

(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  
25. Juni 2020 (25.06.2020)



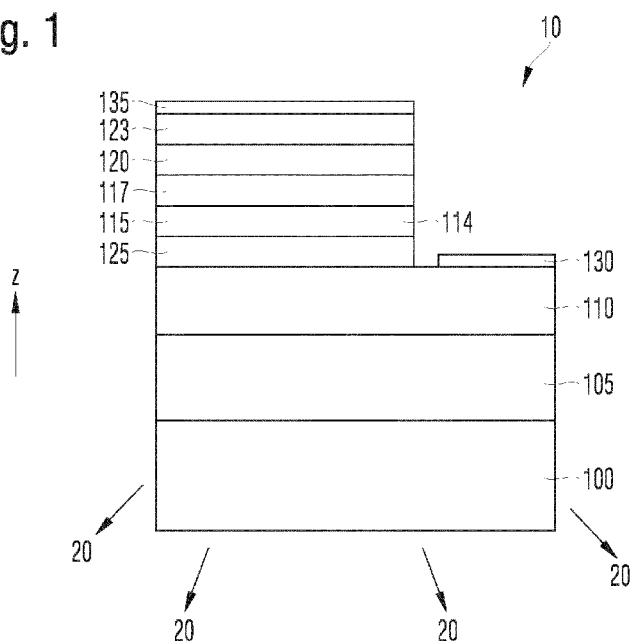
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/127429 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*H01L 33/12* (2010.01) *H01L 33/14* (2010.01)  
*H01L 21/02* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/085859
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
18. Dezember 2019 (18.12.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 133 526.1  
21. Dezember 2018 (21.12.2018) DE
- (71) Anmelder: **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS  
GMBH** [DE/DE]; Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg (DE).
- (72) Erfinder: **TOLLABI MAZRAEHNO, Mohammad**;  
Friedenstrasse 16A, 93053 Regensburg (DE).
- (74) Anwalt: **MÜLLER HOFFMANN & PARTNER PA-  
TENTANWÄLTE MBB**; St.-Martin-Strasse 58, 81541  
München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,  
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,  
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,  
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: OPTOELECTRONIC SEMICONDUCTOR COMPONENT HAVING AN INTERMEDIATE LAYER AND METHOD  
FOR PRODUCING THE OPTOELECTRONIC SEMICONDUCTOR COMPONENT

(54) Bezeichnung: OPTOELEKTRONISCHES HALBLEITERBAUELEMENT MIT EINER ZWISCHENSCHICHT UND  
VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DES OPTOELEKTRONISCHEN HALBLEITERBAUELEMENTS

Fig. 1



(57) Abstract: A semiconductor component (10) comprises a first semiconductor layer (110) of a first conductivity type, the first semiconductor layer (110) having the composition  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ . The optoelectronic semiconductor component (10) also comprises a second semiconductor layer (120) of a second conductivity type, an active zone (115) between the first semiconductor layer (110) and the second semiconductor layer (120), the active zone (115) having a quantum well structure (114), and an intermediate layer (125) between the first semiconductor layer (110)

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

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

and the active zone (115). The intermediate layer (125) comprises a semiconductor material of the composition  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , with  $x \cdot 1.05 \leq y \leq 1$ .

(57) **Zusammenfassung:** Ein optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) umfasst eine erste Halbleiterschicht (110) von einem ersten Leitfähigkeitstyp, wobei die erste Halbleiterschicht (110) die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  hat. Das optoelektronische Halbleiterbauelement (10) umfasst weiterhin eine zweite Halbleiterschicht (120) von einem zweiten Leitfähigkeitstyp, eine aktive Zone (115) zwischen der ersten Halbleiterschicht (110) und der zweiten Halbleiterschicht (120), wobei die aktive Zone (115) eine Quantentopfstruktur (114) aufweist, sowie eine Zwischenschicht (125) zwischen der ersten Halbleiterschicht (110) und der aktiven Zone (115). Die Zwischenschicht (125) umfasst ein Halbleitermaterial der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , mit  $x \cdot 1,05 \leq y \leq 1$ .

OPTOELEKTRONISCHES HALBLEITERBAUELEMENT MIT EINER  
ZWISCHENSCHICHT UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DES  
OPTOELEKTRONISCHEN HALBLEITERBAUELEMENTS

5

HINTERGRUND

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2018 133 526.1, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

10

Eine Leuchtdiode (LED) ist eine lichtemittierende Vorrichtung, die auf Halbleitermaterialien basiert. Beispielsweise werden Leuchtdioden, die auf dem AlGaN-Materialsystem basieren, verwendet, um Lichtquellen im tiefen Ultraviolett-(DUV-)Bereich bereitzustellen. Generell werden Anstrengungen unternommen, um die Effizienz von Leuchtdioden, die auf dem AlGaN-Materialsystem basieren, zu erhöhen.

15

20

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes optoelektronisches Halbleiterbauelement sowie ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements zur Verfügung zu stellen.

25

Gemäß Ausführungsformen wird die Aufgabe durch den Gegenstand und das Verfahren der beigefügten Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

30

ZUSAMMENFASSUNG

Ein optoelektronisches Halbleiterbauelement umfasst eine erste Halbleiterschicht von einem ersten Leitfähigkeitstyp, wobei die erste Halbleiterschicht die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  hat. Das optoelektronische Halbleiterbauelement umfasst weiterhin

eine zweite Halbleiterschicht von einem zweiten Leitfähigkeitstyp, eine aktive Zone zwischen der ersten Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht, wobei die aktive Zone eine Quantentopfstruktur aufweist, sowie eine Zwischenschicht zwischen der ersten Halbleiterschicht und der aktiven Zone. Die Zwischenschicht umfasst ein Halbleitermaterial der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , mit  $x \cdot 1,05 \leq y \leq 1$ .

Beispielsweise hat die Zwischenschicht eine Schichtdicke größer als 2 nm, größer als 8 nm oder größer als 40 nm. Die Schichtdicke der Zwischenschicht kann kleiner als 100 nm sein.

Beispielsweise ist die Zwischenschicht undotiert. Gemäß weiteren Ausführungsformen kann die Zwischenschicht vom ersten Leitfähigkeitstyp sein.

Beispielsweise kann die Zwischenschicht einen Schichtstapel mit abwechselnd übereinander gestapelten ersten Teilschichten und zweiten Teilschichten aufweisen. Die ersten Teilschichten haben die Zusammensetzung  $\text{Al}_{y'}\text{Ga}_{1-y'}\text{N}$  ( $0 \leq y' \leq 1$ ) mit einer Schichtdicke  $d'$ . Die zweiten Teilschichten haben die Zusammensetzung  $\text{Al}_{y''}\text{Ga}_{1-y''}\text{N}$  ( $0 \leq y'' \leq y'$ ) und eine Schichtdicke  $d''$ . Beispielsweise ist der durchschnittliche Al-Gehalt der Zwischenschicht 125 in diesem Fall wie folgt definiert:

$y_{\text{avg}} = (y' \cdot d' + y'' \cdot d'') / (d' + d'')$ , wobei ferner gilt:  
 $x \cdot 1,05 \leq y_{\text{avg}} \leq 1$ .

Die Schichtdicken der ersten und zweiten Teilschichten können jeweils größer als 1 nm und kleiner als 10 nm sein. Beispielsweise können die ersten und zweiten Teilschichten ein Übergitter ausbilden. Die maximale Schichtdicke des Übergitters kann kleiner als 100 nm sein.

Gemäß Ausführungsformen hat die erste Halbleiterschicht die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  mit  $0,3 \leq x \leq 0,95$ .

Die Zwischenschicht kann direkt an die aktive Zone angrenzen.

5

Gemäß Ausführungsformen kann ein Aluminiumgehalt der Zwischenschicht mit zunehmendem Abstand von der aktiven Zone zu- oder abnehmen.

10 Ein Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements umfasst das Ausbilden einer ersten Halbleiterschicht von einem ersten Leitfähigkeitstyp, wobei die erste Halbleiterschicht die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  hat. Das Verfahren umfasst weiterhin das Ausbilden einer zweiten Halbleiterschicht von einem zweiten Leitfähigkeitstyp, das Ausbilden einer aktiven Zone zwischen der ersten Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht, wobei die aktive Zone eine Quantentopfstruktur aufweist, sowie das Ausbilden einer Zwischenschicht zwischen der ersten Halbleiterschicht und der aktiven Zone. Die Zwischenschicht umfasst ein Halbleitermaterial der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , mit  $x \cdot 1,05 \leq y \leq 1$ .

15

20

Beispielsweise kann die Ausbildung der ersten Halbleiterschicht aus einem metallübersättigten Gasgemisch erfolgen.

25

Gemäß Ausführungsformen kann die Ausbildung der Zwischenschicht aus einem metallübersättigten Gasgemisch erfolgen. Dabei kann ein Grad der Metallübersättigung für die Zwischenschicht niedriger sein als für die erste Halbleiterschicht. Beispielsweise kann der Grad für die Metallübersättigung für das Wachstum der Zwischenschicht mindestens 10% kleiner sein als für das Wachstum der ersten Halbleiterschicht.

30

Eine optoelektronische Vorrichtung weist das optoelektronische Halbleiterbauelement wie vorstehend beschrieben auf. Die optoelektronische Vorrichtung kann aus einem UV-Desinfektionsgerät, einer UV-Härtungsvorrichtung oder einer UV-Messeinrichtung ausgewählt sein.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Die begleitenden Zeichnungen dienen dem Verständnis von Ausführungsbeispielen der Erfindung. Die Zeichnungen veranschaulichen Ausführungsbeispiele und dienen zusammen mit der Beschreibung deren Erläuterung. Weitere Ausführungsbeispiele und zahlreiche der beabsichtigten Vorteile ergeben sich unmittelbar aus der nachfolgenden Detailbeschreibung. Die in den Zeichnungen gezeigten Elemente und Strukturen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander dargestellt. Gleiche Bezugszeichen verweisen auf gleiche oder einander entsprechende Elemente und Strukturen.

Fig. 1 zeigt eine Querschnittsansicht eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß Ausführungsformen.

Fig. 2A zeigt Details einer Zwischenschicht gemäß Ausführungsformen.

Fig. 2B zeigt die ausgestrahlte Lichtleistung in Abhängigkeit von einer Schichtdicke der Zwischenschicht.

Fig. 3A zeigt ein Messergebnis einer Messung mit dem Transmissionselektronenmikroskop.

Fig. 3B zeigt ein weiteres Ergebnis einer Messung mit dem Transmissionselektronenmikroskop.

Fig. 4A zeigt eine Querschnittsansicht eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß weiteren Ausführungsformen.

Fig. 4B zeigt eine Messung der internen Quanteneffizienz bei einer Temperatur von 12 K.

Fig. 4C zeigt eine Messung der internen Quanteneffizienz bei einer Messung bei Raumtemperatur.

