

(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
09. Januar 2020 (09.01.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/007920 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L 27/15 (2006.01) H01L 33/18 (2010.01)
H01L 33/00 (2010.01) H01L 33/24 (2010.01)
H01L 33/08 (2010.01) H01L 33/12 (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/067863

(22) Internationales Anmeldedatum:
03. Juli 2019 (03.07.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 116 224.3
04. Juli 2018 (04.07.2018) DE

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

(72) Erfinder: **TONKIKH, Alexander**; Unterlindhofstr. 16,
93173 Wenzelbach (DE). **AVRAMESCU, Adrian Ste-
fan**; Friedrich-Ebert-Str. 11 b, 93051 Regensburg (DE).
BEHRINGER, Martin Rudolf; Utastr. 1, 93049 Regens-
burg (DE).

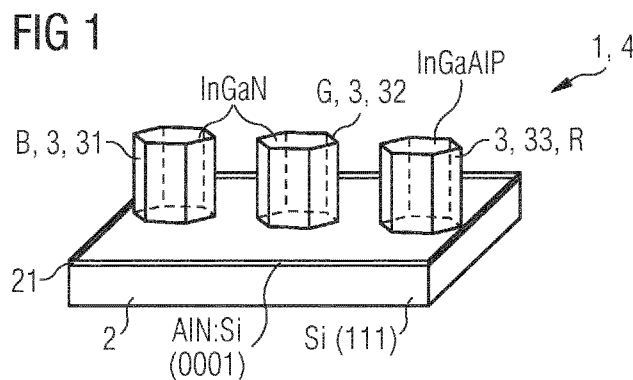
(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTAN-
WALTSGESELLSCHAFT MBH**; Schloßschmidstr. 5,
80639 München (DE).

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

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

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING OPTOELECTRONIC SEMICONDUCTOR COMPONENTS, AND OPTOELECTRONIC
SEMICONDUCTOR COMPONENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON OPTOELEKTRONISCHEN HALBLEITERBAUTEILEN UND
OPTOELEKTRONISCHES HALBLEITERBAUTEIL



(57) Abstract: In one embodiment, the method is configured for producing optoelectronic semiconductor components and comprising the steps of: A) providing a growth substrate (2), and B) growing a plurality of light-emitting semiconductor columns (3) on the growth substrate (2), wherein an average diameter of the semiconductor columns (3) is max. 1µm, a first group (31) and/or a second group (32) of the semiconductor columns (3) on the growth substrate (2) is grown from a III-nitride material, and a third group (33) of the semiconductor columns (3) on the growth substrate (2) is grown from or with a III-phosphide material.

(57) Zusammenfassung: In einer Ausführungsform ist das Verfahren zur Herstellung von optoelektronischen Halbleiterbauteilen ein-
gerichtet und umfasst die Schritte: A) Bereitstellen eines Aufwachssubstrats (2), und B) Wachsen einer Vielzahl von lichtemittieren-
den Halbleitersäulen (3) an dem Aufwachssubstrat (2), wobei - ein mittlerer Durchmesser der Halbleitersäulen (3) bei höchstens 1µm
liegt, - eine erste Gruppe (31) und/oder eine zweite Gruppe (32) der Halbleitersäulen (3) an dem Aufwachssubstrat (2) aus einem III-
Nitrid-Material gewachsen wird, und - eine dritte Gruppe (33) der Halbleitersäulen (3) an dem Aufwachssubstrat (2) aus oder mit einem
III-Phosphid-Material gewachsen wird.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2020/007920 A1

Veröffentlicht:

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

Beschreibung

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON OPTOELEKTRONISCHEN
HALBLEITERBAUTEILEN UND OPTOELEKTRONISCHES HALBLEITERBAUTEIL

5

Es wird ein Verfahren zur Herstellung von optoelektronischen Halbleiterbauteilen angegeben. Darüber hinaus wird ein optoelektronisches Halbleiterbauteil angegeben.

- 10 Eine zu lösende Aufgabe liegt darin, ein Verfahren anzugeben, mit dem effizient rot, grün und blau emittierende Halbleiterbauteile herstellbar sind.

- 15 Diese Aufgabe wird unter anderem durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der übrigen Ansprüche.

