
ausgeführt)

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. November 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/12/2013

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

Müller-Kirsch, Lutz

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2011/115529 A1 (SHRETER YURI GEORGIEVICH [RU]; REBANE YURI TOOMASOVICH [RU]; MIRONOV A) 22. September 2011 (2011-09-22) das ganze Dokument	1
X	DE 10 2007 044439 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 19. März 2009 (2009-03-19) Absätze [0042], [0044], [0090] - [0093]; Abbildungen 3B, 6C, 7, 8A	1-9
A	MACHIDA S ET AL: "Anti-Stokes photoluminescence between In _x (Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{1-x} As/Al _{0.17} Ga _{0.83} As quantum wells with different x values", PHYSICA E - LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS AND NANOSTRUCTURES, Bd. 33, Nr. 1, 1. Juni 2006 (2006-06-01), Seiten 196-200, XP028038449, ELSEVIER SCIENCE BV, NL ISSN: 1386-9477 [gefunden am 2006-06-01] Seite 198, Spalte 2, Zeile 19 - Seite 200, Spalte 1, Zeile 30; Abbildungen 4,5	1
X	YATSUI T ET AL: "Nanophotonic energy up conversion using ZnO nanorod double-quantum-well structures", APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 94, Nr. 8, 083113, 27. Februar 2009 (2009-02-27), XP012119228, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.3090491 das ganze Dokument	10,11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/069235

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007090339 A1	26-04-2007	JP 4875455 B2	15-02-2012
		JP 2007123878 A	17-05-2007
		US 2007090339 A1	26-04-2007

WO 2011115529 A1	22-09-2011	EP 2548233 A1	23-01-2013
		JP 2013522903 A	13-06-2013
		RU 2010109251 A	20-09-2011
		US 2013009152 A1	10-01-2013
		WO 2011115529 A1	22-09-2011

DE 102007044439 A1	19-03-2009	DE 102007044439 A1	19-03-2009
		TW 200919883 A	01-05-2009
		WO 2009036730 A2	26-03-2009