Fig. 5A zeigt eine Querschnittsansicht eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß weiteren Ausführungsformen.

Fig. 5B und 5C zeigen jeweils Ergebnisse der Messung der Photolumineszenz.

Fig. 6 fasst ein Verfahren gemäß Ausführungsformen zusammen.

Fig. 7 zeigt eine optoelektronische Vorrichtung gemäß Ausführungsformen.

#### DETAILBESCHREIBUNG

In der folgenden Detailbeschreibung wird auf die begleitenden Zeichnungen Bezug genommen, die einen Teil der Offenbarung bilden und in denen zu Veranschaulichungszwecken spezifische Ausführungsbeispiele gezeigt sind. In diesem Zusammenhang wird eine Richtungsterminologie wie "Oberseite", "Boden", "Vorderseite", "Rückseite", "über", "auf", "vor", "hinter", "vorne", "hinten" usw. auf die Ausrichtung der gerade beschriebenen Figuren bezogen. Da die Komponenten der Ausführungsbeispiele in unterschiedlichen Orientierungen positioniert werden können, dient die Richtungsterminologie nur der Erläuterung und ist in keiner Weise einschränkend.

Die Beschreibung der Ausführungsbeispiele ist nicht einschränkend, da auch andere Ausführungsbeispiele existieren und strukturelle oder logische Änderungen gemacht werden können, ohne dass dabei vom durch die Patentansprüche definierten Bereich abgewichen wird. Insbesondere können Elemente von im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen mit Elementen von anderen der beschriebenen Ausführungsbeispiele kombiniert werden, sofern sich aus dem Kontext nichts anderes ergibt.

Die Begriffe "Wafer" oder "Halbleitersubstrat", die in der folgenden Beschreibung verwendet sind, können jegliche auf Halbleiter beruhende Struktur umfassen, die eine Halbleiteroberfläche hat. Wafer und Struktur sind so zu verstehen, dass sie dotierte und undotierte Halbleiter, epitaktische Halbleiterschichten, gegebenenfalls getragen durch eine Basisunterlage, und weitere Halbleiterstrukturen einschließen. Beispielsweise kann eine Schicht aus einem ersten Halbleitermaterial auf einem Wachstumssubstrat aus einem zweiten Halbleitermaterial oder aus einem isolierenden Material, beispielsweise auf einem Saphirsubstrat, gewachsen sein. Weitere Beispiele für Materialien von Wachstumssubstraten umfassen Glas, Siliziumdioxid, Quarz, Silizium, SiC, AlN, GaN oder eine Keramik.

Je nach Verwendungszweck kann im Rahmen der vorliegenden Beschreibung beschriebenes Halbleitermaterial auf einem direkten oder einem indirekten Halbleitermaterial basieren. Beispiele für zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung besonders geeignete Halbleitermaterialien umfassen insbesondere Nitrid-Halbleiterverbindungen, durch die beispielsweise ultraviolette, blaues oder langwelligeres Licht erzeugt werden kann, wie beispielsweise GaN, InGaN, AlN, AlGaInN, AlGaInBN, Phosphid-Halbleiterverbindungen, durch die beispielsweise grünes oder langwelligeres Licht erzeugt werden kann, wie beispielsweise GaAsP, AlGaInP, GaP, AlGaP, sowie weitere Halb-

leitermaterialien wie GaAs, AlGaAs, InGaAs, AlInGaAs, SiC, ZnSe, ZnO, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Diamant, hexagonales BN und Kombinationen der genannten Materialien. Das stöchiometrische Verhältnis der Verbindungshalbleitermaterialien kann variieren. Weitere Beispiele für Halbleitermaterialien können Silizium, Silizium-Germanium und Germanium umfassen.

Der Begriff „Substrat“ umfasst generell isolierende, leitende oder Halbleitersubstrate.

10

Die Begriffe "lateral" und "horizontal", wie in dieser Beschreibung verwendet, sollen eine Orientierung oder Ausrichtung beschreiben, die im Wesentlichen parallel zu einer ersten Oberfläche eines Substrats oder Halbleiterkörpers verläuft.

15 Dies kann beispielsweise die Oberfläche eines Wafers oder eines Chips (Die) sein.

Die horizontale Richtung kann beispielsweise in einer Ebene senkrecht zu einer Wachstumsrichtung beim Aufwachsen von Schichten liegen.

20

Der Begriff "vertikal", wie er in dieser Beschreibung verwendet wird, soll eine Orientierung beschreiben, die im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Oberfläche eines Substrats oder Halbleiterkörpers verläuft. Die vertikale Richtung kann beispielsweise einer Wachstumsrichtung beim Aufwachsen von Schichten entsprechen.

25

Soweit hier die Begriffe "haben", "enthalten", "umfassen", "aufweisen" und dergleichen verwendet werden, handelt es sich um offene Begriffe, die auf das Vorhandensein der besagten Elemente oder Merkmale hinweisen, das Vorhandensein von weiteren Elementen oder Merkmalen aber nicht ausschließen. Die unbestimmten Artikel und die bestimmten Artikel umfassen sowohl

30

den Plural als auch den Singular, sofern sich aus dem Zusammenhang nicht eindeutig etwas anderes ergibt.

Im Kontext dieser Beschreibung bedeutet der Begriff „elektrisch verbunden“ eine niederohmige elektrische Verbindung zwischen den verbundenen Elementen. Die elektrisch verbundenen Elemente müssen nicht notwendigerweise direkt miteinander verbunden sein. Weitere Elemente können zwischen elektrisch verbundenen Elementen angeordnet sein.

Der Begriff „elektrisch verbunden“ umfasst auch Tunnelkontakte zwischen den verbundenen Elementen.

Nachfolgend werden Beispiele von optoelektronischen Halbleitervorrichtungen beschrieben. Dabei werden insbesondere Leuchtdioden beschrieben. Die Konzepte können jedoch auch auf andere optoelektronische Halbleiterbauelemente angewandt werden und sind daher nicht auf Leuchtdioden beschränkt. Weitere spezifische Beispiele umfassen unter anderem Halbleiter-Laservorrichtungen, beispielsweise oberflächenemittierende Halbleiter-Laservorrichtungen, Fotodetektoren, Sensoren und andere.

Fig. 1 zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß Ausführungsformen. Das optoelektronische Halbleiterbauelement 10 umfasst eine erste Halbleiterschicht 110 von einem ersten Leitfähigkeitstyp, eine zweite Halbleiterschicht 120 von einem zweiten Leitfähigkeitstyp sowie eine aktive Zone 115 zwischen der ersten Halbleiterschicht 110 und der zweiten Halbleiterschicht 120. Die erste Halbleiterschicht 110 hat die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ . Die aktive Zone weist eine Quantentopfstruktur auf. Das optoelektronische Halbleiterbauelement 10 umfasst weiterhin eine Zwischenschicht 125 zwischen der ersten Halbleiterschicht

110 und der aktiven Zone 115. Die Zwischenschicht 125 umfasst ein Halbleitermaterial der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ . Dabei gilt:  $x \cdot 1,05 \leq y \leq 1$ . Beispielsweise kann die Zwischenschicht 125 mit Si n-dotiert sein.

5

Die aktive Zone 115 weist zur Strahlungserzeugung eine Quantentopfstruktur 114 auf, beispielsweise eine Einfach-Quantentopf-Struktur (SQW, single quantum well) oder eine Mehrfach-Quantentopf-Struktur (MQW, multi quantum well). Die Bezeichnung „Quantentopf-Struktur“ entfaltet hierbei keine Bedeutung hinsichtlich der Dimensionalität der Quantisierung. Sie umfasst somit unter anderem Quantentröge, Quantendrähte und Quantenpunkte sowie jede Kombination dieser Schichten.

10

15

Die aktive Zone 115 kann beispielsweise Teilschichten mit unterschiedlichen elektrischen Bandlücken aufweisen, wobei die entsprechenden Teilschichten übereinander gestapelt sind. Beispielsweise kann ein Material einer kleineren Bandlücke (Quantentopfschicht 113) zwischen zwei Barrierenschichten 116 mit größerer Bandlücke angeordnet sein. Liegt die Schichtdicke der Teilschicht mit der kleineren Bandlücke im Bereich der de-Broglie-Wellenlänge von Elektronen, so sind die Energiezustände innerhalb der Teilschicht mit der kleineren Bandlücke quantisiert, und es bildet sich eine Quantentopfstruktur aus. Je nach Anzahl der Teilschichten mit kleinerer Bandlücke, in der sich quantisierte Energieniveaus ausbilden, spricht man von einer aktiven Zone mit einer Einfach-Quantentopfstruktur oder von einer aktiven Zone mit einer Mehrfach-(MQW-)Quantentopfstruktur.

20

25

30

Eine oder mehrere Elektronen-Blockierschichten 117, die beispielsweise AlGaN enthalten können und p-dotiert sein können, sind über der aktiven Zone 115 ausgebildet. Eine zweite Halbleiterschicht 120 ist über der Elektronen-Blockierschicht 117

angeordnet. Beispielsweise ist die zweite Halbleiterschicht 120 eine mit Mg p-dotierte AlGa<sub>N</sub>-Schicht. Eine Kontaktschicht 123 kann über der zweiten Halbleiterschicht 120 angeordnet sein. Beispielsweise kann die Kontaktschicht 123 mit Mg p-dotiertes Ga<sub>N</sub> sein. Ein zweites Kontaktelement 135 kann über der Kontaktschicht 123 angeordnet sein. Die hier aufgeführten Schichten und Schichtdicken sind als Beispiel angegeben, und andere Schichtdicken oder Dotierstoffe können verwendet werden. Weiterhin können Schichten weggelassen oder hinzugefügt werden, solange es die Funktionsweise des optoelektronischen Halbleiterbauelements 10 nicht beeinträchtigt.

Beispielsweise kann die erste Halbleiterschicht 110 von einem n-Leitfähigkeitstyp sein, und die zweite Halbleiterschicht 120 ist von einem p-Leitfähigkeitstyp. Beispielsweise hat die erste Halbleiterschicht 110 die Zusammensetzung Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N mit  $0,3 \leq x \leq 0,95$ . Die erste Halbleiterschicht 110 kann beispielsweise eine Schichtdicke von 0,5 bis 3 µm, beispielsweise etwa 1,5 µm, haben. Die erste Halbleiterschicht 110 kann beispielsweise über einem transparenten Substrat 100 angeordnet sein. Beispielsweise kann das Substrat 100 ein Saphirsubstrat sein. Weitere Schichten können innerhalb der Halbleiterschichtstruktur angeordnet sein.