- Bei den hier beschriebenen Verfahren werden Halbleitersäulen aus AlInGa_N und AlInGa_P auf demselben Aufwachssubstrat
20 gewachsen. Dies wird insbesondere dadurch ermöglicht, dass die Halbleitersäulen kleine Durchmesser aufweisen, sodass sich Unterschiede in kristallografischen Gitterparametern nicht oder nicht stark auswirken.

- 25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform dient das Verfahren zur Herstellung von optoelektronischen Halbleiterbauteilen. Bei dem fertigen Halbleiterbauteil handelt es sich bevorzugt um eine Leuchtdiode, kurz LED. Das im Betrieb des Halbleiterbauteils abgestrahlte Licht ist insbesondere
30 inkohärentes sichtbares Licht. Das Halbleiterbauteil ist dann kein Halbleiterlaser.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst das Verfahren den Schritt des Bereitstellens eines Aufwachssubstrats. Das Aufwachssubstrat ist beispielsweise aus GaN, Saphir oder Silizium.

5

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst das Verfahren den Schritt des Wachsens einer Vielzahl von lichtemittierenden Halbleitersäulen an dem Aufwachssubstrat. Die Halbleitersäulen werden bevorzugt epitaktisch gewachsen.

10

Die Halbleitersäulen basieren bevorzugt je auf einem III-V-Verbindungshalbleitermaterial. Bei dem Halbleitermaterial handelt es sich zum Beispiel um ein Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial wie $\text{Al}_n\text{In}_{1-n-m}\text{Ga}_m\text{N}$ oder um ein

15 Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial wie

$\text{Al}_n\text{In}_{1-n-m}\text{Ga}_m\text{P}$. Bevorzugt gilt dabei für zumindest eine Schicht oder für alle Schichten der Halbleiterschichtenfolge $0 < n \leq 0,7$, $0,0 \leq m < 0,7$ und $0,3 \leq n + m \leq 0,7$. Ferner kann es sich auch um ein Arsenid-Verbindungshalbleitermaterial wie

20 $\text{Al}_n\text{In}_{1-n-m}\text{Ga}_m\text{As}$ oder wie $\text{Al}_n\text{Ga}_m\text{In}_{1-n-m}\text{As}_k\text{P}_{1-k}$ handeln, wobei

jeweils $0 \leq n \leq 1$, $0 \leq m \leq 1$ und $n + m \leq 1$ sowie $0 \leq k < 1$ ist. Bevorzugt gilt dabei für zumindest eine Schicht oder für alle Schichten der Halbleiterschichtenfolge $0 < n \leq 0,7$,

$0 \leq m < 0,7$ und $0,3 \leq n + m \leq 0,7$ sowie $0 < k \leq 0,5$. Dabei

25 kann die Halbleiterschichtenfolge Dotierstoffe sowie

zusätzliche Bestandteile aufweisen. Der Einfachheit halber sind jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des

Kristallgitters der Halbleiterschichtenfolge, also Al, As, Ga, In, N oder P, angegeben, auch wenn diese teilweise durch

30 geringe Mengen weiterer Stoffe ersetzt und/oder ergänzt sein

können. Vereinfachend werden diese Halbleitermaterialien

nachfolgend lediglich ohne Indices verkürzt etwa als AlInGaN, InGaN oder AlInGaP bezeichnet.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform liegt ein mittlerer Durchmesser der Halbleitersäulen bei höchstens 1 μm oder 0,5 μm oder 0,2 μm . gleiches kann für einen maximalen
5 Durchmesser der Halbleitersäulen gelten.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform werden eine erste Gruppe und/oder eine zweite Gruppe der Halbleitersäulen an dem Aufwachssubstrat gewachsen, wobei diese Halbleitersäulen
10 aus einem III-Nitrid-Material gewachsen werden. Insbesondere werden die Halbleitersäulen aus InGaN erzeugt, also ohne Aluminium.

Dabei weisen bevorzugt alle Halbleitersäulen der ersten
15 Gruppe im Rahmen der Herstellungstoleranzen die gleiche Materialzusammensetzung auf. Ebenso weisen bevorzugt alle Halbleitersäulen der zweiten Gruppe im Rahmen der Herstellungstoleranzen die gleiche Materialzusammensetzung auf. Beispielsweise sind die Halbleitersäulen der ersten
20 Gruppe zur Erzeugung von blauem Licht und die Halbleitersäulen der zweiten Gruppe zur Erzeugung von grünem Licht eingerichtet. Damit können beide Gruppen von Halbleitersäulen auf dem Materialsystem InGaN basieren, unterscheiden sich jedoch in ihrem Indiumgehalt, um die
25 gewünschte Emissionswellenlänge zu erreichen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird an dem Aufwachssubstrat eine dritte Gruppe der Halbleitersäulen aus oder mit einem III-Phosphid-Material gewachsen. Insbesondere
30 sind die Halbleitersäulen der dritten Gruppe aus AlInGaP und zur Erzeugung von rotem Licht eingerichtet.

In mindestens einer Ausführungsform ist das Verfahren zur Herstellung von optoelektronischen Halbleiterbauteilen eingerichtet und umfasst die folgenden Schritte in der angegebenen Reihenfolge:

- 5 A) Bereitstellen eines Aufwachssubstrats, und
- B) Wachsen einer Vielzahl von lichtemittierenden Halbleitersäulen an dem Aufwachssubstrat, wobei ein mittlerer Durchmesser der Halbleitersäulen bei höchstens 1 μm liegt, eine erste Gruppe und/oder eine zweite Gruppe der
- 10 Halbleitersäulen an dem Aufwachssubstrat aus einem III-Nitrid-Material gewachsen wird, und eine dritte Gruppe der Halbleitersäulen an dem Aufwachssubstrat aus oder mit einem III-Phosphid-Material gewachsen wird.
- 15 Eine Möglichkeit, rot, grün und blau (gleich RGB) emittierende Leuchtdioden herzustellen liegt darin, Halbleitermaterialien aus verschiedenen Materialklassen zu verwenden. Halbleitermaterialien aus unterschiedlichen Materialklassen können jedoch nicht wie herkömmlich flächig
- 20 zusammen auf dem gleichen Substrat aufgewachsen werden. Unterschiede in Gitterparametern und in einer kristallografischen Gitterstruktur resultieren bei einem flächigen Wachsen in strukturellen Defekten und verhindern eine Integration verschiedener Halbleitermaterialien auf dem
- 25 gleichen Aufwachssubstrat.

Bei den hier beschriebenen Verfahren werden die Auswirkungen struktureller Defekte dadurch eliminiert, dass sequentiell die Halbleitersäulen mit Sub-Mikrometer-Durchmessern aus

30 InGaN und InGaAlP gewachsen werden. Aufgrund der geringen lateralen Abmessungen der Halbleitersäulen wirken sich die Unterschiede in den Gitterparametern nicht oder nicht

signifikant aus. Damit können RGB-Emitter auf dem gleichen Substrat gewachsen werden.

Herkömmliche RGB-Emitter werden dagegen dadurch erzeugt, dass separat voneinander hergestellte rot, grün und blau emittierende Halbleiterchips an einem Träger zusammengestellt werden. Die Herausforderungen an einen solchen Ansatz erhöhen sich drastisch mit der Reduzierung der Größe der einzelnen LED-Chips.

Weiterhin werden rot emittierende LED-Chips auf Basis von InGaAlP in der Regel epitaktisch auf GaAs-Wafern gewachsen. Grün und blau emittierende LED-Chips werden dagegen aus InGaN hergestellt und insbesondere auf Saphirwafern oder Siliziumwafern gewachsen. Die Verwendung unterschiedlicher Aufwachssubstrate bedeutet Probleme zum Beispiel hinsichtlich der Kristallgitter und unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten. Die Nutzung alternativer Substrate mit Gitterparametern zwischen denen von GaN und GaAs, wie Siliziumsubstrate, ist nicht von vorne herein einfach, da eine Gitterfehlpassung zwischen rot emittierendem InGaAlP und Silizium, die ungefähr 4 % beträgt, in einer schlechten optischen Qualität planarer InGaAlP-Epitaxieschichten resultiert. Daher wurden LEDs, die sowohl flächige InGaN-Schichten als auch flächige InGaAlP-Schichten umfassen und die epitaktisch auf dem gleichen Substrat gewachsen wurden, bislang noch nicht erzielt.