Beispielsweise können eine oder mehrere Pufferschichten 105 zwischen dem Substrat 100 und der ersten Halbleiterschicht 110 angeordnet sein. Die Pufferschichten 105 können beispielsweise mehrere Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>1-x-y</sub>N-Schichten mit unterschiedlichen Zusammensetzungen oder Zusammensetzungsverhältnissen aufweisen. Durch diese Pufferschichten kann beispielsweise die Dichte an spiral- oder schraubenförmigen Versetzungen („threading dislocations“) reduziert werden. Weiterhin können dadurch Verspannungen eingestellt werden. Eine Schichtdicke der Pufferschicht(en) 105 kann beispielsweise bis zu 10 µm betragen. Die

Pufferschicht 105 kann auch weggelassen werden. Beispielsweise kann sie weggelassen werden, wenn ein natives Substrat wie AlN als Substrat 100 verwendet wird.

5 Die erste Halbleiterschicht 110 kann beispielsweise über ein erstes Kontaktelement 130 elektrisch angeschlossen werden. Die zweite Halbleiterschicht 120 kann beispielsweise über ein zweites Kontaktelement 135 elektrisch angeschlossen werden. Durch Anlegen einer geeigneten Spannung zwischen dem ersten  
10 Kontaktelement 130 und dem zweiten Kontaktelement 135 kann beispielsweise innerhalb der aktiven Zone 115 elektromagnetische Strahlung 20 emittiert werden.

In der aktiven Zone 115 erzeugte elektromagnetische Strahlung  
15 20 kann beispielsweise über eine Hauptoberfläche 101 sowie über Seitenflächen 102 des Substrats 100 ausgegeben werden. Erzeugte elektromagnetische Strahlung 20 kann möglicherweise auch über die Oberfläche der Schicht 135 ausgegeben werden.

20 Die Zwischenschicht 125 weist durchschnittlich einen höheren Aluminiumgehalt als die erste Halbleiterschicht 110 auf. Beispielsweise kann der Aluminiumgehalt der Zwischenschicht 125 mindestens 5 % oder gegebenenfalls mindestens 10 % höher sein als der Aluminiumgehalt der ersten Halbleiterschicht 110. Bei-  
25 spielsweise kann die Zwischenschicht eine Schichtdicke größer als 2 nm oder größer als 8 nm oder sogar größer als 20 nm haben. Gemäß weiteren Ausführungsformen kann die Schichtdicke der Zwischenschicht 125 kleiner als 100 nm sein. Bei größeren Schichtdicken kann die Elektroneninjektion beeinträchtigt wer-  
30 den. Es wurde festgestellt, dass durch Einfügen der Zwischenschicht 125 zwischen der ersten Halbleiterschicht 110 und der aktiven Zone 115 die ausgestrahlte Leistung der elektromagnetischen Strahlung stark erhöht werden kann.

Gemäß Ausführungsformen kann die Zwischenschicht 125 undotiert sein oder dotiert sein, beispielsweise bei einem Dotierniveau bis zu  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . Weiterhin kann der Al-Gehalt in der Zwischenschicht 125 variieren. Beispielsweise kann der Al-Gehalt in  
 5 Richtung zur aktiven Zone hin zunehmen.

Fig. 2A zeigt eine Querschnittsansicht der Zwischenschicht 125 gemäß weiteren Ausführungsformen. Gemäß weiteren Ausführungsformen kann die Zwischenschicht 125 eine Vielzahl erster und  
 10 zweiter Teilschichten 126, 127 der Zusammensetzung AlGa<sub>N</sub> mit jeweils unterschiedlichem Al-Gehalt aufweisen. Beispielsweise haben die ersten Teilschichten 126 die Zusammensetzung Al<sub>y'</sub>Ga<sub>1-y'</sub>N ( $0 \leq y' \leq 1$ ) mit einer Schichtdicke  $d'$ , und die zweiten Teilschichten 127 haben die Zusammensetzung Al<sub>y''</sub>Ga<sub>1-y''</sub>N  
 15 ( $0 \leq y'' \leq y'$ ) mit einer Schichtdicke  $d''$ . Beispielsweise ist der durchschnittliche Al-Gehalt der Zwischenschicht 125 in diesem Fall wie folgt definiert:

$$y_{\text{avg}} = (y' \cdot d' + y'' \cdot d'') / (d' + d''),$$
 wobei ferner gilt:  
 $x \cdot 1,05 \leq y_{\text{avg}} \leq 1$ . Die ersten und die zweiten Teilschichten 126,  
 20 127 sind abwechselnd übereinander gestapelt.

Beispielsweise können die einzelnen Schichtdicken der ersten und zweiten Teilschichten 126, 127 jeweils größer als 1 nm und kleiner als 10 nm sein. Die Zwischenschicht 125 mit einer  
 25 Vielzahl erster und zweiter Teilschichten 126, 127 bildet beispielsweise ein Übergitter aus. Eine Gesamtdicke der Zwischenschicht 125, die als Übergitter ausgebildet ist, kann weniger als 100 nm betragen.

30 Fig. 2B zeigt eine Messung der ausgegebenen Strahlungsleistung in Abhängigkeit von der Dicke (in nm angegeben) der Zwischenschicht 125 jeweils unter gleichen Betriebsbedingungen. Wie zu sehen ist, steigt die abgegebene Strahlungsleistung mit Erhöhung der Schichtdicke der Zwischenschicht 125 an.

Generell emittieren gemäß Ausführungsformen die hier beschriebenen optoelektronischen Halbleiterbauelemente elektromagnetische Strahlung in einem Bereich von 210 bis 360 nm. Je nach verwendetem Halbleiterschichtsystem kann aber auch elektromagnetische Strahlung in anderen Wellenlängenbereichen emittiert werden.

Die Fig. 3A zeigt Messergebnisse einer Transmissionselektronenmikroskopiemessung des in Fig. 2A dargestellten optoelektronischen Halbleiterbauelements mit einer Quantentopfstruktur 114, die fünf Quantentöpfe aufweist. Die Quantentöpfe sind jeweils durch einen unterschiedlichen Aluminiumgehalt der zugehörigen Halbleiterschichten verwirklicht. Die Zwischenschicht 125 hat eine Schichtdicke von 4 nm. Die durchgezogene Linie zeigt jeweils den durch Einstellung der Abscheideparameter beabsichtigten Aluminiumgehalt in Abhängigkeit von einer z-Koordinate (s. Fig. 1) und damit den beabsichtigten Verlauf der Bandstruktur. Die gestrichelte Linie zeigt den tatsächlich gemessenen Aluminiumgehalt in Abhängigkeit von der z-Koordinate und damit den Verlauf der Bandstruktur entsprechend den Quantentöpfen. Wie zu sehen ist, ist der erste Quantentopf, d.h. der Quantentopf auf der linken Seite der horizontalen Achse, nicht vorhanden. Der zweite und der dritte gemessene Quantentopf weist einen wesentlich geringeren Aluminiumgehalt als beabsichtigt auf.

Fig. 3B zeigt eine ähnliche Messung für eine optoelektronische Halbleitervorrichtung mit einer Schichtdicke der Zwischenschicht von 40 nm. Wie in Fig. 3B zu sehen ist, stimmt die gemessene Position (gestrichelte Linie) der Quantentöpfe in etwa mit der Position (durchgezogene Linie) der Quantentöpfe, wie sie durch Einstellung der Abscheideparameter vorgesehen ist,

überein. Weiterhin sind diese Quantentöpfe jeweils mit ungefähr ähnlichem Profil wie beabsichtigt ausgebildet.

Wie erkennbar ist, wird durch die Ausbildung der Zwischenschicht 125 vor Ausbilden der Quantentopfstruktur 114 die Qualität der Quantentopfstruktur verbessert. Die Quantentopfstruktur 114 weist mehrere identische Quantentöpfe mit einem Al-Gehalt, der dem beabsichtigten Al-Gehalt entspricht, auf. Bei einer größeren Schichtdicke der Zwischenschicht 115 wird eine verbesserte Qualität der aktiven Zone erzielt.

Fig. 4A zeigt eine Querschnittsansicht eines optoelektronischen Halbleiterbauelements 10 gemäß weiteren Ausführungsformen. Das optoelektronische Halbleiterbauelement 10 umfasst einen ähnlichen Schichtaufbau wie das in Fig. 2A gezeigte Halbleiterbauelement. Die aktive Zone 115 eine Mehrzahl (beispielsweise 5) von Barrierenschichten 116 und Quantentopfschichten 113. Die Quantentopfschichten haben jeweils eine Zusammensetzung und Schichtdicke, die derart bemessen sind, dass quantisierte Energiezustände in der Quantentopfschicht 113 vorliegen, die zwischen zwei Barrierenschichten angeordnet ist. Eine Deckschicht 122, beispielsweise aus AlGaN, ist über der obersten Quantentopfschicht 113 ausgebildet. Beispielsweise kann die Deckschicht 122 dieselbe Zusammensetzung wie eine Barrierenschicht haben. Beispielsweise kann die Deckschicht 122 eine größere Schichtdicke als übliche Barrierenschichten haben, um Oberflächeneffekte zu vermeiden.

Die Fig. 4B und 4C zeigen jeweils Messergebnisse der Quanteneffizienz bei einerseits 12 K (Fig. 4B) sowie Raumtemperatur (Fig. 4C) an der Halbleiterschichtstruktur, die Teil des optoelektronischen Halbleiterbauelements 10 von Fig. 4A bildet. Beispielsweise kann die Messung an einer Schichtstruktur durchgeführt sein, die dem optoelektronischen Halbleiterbau-

element 10 ohne erstes und zweites Kontaktelement 130, 135 entspricht. Dabei ist jeweils die Quanteneffizienz in Abhängigkeit der eingestrahlten Laserleistung dargestellt. Die Messungen sind jeweils für verschiedene Schichtdicken der Zwischenschicht 125 aufgenommen. Wie zu sehen ist, tritt bei einer Temperatur von 12 K aufgrund des Ausfrierens der Defekte und einer vernachlässigbaren Oberflächenrekombination eine Effizienz auf, die von der Schichtdicke der Zwischenschicht 125 jeweils unabhängig ist. Wie in Fig. 4C dargestellt ist, steigt bei Raumtemperatur die Quanteneffizienz in Abhängigkeit der Dicke der Zwischenschicht stark an. Wenn die Dicke der Zwischenschicht von 4 nm auf 13 nm ansteigt, kann die Quanteneffizienz um etwa 30 % gesteigert werden.

Wie der Vergleich der Fig. 4B und 4C zeigt, kann durch Anwesenheit der Zwischenschicht 125 Kristalldefekte verringert werden. Als Folge kann die Kristallqualität der Quantentopfstruktur 114 verbessert werden.