Bei den hier beschriebenen Verfahren werden die lateralen Größen sowohl der InGaN-Schichten als auch der InGaAlP-Schichten für die Epitaxie auf höchstens 1 μm eingeschränkt, sodass Halbleitersäulen resultieren. Die rot, grün und blau emittierenden Epitaxieschichten werden dementsprechend auf

dem gleichen Wafer gewachsen, indem eine selektive Epitaxie auf einem demgemäß strukturierten Saphirsubstrat oder Silikonsubstrat angewandt wird.

- 5 Durch die Limitierung der lateralen Größe der Epitaxieschichten werden Versetzungslinien und Gitterfehlstellen aufgrund der Unterschiede der Kristallstrukturen und der Gitterparameter an Seitenwänden der Epitaxieschichten fixiert. Hierdurch wird ein innerhalb
10 der Halbleitersäulen nahezu defektfreies epitaktisches Wachstum ermöglicht, sodass sich eine hohe Kristallqualität und eine hohe optische Qualität der lichtemittierenden Epitaxieschichten erreichen lässt.
- 15 Außerdem wird durch eine geeignete Wahl der Oberflächenorientierung des Substrats das Wachstum von sowohl III-Phosphid-Materialien als auch von III-Nitrid-Materialien ermöglicht. Die rot emittierenden InGaAlP-3D-Strukturen können elektrisch als LED betrieben werden oder optisch von
20 den grün oder blau emittierenden InGaN-Strukturen gepumpt werden. 3D steht dabei für dreidimensional und bezeichnet Halbleitersäulen im Unterschied zu flächigen, im Wesentlichen zweidimensionalen Schichten. Letztere werden auch als 2D-Schichten bezeichnet.
- 25 Durch das hier beschriebene Verfahren ist es also möglich, in unterschiedlichen Farben emittierende Halbleitersäulen auf dem gleichen Aufwachssubstrat zu erzeugen. Eine Position der Halbleitersäulen, die in unterschiedlichen Farben emittieren,
30 wird bevorzugt durch einen Lithographieschritt mit zumindest einer Maske bestimmt. Dieses Konzept erlaubt es, sehr kleine LED-Strukturen mit Abmessungen im Submikrometerbereich zu erzielen. Letzteres ist beispielsweise mittels einem

nachträglichen Strukturen wie Ätzen schwierig zu erzielen, da es zu einer verstärkten Ladungsträgerkombination an geätzten Seitenflächen kommt. Das hier beschriebene Konzept erlaubt es somit, verschiedene Halbleitermaterialien mit nicht aneinander
5 angepassten Gitterparametern epitaktisch dicht beieinander zu erzeugen.

Das Wachstum von Halbleitersäulen ist beispielsweise in den Druckschriften S. Assali et al., „Direct Band Gap Wurtzite
10 Gallium Phosphide Nanowires“ in Nano Lett. 2013, 13, Seiten 1559 bis 1563, [dx.doi.org/10.1021/nl304723c](https://doi.org/10.1021/nl304723c), oder in Yoshinori Kohashi et al., „Influence of growth temperature on growth of InGaAs nanowires in selective-area metal-organic vapor-phase epitaxy“ in Journal of Crystal Growth 2012, 338,
15 Seiten 47 bis 51, oder in James A. Gott et al., „Stable step facets in III-V semiconducting nanowires“ in Microscopy and Analysis, November/Dezember 2017, Seiten 12 bis 18, beschrieben. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschriften hinsichtlich des Wachstums von Halbleitersäulen wird durch
20 Rückbezug mit aufgenommen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform werden die Halbleitersäulen der ersten Gruppe zur Emission von blauem Licht und/oder die Halbleitersäulen der zweiten Gruppe zur
25 Emission von grünem Licht jeweils mittels Elektrolumineszenz direkt an dem Aufwachssubstrat gewachsen. Der Begriff direkt am Aufwachssubstrat schließt nicht aus, dass das Aufwachssubstrat mit einer dünnen Pufferschicht versehen ist. Dünn bedeutet insbesondere eine Dicke von höchstens 200 nm
30 oder 100 nm oder 50 nm.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform werden die Halbleitersäulen der dritten Gruppe zur Emission von rotem

Licht mittels Fotolumineszenz auf einigen der Halbleitersäulen der ersten Gruppe und/oder der zweiten Gruppe gewachsen. Das heißt, zwischen dem InGaAlP-Halbleitermaterial der dritten Gruppe und dem

5 Aufwachssubstrat befinden sich dann Halbleitersäulen der ersten Gruppe und/oder der zweiten Gruppe. Die Halbleitersäulen der dritten Gruppen wachsen dann lediglich auf den Halbleitersäulen der ersten Gruppe und/oder der zweiten Gruppe und nicht direkt auf dem Aufwachssubstrat.