Fig. 5A zeigt eine Querschnittsansicht eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß weiteren Ausführungsformen. Abweichend von der in Fig. 4A dargestellten Struktur ist hier die aktive Zone 115 als eine Einfachquantentopfstruktur ausgebildet. Mit anderen Worten ist eine Quantentopfschicht 113 zur Ausbildung der Quantentopfstruktur 114 zwischen der Barrierenschicht 116 und der Deckschicht 122 angeordnet. Beispielsweise kann die Deckschicht 122 eine ähnliche Zusammensetzung wie eine Barrierenschicht haben. Die Zwischenschicht 125 ist angrenzend an die Barrierenschicht 116 angeordnet.

30

Die Fig. 5B und 5C zeigen jeweils Photolumineszenz-Messungen an optoelektronischen Halbleiterbauelementen 10. Dabei wurde die Messung von Fig. 5C an einem optoelektronischen Halbleiterbauelement durchgeführt, das beispielsweise in Fig. 5A dar-

gestellt ist, mit einer Einfachquantentopfstruktur. Die Messung von Fig. 5B wurde an einem optoelektronischen Halbleiterbauelement 10 ohne Zwischenschicht 125 durchgeführt. Die optoelektronischen Halbleiterbauelemente 10 entstammen jeweils unterschiedlichen Positionen eines prozessierten Wafers 104.

Das obere Spektrum der Fig. 5B zeigt eine Messung an optoelektronischen Halbleiterbauelementen 10, die einer Position gegenüber der Flachstelle („anti-flat“) des Wafers 104 entnommen sind. Das untere Spektrum der Fig. 5B ist der Mitte des Wafers 104 entnommen. Ohne Zwischenschicht findet im oberen Spektrum lediglich eine Emission an Stelle (1) statt. Diese Emission ist auf Emission in der bulk-AlGa<sub>N</sub>-Schicht zurückzuführen. Das untere Spektrum von Fig. 5B zeigt eine Emission an Stelle (1) statt, die auf Emission in der bulk-AlGa<sub>N</sub>-Schicht zurückzuführen ist. Zusätzlich findet Emission an Stelle (2) statt. Die Emission an Stelle (2) ist auf Emission von der Einfachquantentopfstruktur zurückzuführen. Dabei ist die Emissionswellenlänge kürzer als aufgrund der Abscheideparameter zu erwarten wäre. Das bedeutet, dass in der Einfachquantentopfstruktur zu wenig Gallium vorliegt.

Wieder zeigt das obere Spektrum von Fig. 5C eine Messung an optoelektronischen Halbleiterbauelementen 10, die einer Position gegenüber der Flachstelle („anti-flat“) des Wafers 104 entnommen sind. Hier tritt eine Emission an Stelle (1) auf, die auf Emission in der bulk-AlGa<sub>N</sub>-Schicht zurückzuführen ist. Zusätzlich tritt Emission an Stelle (2) auf, die auf Emission von der Einfachquantentopfstruktur zurückzuführen ist. Die Wellenlänge ist größer als die Emissionswellenlänge an Stelle (2) des unteren Spektrums von Fig. 5B, was zeigt, dass mehr Gallium in die Quantentopfstruktur eingebaut ist. Weiterhin zeigt das untere Spektrum von Fig. 5C eine deutlich längere Emissionswellenlänge von Emission (2), die im Bereich der

Emissionswellenlänge einer Mehrfachquantentopfstruktur liegt. Dies zeigt, dass die Einfachquantentopfstruktur homogener ausgebildet ist.

5 Insgesamt können somit aufgrund der Zwischenschicht 125 die Quantentöpfe in homogenerer Weise, d.h. bezogen auf einen Wafer 104, ausgebildet werden. Der Einbau von Gallium in die Quantentopfstruktur wird verbessert, wodurch eine Emission bei größerer Wellenlänge ermöglicht wird.

10

Fig. 6 fasst ein Verfahren gemäß Ausführungsformen zusammen. Ein Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements umfasst das Ausbilden (S100) einer ersten Halbleiterschicht 110 von einem ersten Leitfähigkeitstyp, wobei die erste Halbleiterschicht 110 die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  hat. Das Verfahren umfasst weiterhin das Ausbilden (S130) einer zweiten Halbleiterschicht 120 von einem zweiten Leitfähigkeitstyp sowie das Ausbilden (S120) einer aktiven Zone 115 zwischen der ersten Halbleiterschicht 110 und der zweiten Halbleiterschicht 120, wobei die aktive Zone 115 eine Quantentopfstruktur 114 aufweist. Das Verfahren umfasst weiterhin das Ausbilden (S110) einer Zwischenschicht 125 zwischen der ersten Halbleiterschicht 110 und der aktiven Zone 115, wobei die Zwischenschicht 125 ein Halbleitermaterial der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  umfasst, mit  $x \cdot 1,05 \leq y \leq 1$ .

25

Die Halbleiterschichten können beispielsweise durch ein MOVPE-Verfahren (metallorganische Gasphasenepitaxie, "metal organic vapor phase epitaxy"), andere geeignete Epitaxie-Verfahren oder ein MOCVD-Verfahren (metallorganische Abscheidung aus der Gasphase, "metal organic chemical vapor deposition") ausgebildet werden. Üblicherweise ist, um eine hochleitfähige n-AlGaN-Schicht mit einem Aluminiumgehalt zwischen 30 und 95 % aufzuwachsen, eine hohe Metall-Übersättigung während der Abschei-

30

dung erforderlich, um die Kompensation der Metall-Leerstellen-Komplexe zu reduzieren.

Generell ist die Aluminium-Übersättigung  $\sigma$  definiert als  
5  $(P/P_0)-1$ , wobei  $P$  den Partialdruck von Aluminium-Komponenten und  $P_0$  den Dampfdruck von Aluminium-Komponenten bei thermodynamischem Gleichgewicht bezeichnen. Auf ähnliche Weise ist eine Gallium-Übersättigung definiert. Bei Wachstum einer AlGaN-Schicht ist eine Metall-Übersättigung als Summe der Aluminium-  
10 und Galliumübersättigungen definiert.

Bei einer hohen Metallübersättigung wird ein spiral- oder schraubenförmiges Wachstum der jeweiligen Schichten gefördert, was letztendlich zu einer rauen Oberfläche führt.

15

Dadurch, dass die Zwischenschicht 125 nach Ausbilden der ersten Halbleiterschicht und vor Ausbilden der aktiven Zone ausgebildet wird, kann zum einen die Oberflächenrauigkeit reduziert werden. Dies wird dadurch erreicht, dass durch die Zwischen-  
20 schicht 125 Versetzungen, die durch das spiral- oder schraubenförmige Wachstum bedingt sind, eingeebnet werden. Als Folge kann ein wohldefinierter und damit scharfer Übergang zwischen der Zwischenschicht 125 und der aktiven Zone 115 erreicht werden. Dadurch wird das Profil der aktiven Zone, insbesondere das Profil der Quantentopfstruktur verbessert. Wei-  
25 terhin wird die Homogenität der Quantentopfstruktur verbessert. Als Ergebnis wird insgesamt eine bessere innere Quanteneffizienz und Effizienz der Ladungsträgerinjektion erzielt.

30 Beispielsweise wird die Zwischenschicht bei einer niedrigeren Metallübersättigung als die Metallübersättigung, die bei der Ausbildung der ersten Halbleiterschicht vorliegt, gewachsen. Eine niedrigere Metallübersättigung kann beispielsweise dadurch eingestellt werden, dass die Wachstumsrate verringert

wird, das Verhältnis der Bestandteile der fünften Gruppe im Vergleich zu den Bestandteilen der dritten Gruppe variiert wird oder, indem die Temperatur während des Wachstums erhöht wird. Beispielsweise kann das Verhältnis der Bestandteile der  
5 fünften Gruppe in Abhängigkeit von der Wachstumsatmosphäre variiert werden. Beispielsweise sollte die Metallübersättigung für das Wachstum der Zwischenschicht 125 mindestens 10 % geringer als für die erste Halbleiterschicht 110 sein. Eine niedrigere Metallübersättigung führt zu einer höheren Konzentration von Metall-Leerstellen. Diese enthalten mehr Ga-Leerstellen, da die Al-N-Bindung stärker ist als die Ga-N-Bindung. Daher ist ein höherer Aluminiumgehalt erforderlich, um die Ga-Leerstellen und die Ga-Leerstellen-Komplexe zu reduzieren.

15

Gemäß weiteren Ausführungsformen kann die Zwischenschicht 125 auch als eine Übergitterstruktur realisiert sein und eine Vielzahl von ersten und zweiten Teilschichten 126, 127 enthalten, wie unter Bezugnahme auf Fig. 2A beschrieben worden ist.  
20 Hier kann zum Abscheiden der Teilschichten 126, 127 eine durchschnittliche Übersättigung eingestellt werden, die geringer ist als die zum Abscheiden der ersten Halbleiterschicht 110. Dabei muss die Übersättigung bei Abscheidung der Teilschicht 126 oder 127 nicht notwendigerweise geringer sein als  
25 die Übersättigung bei Abscheidung der ersten Halbleiterschicht 110.

Gemäß weiteren Ausführungsformen kann ein Aluminiumgehalt der Zwischenschicht 125 variieren. Beispielsweise kann der Aluminiumgehalt von der ersten Halbleiterschicht bis zur aktiven  
30 Zone hin zunehmen. Weiterhin kann die Zwischenschicht 125 oder der Zwischenschichtstapel, der eine Vielzahl von ersten und zweiten Teilschicht 126, 127 aufweist, dotiert werden. Beispielsweise kann gleichzeitig die Zwischenschicht 125 dotiert

werden, beispielsweise bei einer Konzentration kleiner als  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , und der Aluminiumgehalt kann mit abnehmendem Abstand von der aktiven Zone zunehmen. Dadurch kann die Elektronenkonzentration über Polarisationsdotierung erhöht werden, wodurch  
5 die Ladungsträgerinjektion weiter verbessert wird.

Die experimentellen Ergebnisse bestätigen, dass durch Ausbilden der Zwischenschicht zwischen der ersten Halbleiterschicht und der aktiven Zone 115 die Lichtausgangsleistung erhöht werden kann. Die innere Quanteneffizienz kann durch Erhöhen der Dicke der Zwischenschicht 125 erhöht werden. Weiterhin wird die nichtstrahlende Ladungsträgerrekombination innerhalb der Quantentopfstruktur verringert. Insgesamt führt die Anwesenheit der Zwischenschicht 125 zu einer besseren Qualität der  
10 Quantentopfstruktur 114. Darüber hinaus kann aufgrund der größeren Homogenität der Quantentopfstruktur 114 die Ladungsträgerinjektionseffizienz erhöht werden. Als Ergebnis wird insgesamt eine verbesserte externe Quanteneffizienz erreicht.

Fig. 7 zeigt eine optoelektronische Vorrichtung gemäß Ausführungsformen. Die optoelektronische Vorrichtung 15 umfasst das hier beschriebene optoelektronische Halbleiterbauelement 10. Beispielsweise kann die optoelektronische Vorrichtung 15 eine Vorrichtung zum Desinfizieren unter Verwendung von UV-Strahlung sein. Beispielsweise kann die optoelektronische Vorrichtung 15 verwendet werden, um Wasser oder Luft zu desinfizieren. Darüber hinaus kann die optoelektronische Vorrichtung 15 als UV-Messeinrichtung oder als Aushärtevorrichtung für Polymere verwendet werden.  
25

Obwohl hierin spezifische Ausführungsformen veranschaulicht und beschrieben worden sind, werden Fachleute erkennen, dass die gezeigten und beschriebenen spezifischen Ausführungsformen durch eine Vielzahl von alternativen und/oder äquivalenten  
30

Ausgestaltungen ersetzt werden können, ohne vom Schutzbereich der Erfindung abzuweichen. Die Anmeldung soll jegliche Anpassungen oder Variationen der hierin diskutierten spezifischen Ausführungsformen abdecken. Daher wird die Erfindung nur durch  
5 die Ansprüche und deren Äquivalente beschränkt.

## BEZUGSZEICHENLISTE

|    |     |                                         |
|----|-----|-----------------------------------------|
|    | 10  | optoelektronisches Halbleiterbauelement |
|    | 15  | optoelektronische Vorrichtung           |
| 5  | 20  | elektromagnetische Strahlung            |
|    | 100 | Substrat                                |
|    | 101 | Hauptoberfläche des Substrats           |
|    | 102 | Seitenfläche des Substrats              |
|    | 104 | Wafer                                   |
| 10 | 105 | AlN-Schicht                             |
|    | 110 | erste Halbleiterschicht                 |
|    | 113 | Quantentopfschicht                      |
|    | 114 | Quantentopfstruktur                     |
|    | 115 | aktive Zone                             |
| 15 | 116 | Barrierenschicht                        |
|    | 117 | Elektronen-Blockierschicht              |
|    | 120 | zweite Halbleiterschicht                |
|    | 122 | Deckschicht                             |
|    | 123 | Kontaktschicht                          |
| 20 | 125 | Zwischenschicht                         |
|    | 126 | erste Teilschicht                       |
|    | 127 | zweite Teilschicht                      |
|    | 130 | erstes Kontaktelement                   |
|    | 135 | zweites Kontaktelement                  |
| 25 |     |                                         |

## PATENTANSPRÜCHE

1. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10), umfassend:
- 5 eine erste Halbleiterschicht (110) von einem n-Leitfähigkeitstyp, wobei die erste Halbleiterschicht (110) die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  hat;
- eine zweite Halbleiterschicht (120) von einem p-Leitfähigkeitstyp;
- 10 eine aktive Zone (115) zwischen der ersten Halbleiterschicht (110) und der zweiten Halbleiterschicht (120), wobei die aktive Zone (115) eine Quantentopfstruktur (114) aufweist, sowie
- eine Zwischenschicht (125) zwischen der ersten Hal-
- 15 leiterschicht (110) und der aktiven Zone (115), wobei die Zwischenschicht (125) ein Halbleitermaterial der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  umfasst, mit  $x \cdot 1,05 \leq y \leq 1$ , und wobei die Zwischenschicht (125) direkt an die aktive Zone (115) angrenzt.
- 20 2. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach Anspruch 1, bei dem die Zwischenschicht (125) eine Schichtdicke größer als 2 nm hat.
3. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Zwischenschicht (125) eine
- 25 Schichtdicke größer als 8 nm hat.
4. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach Anspruch 3, bei dem die Zwischenschicht (125) eine Schichtdicke
- 30 größer als 40 nm hat.
5. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Zwischenschicht (125) eine Schichtdicke kleiner als 100 nm hat.

6. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Zwischenschicht (125) undotiert ist.

5

7. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Zwischenschicht (125) vom n-Leitfähigkeitstyp ist.

10 8. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Zwischenschicht (125) einen Schichtstapel mit abwechselnd übereinander gestapelten ersten Teilschichten (126) der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) mit einer Schichtdicke  $d'$ , und zweiten Teilschichten (127) der Zusammensetzung  $\text{Al}_{y''}\text{Ga}_{1-y''}\text{N}$  ( $0 \leq y'' \leq y'$ ) mit einer Schichtdicke  $d''$  aufweist, wobei  $x \cdot 1,05 \leq y_{\text{avg}} \leq 1$  und  $y_{\text{avg}} = (y' \cdot d' + y'' \cdot d'') / (d' + d'')$ .

15

9. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach Anspruch 8, bei dem die Schichtdicken der ersten und zweiten Teilschichten (126, 127) jeweils größer als 1 nm und kleiner als 10 nm sind.

20

10. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (10) nach Anspruch 8 oder 9, bei dem die Schichtdicke der Zwischenschicht kleiner als 100 nm ist.

25

11. Optoelektronisches Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erste Halbleiterschicht (110) die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  hat mit  $0,3 \leq x \leq 0,95$ .

30

12. Optoelektronisches Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Aluminiumgehalt der Zwi-

schenschicht (125) mit zunehmendem Abstand von der aktiven Zone abnimmt.

13. Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements (10) umfassend:

Ausbilden (S100) einer ersten Halbleiterschicht (110) von einem n-Leitfähigkeitstyp, wobei die erste Halbleiterschicht (110) die Zusammensetzung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  hat;

10      Ausbilden (S130) einer zweiten Halbleiterschicht (120) von einem p-Leitfähigkeitstyp;

Ausbilden (S120) einer aktiven Zone (115) zwischen der ersten Halbleiterschicht (110) und der zweiten Halbleiterschicht (120), wobei die aktive Zone (115) eine Quantentopfstruktur (114) aufweist, sowie

15      Ausbilden (S110) einer Zwischenschicht (125) zwischen der ersten Halbleiterschicht (110) und der aktiven Zone (115), wobei die Zwischenschicht (125) ein Halbleitermaterial der Zusammensetzung  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  umfasst, mit  $x \cdot 1,05 \leq y \leq 1$ , und wobei die Zwischenschicht (125) direkt an die aktive Zone (115) angrenzt.

20

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die Ausbildung der ersten Halbleiterschicht (110) aus einem metallübersättigten Gasgemisch erfolgt.

25

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Ausbildung der Zwischenschicht (125) aus einem metallübersättigten Gasgemisch erfolgt und ein Grad der Metallübersättigung für die Abscheidung der Zwischenschicht (125) niedriger ist als für die erste Halbleiterschicht (110).

30

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem ein Grad der Metallübersättigung für die Abscheidung der Zwischenschicht (125)

mindestens 10% geringer als für die erste Halbleiterschicht (110) ist.

17. Optoelektronische Vorrichtung (15), welche das opto-  
5 elektronische Halbleiterbauelement (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 aufweist.

18. Optoelektronische Vorrichtung (15) nach Anspruch 17,  
die ausgewählt ist aus einem UV-Desinfektionsgerät, einem UV-  
10 Härtungsvorrichtung oder einer UV-Messeinrichtung.