10

Gemäß zumindest einer Ausführungsform werden die Halbleitersäulen der dritten Gruppe mit einem Zinkblende-Gitter entlang einer $\langle 111 \rangle$ -Richtung auf einer InGaN-(0001)-Fläche der ersten und/oder der zweiten Gruppe von

15 Halbleitersäulen gewachsen. Die Halbleitersäulen der ersten und/oder zweiten Gruppe sind dabei bevorzugt mit einem Wurtzit-Gitter erzeugt.

20

Gemäß zumindest einer anderen Ausführungsform werden die Halbleitersäulen der ersten Gruppe zur Emission von blauem Licht, die Halbleitersäulen der zweiten Gruppe zur Emission von grünem Licht sowie die Halbleitersäulen der dritten Gruppe zur Emission von rotem Licht je mittels Elektrolumineszenz direkt an dem Aufwachssubstrat gewachsen.

25

Wiederum kann sich zwischen den Halbleitersäulen und dem Aufwachssubstrat eine dünne Pufferschicht befinden, wobei die Pufferschicht bevorzugt höchstens 200 nm oder 100 nm oder 50 nm dick ist. Das heißt, in dieser Ausführungsform sind alle Halbleitersäulen zur Emission von Licht über

30

Elektrolumineszenz eingerichtet. Die Halbleitersäulen sind entsprechend elektrisch kontaktiert. Es sind keine Halbleitersäulen aus unterschiedlichen Materialien übereinander gestapelt angeordnet.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weisen die Halbleitersäulen der ersten Gruppe und/oder der zweiten Gruppe einen Kern-Schale-Aufbau auf, auch als Core-Shell bezeichnet. In diesem Fall verfügen die Halbleitersäulen der ersten Gruppe und/oder der zweiten Gruppe bevorzugt über eine aktive Zone mit oder aus InGaN, die in Form eines Mantels einen zum Beispiel n-leitenden GaN-Kern umformt. Außen auf die aktive Zone kann eine p-leitende GaN-Schicht aufgebracht sein. Optional weisen auch die Halbleitersäulen der dritten Gruppe einen Kern-Schale-Aufbau auf. Alternativ ist es möglich, dass die Halbleitersäulen je geschichtet aufgebaut sind, sodass mehrere Halbleiterschichten in Richtung weg von dem Aufwachssubstrat aufeinander folgen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform sind die Halbleitersäulen der dritten Gruppe massiv aus AlInGaP gewachsen. Dies wird auch als Bulk gewachsen bezeichnet. Damit können die Halbleitersäulen frei von einer inneren Struktur sein. Optional gilt dies auch für die Halbleitersäulen der ersten und/oder der zweiten Gruppe.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform handelt es sich bei dem Aufwachssubstrat um ein Silizium-Substrat. Bevorzugt ist auf einer (111)-Siliziumfläche eine (0001)-Fläche einer Aluminiumnitrid-Pufferschicht gewachsen. Eine Dicke der Aluminiumnitrid-Pufferschicht liegt bevorzugt bei höchstens 200 nm oder 100 nm oder 50 nm.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform sind zumindest die Halbleitersäulen der ersten Gruppe und/oder der zweiten Gruppe direkt auf der Aluminiumnitrid-Pufferschicht erzeugt. Es ist möglich, dass die Halbleitersäulen der dritten Gruppe

unmittelbar auf der (111)-Siliziumfläche gewachsen werden. Das heißt, im Bereich der dritten Halbleitersäulen kann die Aluminiumnitrid-Pufferschicht entfernt sein.

- 5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst das herzustellende Halbleiterbauteil Bildpunkte. Über die Bildpunkte kann bevorzugt einstellbar eine Mischung aus rotem, grünem oder blauem Licht erzeugt werden. Damit lassen sich mit den fertigen Halbleiterbauteilen Farbbilder und/oder
- 10 Farbfilme wiedergeben.

- Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfassen die Bildpunkte der fertigen Halbleiterbauteile je mindestens eine der Halbleitersäulen aus der ersten Gruppe, aus der zweiten
- 15 Gruppe sowie aus der dritten Gruppe. Bevorzugt sind je mehrere Halbleitersäulen aus der ersten, der zweiten und der dritten Gruppe in den Bildpunkten vorhanden. Beispielsweise liegt die Anzahl der Halbleitersäulen der ersten, der zweiten, sowie der dritten Gruppe innerhalb der Bildpunkte je
- 20 bei mindestens 9 oder 16 oder 25 oder 100. Alternativ oder zusätzlich liegt die Anzahl der Halbleitersäulen pro Farbe in den Bildpunkten bei höchstens 10000 oder 1000.

- Die Halbleitersäulen für die verschiedenen Farben können in
- 25 unterschiedlichen Anzahlen in den Bildpunkten zusammengefasst sein. Beispielsweise umfassen die Bildpunkte mehr Halbleitersäulen zur Erzeugung von grünem Licht als zur Erzeugung von rotem Licht.

- 30 Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird auf dem Aufwachssubstrat eine erste Maskenschicht erzeugt. Die erste Maskenschicht ist beispielsweise aus einem Nitrid wie Siliziumnitrid oder aus einem Oxid wie Siliziumdioxid.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist die erste Maskenschicht Öffnungen für alle Halbleitersäulen aller Gruppen auf. Das heißt, die erste Maskenschicht bedeckt das Aufwachssubstrat bevorzugt an allen Stellen, die nicht zum Wachsen der Halbleitersäulen eingerichtet sind. Bevorzugt ist die erste Maskenschicht aus einem Material, an dem das Halbleitermaterial der ersten und/oder der zweiten Halbleitersäulen und optional auch der dritten Halbleitersäulen nicht oder nur schlecht anwächst.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform bleibt die Maskenschicht während des gesamten Wachsens der Halbleitersäulen vorhanden. In den fertigen Halbleiterbauteilen kann die erste Maskenschicht ebenso noch vorhanden sein. Alternativ wird die erste Maskenschicht nach dem Wachsen der Halbleitersäulen entfernt, sodass die fertigen Halbleiterbauteile frei von der ersten Maskenschicht sind.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird für das Wachsen der Halbleitersäulen der ersten und/oder der zweiten Gruppe eine zweite und/oder eine dritte Maskenschicht verwendet. Die zweite und/oder die dritte Maskenschicht wird bevorzugt vor dem Wachsen der Halbleitersäulen auf die erste Maskenschicht aufgebracht. Die zweite Maskenschicht bedeckt bevorzugt alle Bereiche des Aufwachssubstrats, die nicht für das Anwachsen der Halbleitersäulen der ersten Gruppe vorgesehen sind. Die dritte Maskenschicht bedeckt bevorzugt alle Bereiche des Aufwachssubstrats, die nicht für das Anwachsen der Halbleitersäulen der zweiten und der dritten Gruppe vorgesehen sind.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird zum Wachsen der Halbleitersäulen der dritten Gruppe eine vierte Maskenschicht auf die erste Maskenschicht aufgebracht, insbesondere unmittelbar auf die erste Maskenschicht. Die vierte

5 Maskenschicht ist bevorzugt aus einem Material, auf dem das Halbleitermaterial für die Halbleitersäulen der dritten Gruppe nicht oder nur schlecht aufwächst.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform überdeckt die vierte Maskenschicht die Halbleitersäulen der ersten und/oder der zweiten Gruppe beim Wachsen der Halbleitersäulen der dritten Gruppe. Nach dem Wachsen der Halbleitersäulen der dritten Gruppe wird die vierte Maskenschicht bevorzugt vollständig oder alternativ nur teilweise entfernt.

15

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird nach dem Wachsen der Halbleitersäulen der dritten Gruppe eine Passivierung auf zumindest einigen der Halbleitersäulen erzeugt. Die Passivierung erstreckt sich bevorzugt auf alle

20 Halbleitersäulen und kann damit die erste Gruppe, die zweite Gruppe sowie die dritte Gruppe betreffen. Die Passivierung kann als separate Schicht oder auch als Oberflächenmodifikation gestaltet sein.

25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird die Passivierung durch eine InGaAlP-Schicht mit einem Aluminiumanteil von mindestens 25 % gebildet. Das heißt, die Passivierung kann eine aluminiumreiche Schicht sein.