Fig. 1

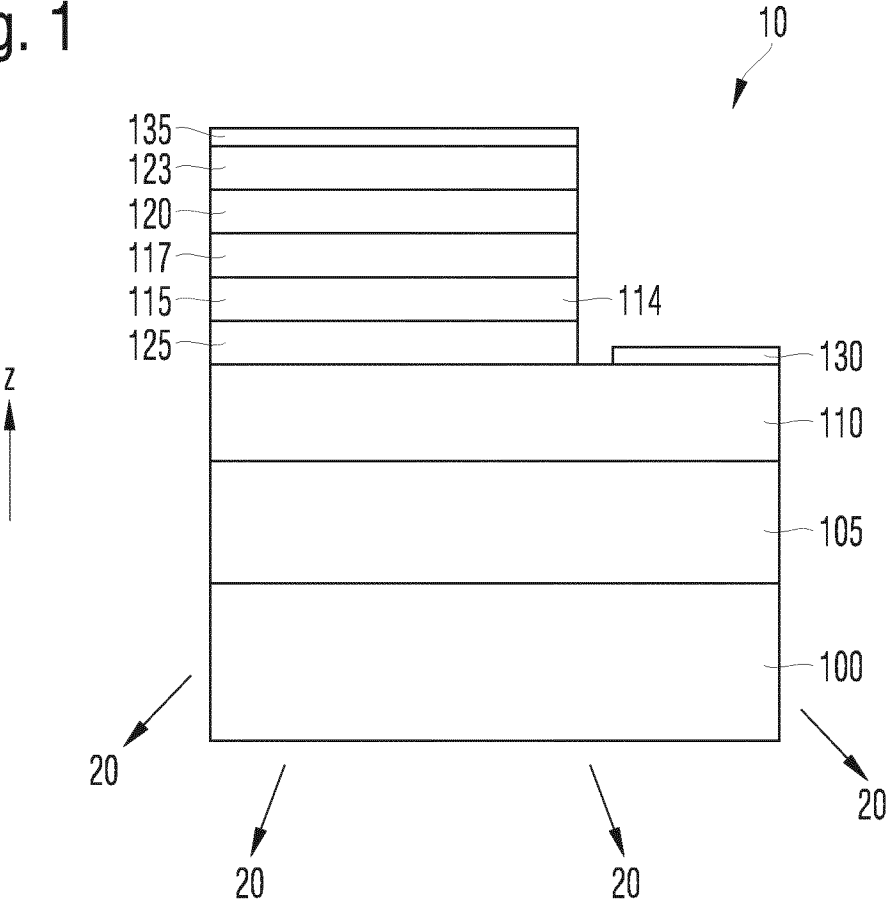


Fig. 2A

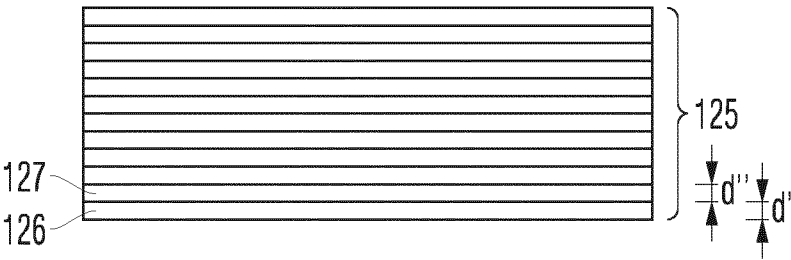


Fig. 2B

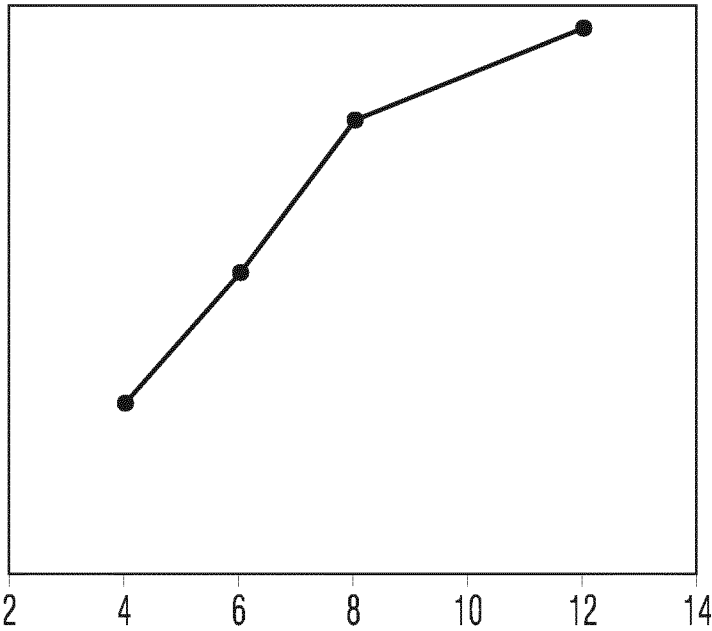


Fig. 3A

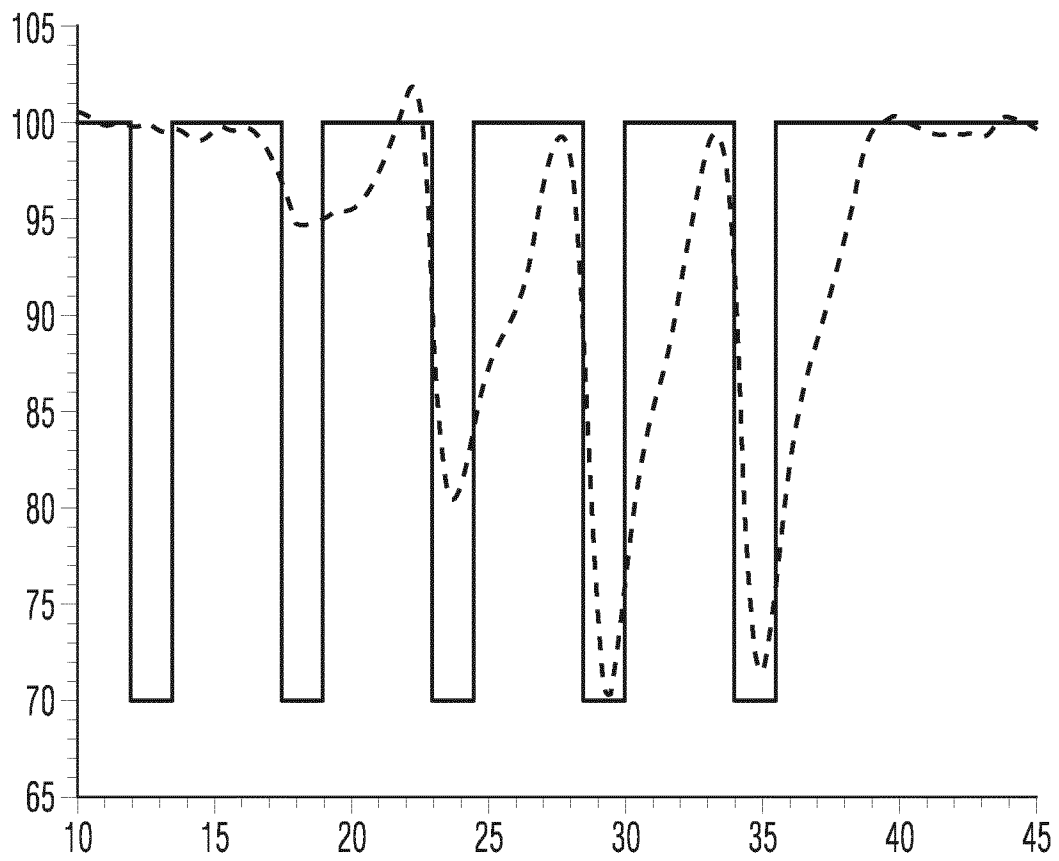


Fig. 3B

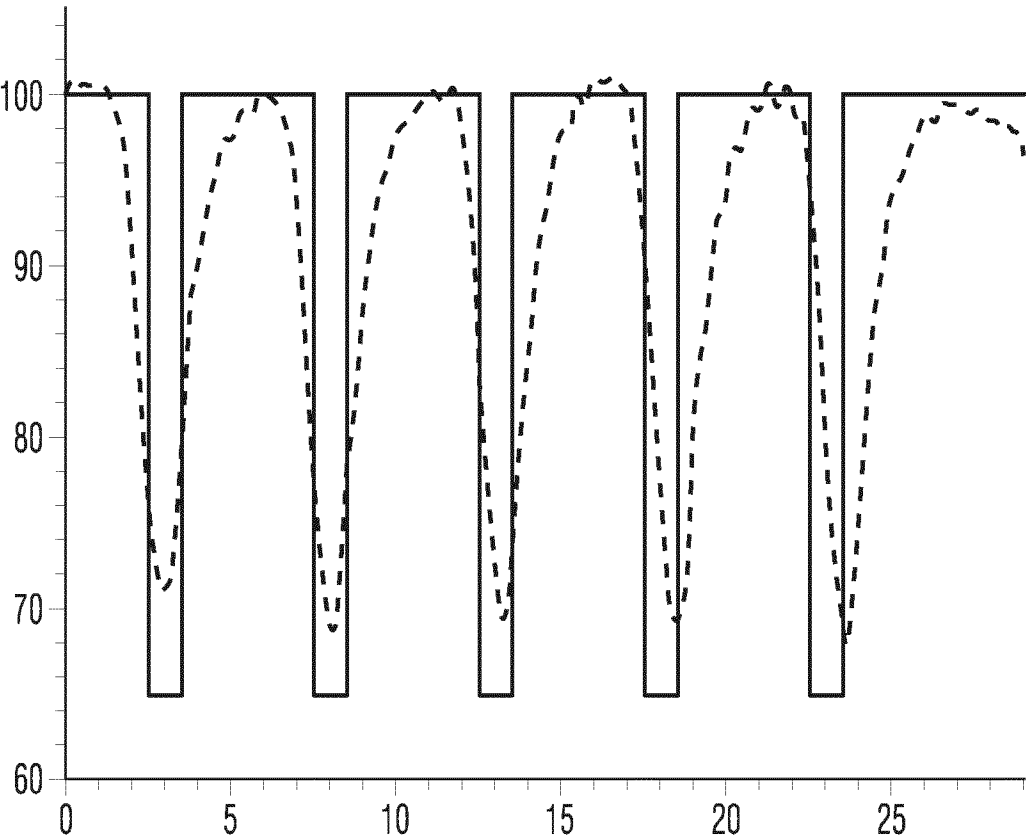


Fig. 4A

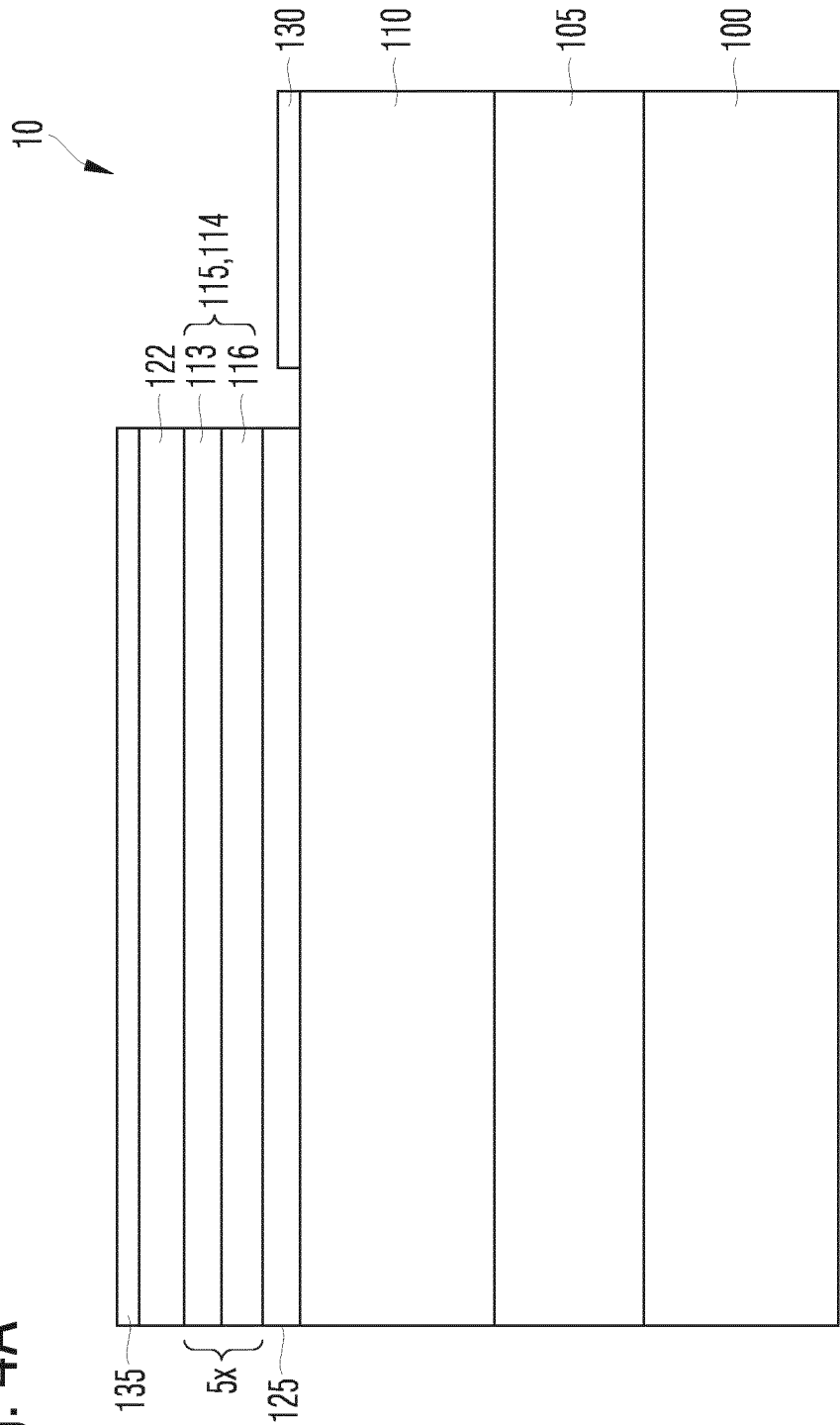


Fig. 4B

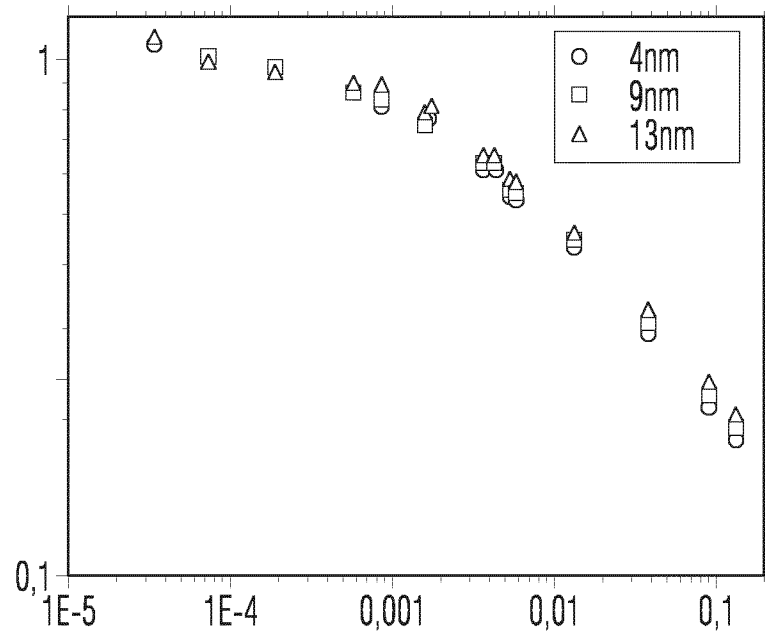


Fig. 4C

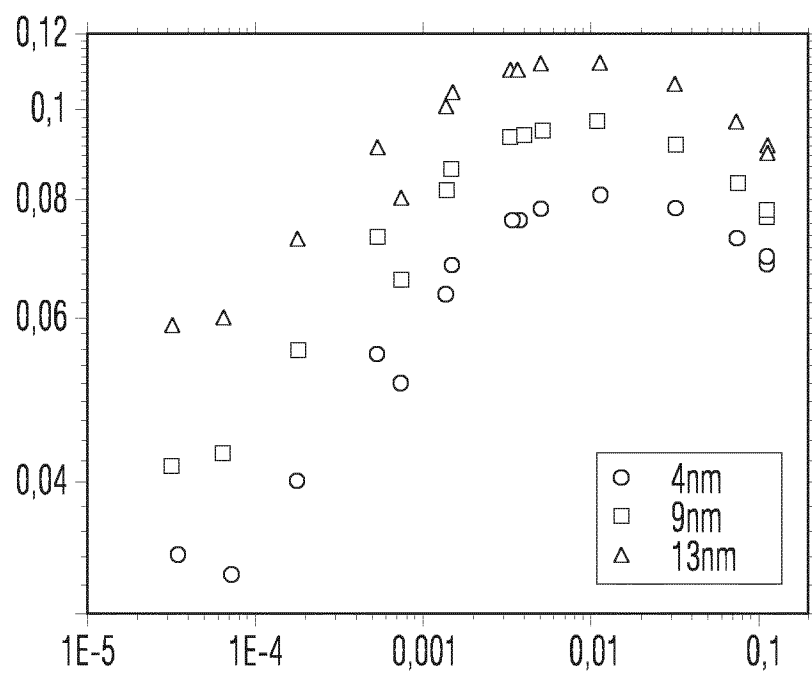


Fig. 5A

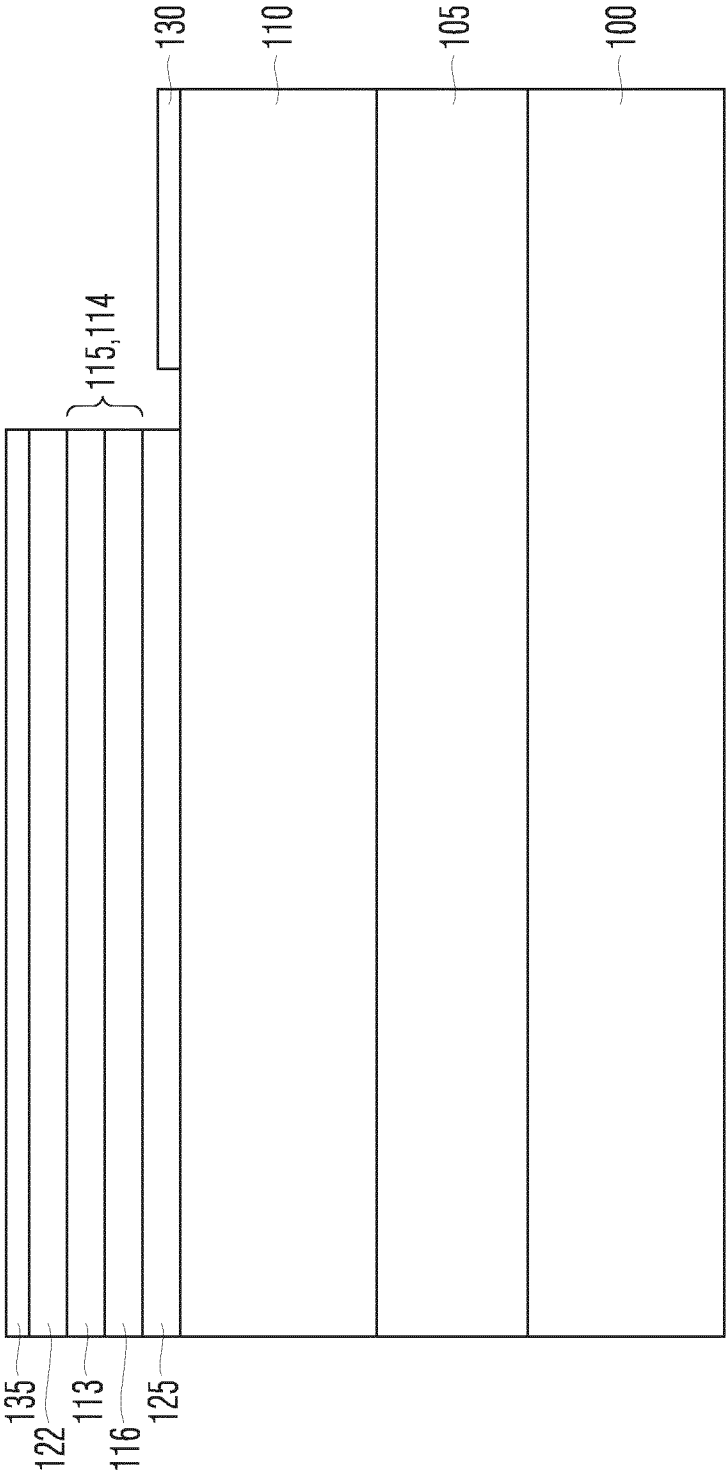


Fig. 5B

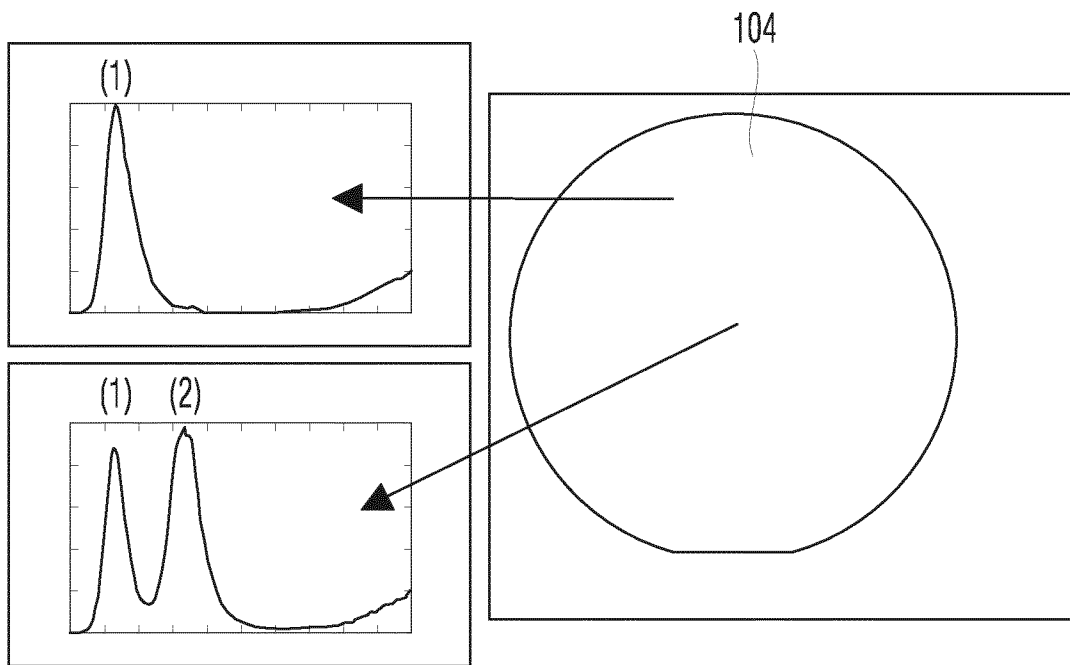


Fig. 5C

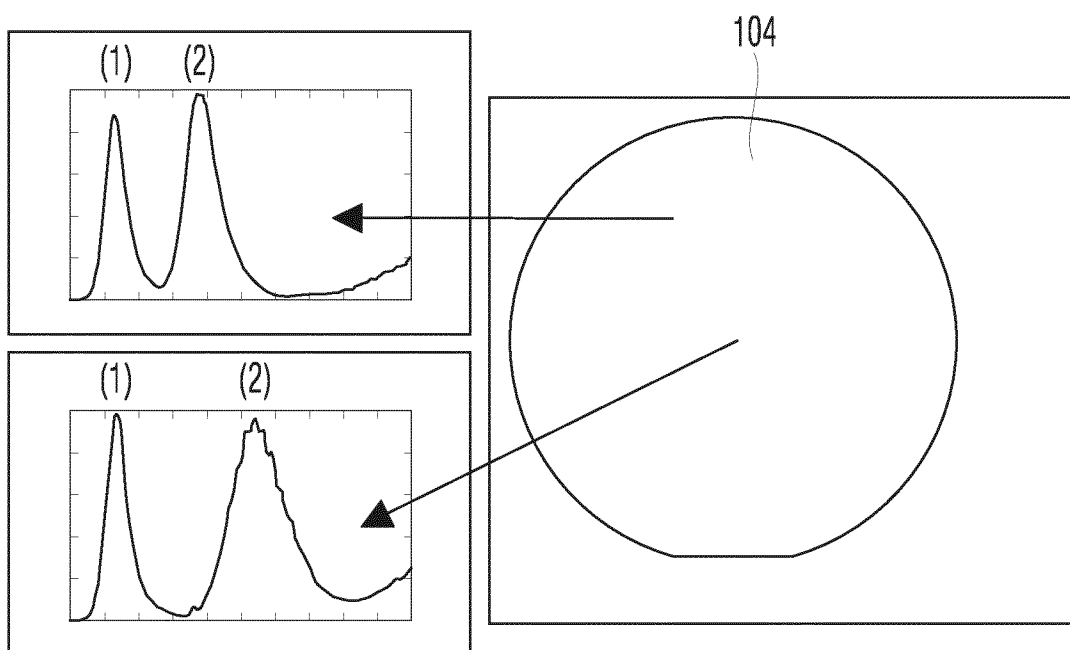


Fig. 6

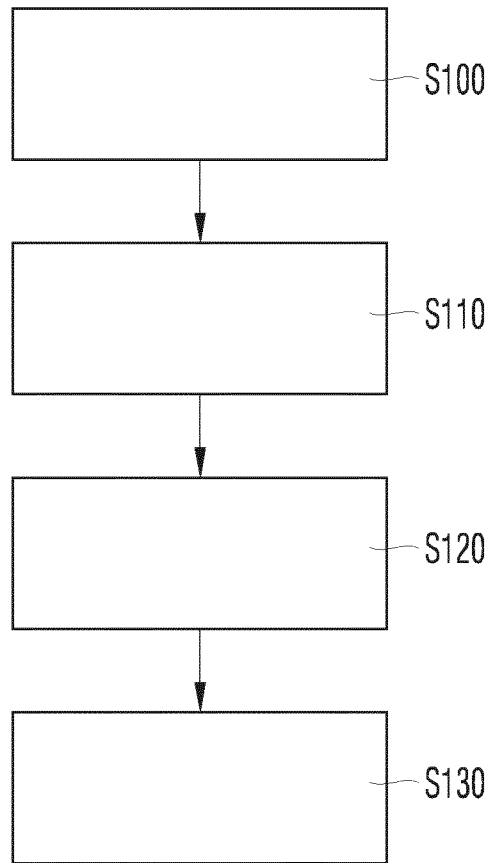
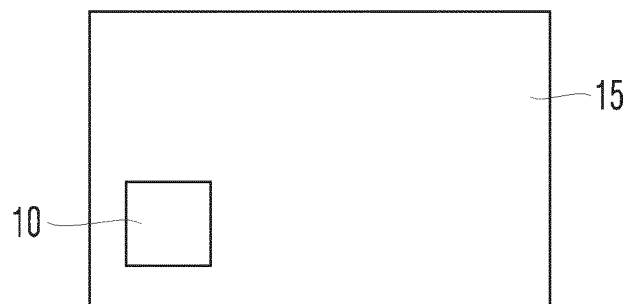


Fig. 7



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/085859

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H01L 33/12**(2010.01)i; **H01L 21/02**(2006.01)i; **H01L 33/14**(2010.01)n

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | SHIH YA-HSUAN ET AL. "Design of Hole-Blocking and Electron-Blocking Layers in AlxGa1-xN-Based UV Light-Emitting Diodes"<br><i>IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, IEEE SERVICE CENTER, PISACATAWAY, NJ, US</i> , Vol. 63, No. 3, 03 March 2016 (2016-03-03), pages 1141-1147, [retrieved on 2016-02-24]<br>DOI: 10.1109/TED.2016.2520998<br>ISSN: 0018-9383, XP011600250 | 1-5,7-13,17,18        |
| A         | page 1144, column 2, line 28 - page 1145, column 2, line 24; figure 7; table 1                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 6,14-16               |
| X         | US 2014138617 A1 (LAI YEN-LIN [TW] ET AL) 22 May 2014 (2014-05-22)<br>paragraphs [0022] - [0026]; figures 1, 2                                                                                                                                                                                                                                                              | 1,13                  |
| A         | CN 107546305 A (LATTICEPOWER JIANGXI CORP) 05 January 2018 (2018-01-05)<br>example 2                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 6                     |
| A         | EP 2270879 A1 (PANASONIC ELEC WORKS CO LTD [JP]; RIKEN [JP]) 05 January 2011 (2011-01-05)<br>paragraphs [0056], [0057]                                                                                                                                                                                                                                                      | 1,13                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 March 2020

Date of mailing of the international search report

25 March 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office  
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk  
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Müller-Kirsch, Lutz

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/085859**

| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                       |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category*                                     | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Relevant to claim No. |
| A                                             | CHIARIA S ET AL. "Design Criteria for Near-Ultraviolet GaN-Based Light-Emitting Diodes"<br><i>IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, IEEE SERVICE CENTER, PISACATAWAY, NJ, US</i> , Vol. 57, No. 1, 01 January 2010 (2010-01-01), pages 60-70<br>DOI: 10.1109/TED.2009.2034792<br>ISSN: 0018-9383, XP011285815<br>page 65, column 1, line 25 - column 2, line 2; figure 11 | 6                     |
| A                                             | US 2017084779 A1 (MOE CRAIG [US] ET AL) 23 March 2017 (2017-03-23)<br>paragraph [0038]; figure 2                                                                                                                                                                                                                                                                           | 12                    |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/085859**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |             |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|-------------|----|--------------------------------------|
| US                                        | 2014138617 | A1 | 22 May 2014                          | TW                      | 201421733   | A  | 01 June 2014                         |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2014138617  | A1 | 22 May 2014                          |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2015270433  | A1 | 24 September 2015                    |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2017256673  | A1 | 07 September 2017                    |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2018269349  | A1 | 20 September 2018                    |
| CN                                        | 107546305  | A  | 05 January 2018                      | NONE                    |             |    |                                      |
| EP                                        | 2270879    | A1 | 05 January 2011                      | CN                      | 101981711   | A  | 23 February 2011                     |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 2270879     | A1 | 05 January 2011                      |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 5279006     | B2 | 04 September 2013                    |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2009260203  | A  | 05 November 2009                     |
|                                           |            |    |                                      | KR                      | 20100122516 | A  | 22 November 2010                     |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2011042713  | A1 | 24 February 2011                     |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2009119498  | A1 | 01 October 2009                      |
|                                           |            |    |                                      |                         |             |    |                                      |
| US                                        | 2017084779 | A1 | 23 March 2017                        | CN                      | 108140695   | A  | 08 June 2018                         |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 3350844     | A1 | 25 July 2018                         |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2018532265  | A  | 01 November 2018                     |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2017084779  | A1 | 23 March 2017                        |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2017084780  | A1 | 23 March 2017                        |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2017309781  | A1 | 26 October 2017                      |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2017309782  | A1 | 26 October 2017                      |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2019214527  | A1 | 11 July 2019                         |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2017049053  | A1 | 23 March 2017                        |

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. H01L33/12 H01L21/02  
 ADD. H01L33/14

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

#### C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                                               | Betr. Anspruch Nr.     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| X          | SHIH YA-HSUAN ET AL: "Design of Hole-Blocking and Electron-Blocking Layers in AlxGa1-xN-Based UV Light-Emitting Diodes",<br>IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, IEEE SERVICE CENTER, PISACATAWAY, NJ, US, Bd. 63, Nr. 3, 3. März 2016 (2016-03-03), Seiten 1141-1147, XP011600250, ISSN: 0018-9383, DOI: 10.1109/TED.2016.2520998<br>[gefunden am 2016-02-24] | 1-5,<br>7-13,17,<br>18 |
| A          | Seite 1144, Spalte 2, Zeile 28 - Seite 1145, Spalte 2, Zeile 24; Abbildung 7; Tabelle 1                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6,14-16                |
| X          | US 2014/138617 A1 (LAI YEN-LIN [TW] ET AL)<br>22. Mai 2014 (2014-05-22)<br>Absätze [0022] - [0026]; Abbildungen 1, 2<br>-----<br>-/-                                                                                                                                                                                                                             | 1,13                   |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. März 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25/03/2020

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                                                     | CN 107 546 305 A (LATTICEPOWER JIANGXI CORP) 5. Januar 2018 (2018-01-05)<br>Beispiel 2<br>-----                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 6                  |
| A                                                     | EP 2 270 879 A1 (PANASONIC ELEC WORKS CO LTD [JP]; RIKEN [JP])<br>5. Januar 2011 (2011-01-05)<br>Absätze [0056], [0057]<br>-----                                                                                                                                                                                                                                                                | 1,13               |