30 Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird die Passivierung durch eine Nitrid-Schicht und/oder durch eine stickstoffreiche Schicht an einer Außenfläche der Halbleitersäulen gebildet. Dies erfolgt beispielsweise

mittels Ammoniakgas oder Stickstoffplasma bei Temperaturen von bevorzugt 500 °C oder mehr.

5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist die Passivierung durch eine Oxidschicht gebildet, beispielsweise durch ein Aluminiumoxid oder ein Siliziumoxid. Eine solche Oxidschicht wird bevorzugt mittels Atomlagenabscheidung erzeugt.

10 Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist die Passivierung dünn. Dies bedeutet insbesondere, dass die Passivierung eine Dicke oder mittlere Dicke von mindestens 1 nm oder 2 nm oder 5 nm und/oder von höchstens 30 nm oder 20 nm oder 10 nm aufweist.

15 Gemäß zumindest einer Ausführungsform liegt ein Durchmesser der Halbleitersäulen an einer dem Aufwachssubstrat nächstgelegenen Stelle je bei höchstens 0,3 µm oder 0,2 µm oder 0,15 µm. Das heißt, die Halbleitersäulen sind nahe an dem Aufwachssubstrat sehr dünn. Dies gilt insbesondere für
20 die Halbleitersäulen der ersten und der zweiten Gruppe und optional, aber nicht notwendigerweise, für die Halbleitersäulen der dritten Gruppe.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform werden zuerst die
25 Halbleitersäulen der ersten Gruppe, dann die Halbleitersäulen der zweiten Gruppe und abschließend die Halbleitersäulen der dritten Gruppe gewachsen. Alternativ wird ein Wachsen der Halbleitersäulen der ersten und der zweiten Gruppe miteinander vertauscht.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform werden die Halbleitersäulen oder zumindest ein Teil der Halbleitersäulen nach dem Wachsen von dem Aufwachssubstrat auf einen

Ersatzträger transferiert. Bei Transferieren bleibt eine relative Anordnung der Halbleitersäulen zueinander bevorzugt erhalten. Durch einen solchen Transferprozess kann sich eine elektrische Kontaktierung der Halbleitersäulen vereinfachen.

5

Darüber hinaus wird ein optoelektronisches Halbleiterbauteil angegeben. Das Halbleiterbauteil wird mit einem Verfahren hergestellt, wie in Verbindung mit einer oder mehrerer der oben genannten Ausführungsformen beschrieben. Merkmale des Verfahrens sind daher auch für das optoelektronische Halbleiterbauteil offenbart und umgekehrt.

In mindestens einer Ausführungsform umfasst das optoelektronische Halbleiterbauteil mehrere Halbleitersäulen der ersten Gruppe, die auf dem III-Nitrid-Material basieren und die zur Erzeugung von blauem Licht mittels Elektrolumineszenz eingerichtet sind. Außerdem umfasst das Halbleiterbauteil mehrere Halbleitersäulen der zweiten Gruppe, die auf einem III-Nitrid-Material mit einer anderen Materialzusammensetzung basieren und die zur Erzeugung von grünem Licht mittels Elektrolumineszenz eingerichtet sind. Außerdem sind mehrere Halbleitersäulen der dritten Gruppe vorhanden, die auf dem III-Phosphid-Material basieren oder dieses umfassen und die zur Erzeugung von rotem Licht mittels Elektrolumineszenz oder mittels Photolumineszenz eingerichtet sind. Ein mittlerer Durchmesser der Halbleitersäulen liegt dabei jeweils bei höchstens 1 μm oder 0,5 μm oder 0,2 μm .