| A                                                     | CHIARIA S ET AL: "Design Criteria for Near-Ultraviolet GaN-Based Light-Emitting Diodes",<br>IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES,<br>IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US,<br>Bd. 57, Nr. 1, 1. Januar 2010 (2010-01-01)<br>, Seiten 60-70, XP011285815,<br>ISSN: 0018-9383, DOI:<br>10.1109/TED.2009.2034792<br>Seite 65, Spalte 1, Zeile 25 - Spalte 2,<br>Zeile 2; Abbildung 11<br>----- | 6                  |
| A                                                     | US 2017/084779 A1 (MOE CRAIG [US] ET AL)<br>23. März 2017 (2017-03-23)<br>Absatz [0038]; Abbildung 2<br>-----                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 12                 |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/085859

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung |       | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |  | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|----|-------------------------------|-------|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| US 2014138617                                      | A1 | 22-05-2014                    | TW    | 201421733 A                       |  | 01-06-2014                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2014138617 A1                     |  | 22-05-2014                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2015270433 A1                     |  | 24-09-2015                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2017256673 A1                     |  | 07-09-2017                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2018269349 A1                     |  | 20-09-2018                    |
| -----                                              |    |                               |       |                                   |  |                               |
| CN 107546305                                       | A  | 05-01-2018                    | KEINE |                                   |  |                               |
| -----                                              |    |                               |       |                                   |  |                               |
| EP 2270879                                         | A1 | 05-01-2011                    | CN    | 101981711 A                       |  | 23-02-2011                    |
|                                                    |    |                               | EP    | 2270879 A1                        |  | 05-01-2011                    |
|                                                    |    |                               | JP    | 5279006 B2                        |  | 04-09-2013                    |
|                                                    |    |                               | JP    | 2009260203 A                      |  | 05-11-2009                    |
|                                                    |    |                               | KR    | 20100122516 A                     |  | 22-11-2010                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2011042713 A1                     |  | 24-02-2011                    |
|                                                    |    |                               | WO    | 2009119498 A1                     |  | 01-10-2009                    |
| -----                                              |    |                               |       |                                   |  |                               |
| US 2017084779                                      | A1 | 23-03-2017                    | CN    | 108140695 A                       |  | 08-06-2018                    |
|                                                    |    |                               | EP    | 3350844 A1                        |  | 25-07-2018                    |
|                                                    |    |                               | JP    | 2018532265 A                      |  | 01-11-2018                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2017084779 A1                     |  | 23-03-2017                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2017084780 A1                     |  | 23-03-2017                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2017309781 A1                     |  | 26-10-2017                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2017309782 A1                     |  | 26-10-2017                    |
|                                                    |    |                               | US    | 2019214527 A1                     |  | 11-07-2019                    |
|                                                    |    |                               | WO    | 2017049053 A1                     |  | 23-03-2017                    |
| -----                                              |    |                               |       |                                   |  |                               |