Nachfolgend werden ein hier beschriebenes Verfahren und hier beschriebene optoelektronische Halbleiterbauteile unter Bezugnahme auf die Zeichnung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Gleiche Bezugszeichen geben dabei gleiche Elemente in den einzelnen Figuren an. Es sind dabei jedoch

keine maßstäblichen Bezüge dargestellt, vielmehr können einzelne Elemente zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

5 Es zeigen:

Figuren 1 bis 3 schematische perspektivische Darstellungen von Ausführungsbeispielen von hier beschriebenen optoelektronischen Halbleiterbauteilen,

10

Figuren 4A bis 4C schematische Schnittdarstellungen von Verfahrensschritten eines Ausführungsbeispiels eines hier beschriebenen Verfahrens,

15 Figuren 5 bis 7 schematische perspektivische Darstellungen von Halbleitersäulen für Ausführungsbeispiele für hier beschriebene optoelektronische Halbleiterbauteile,

20 Figuren 8A und 8B Elektronenmikroskopaufnahmen von hier beschriebenen Halbleitersäulen,

Figur 9 eine schematische Schnittdarstellung eines Ausführungsbeispiels eines hier beschriebenen optoelektronischen Halbleiterbauteils, und

25

Figur 10 ein Ausführungsbeispiel eines hier beschriebenen Verfahrens zur Herstellung von optoelektronischen Halbleiterbauteilen schematisch als Blockdiagramm.

30

In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel eines optoelektronischen Halbleiterbauteils 1 dargestellt. Das Halbleiterbauteil 1 umfasst mehrere Halbleitersäulen 1

unterschiedlicher Gruppen 31, 32, 33. Zur Vereinfachung der Darstellung ist von jeder Gruppe 31, 32, 33 je nur eine der Halbleitersäulen 3 gezeichnet. Bevorzugt sind jeweils viele der Halbleitersäulen 3 pro Gruppe 31, 32, 33 vorhanden.

5

Die Halbleitersäulen 3 der ersten Gruppe 31 sind aus dem Materialsystem InGaN mit einem vergleichsweise geringen Indiumgehalt und erzeugen im Betrieb über Elektrolumineszenz blaues Licht. Auch die Halbleitersäulen 3 der zweiten Gruppe

10

32 basieren auf dem Materialsystem InGaN, wobei ein Indiumgehalt bevorzugt höher ist, sodass im Betrieb grünes Licht erzeugt wird. Es ist möglich, dass die Halbleitersäulen 3 der ersten Gruppe 31 und der zweiten Gruppe 32 über eine Quantentopfstruktur zur Erzeugung von Licht verfügen.

15

Ferner umfasst das Halbleiterbauteil Halbleitersäulen 3 einer dritten Gruppe 33. Diese Halbleitersäulen 3 basieren auf dem Materialsystem InGaAlP und sind zur Erzeugung von rotem Licht eingerichtet, ebenfalls über Elektrolumineszenz.

20

Alle drei Gruppen 31, 32, 33 von Halbleitersäulen 3 sind auf einem gemeinsamen Aufwachssubstrat 2 epitaktisch gewachsen. Bei dem Aufwachssubstrat 2 handelt es sich insbesondere um ein Silizium-Substrat mit einer (111)-Fläche.

25

Besonders bevorzugt befindet sich auf dem Aufwachssubstrat 2 eine dünne AlN:Si-Schicht 21 mit einer (0001)-Fläche. Diese Schicht 21 ist bevorzugt dünn, beispielsweise mit einer Dicke um 30 nm. Die Halbleitersäulen 3 der ersten Gruppe 31 und der zweiten Gruppe 32 sind ausgehend von dieser Schicht 21 gewachsen, wie dies auch für die Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 möglich ist. Alternativ werden die

30

Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 unmittelbar beginnend am Aufwachssubstrat 2 gewachsen.

Elektrische Kontaktierungen der Halbleitersäulen 3 sind in den Figuren jeweils nicht gezeichnet. Ebenso wenig ist in den Figuren dargestellt, dass ein Transfer der Halbleitersäulen 3 von dem Aufwachssubstrat 2 auf einen Ersatzträger erfolgen kann. Solche elektrische Kontaktierungen und ein solcher Transfer auf einen Ersatzträger sind beispielsweise in den Druckschriften DE 10 2017 129 326 A1 und DE 10 2017 113 745 A1 beschrieben. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschriften hinsichtlich der elektrischen Verschaltung und hinsichtlich des Transfers auf einen Ersatzträger wird durch Rückbezug aufgenommen.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 2 ist dargestellt, dass die Halbleitersäulen der dritten Gruppe 33 auf einigen der Halbleitersäulen 3 zur Erzeugung von blauem Licht aufgewachsen sind. Die Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 arbeiten dabei bevorzugt über Photolumineszenz. Eine Anregung erfolgt damit über das blaue Licht der zugeordneten blau emittierenden Halbleitersäulen 3. Diese Halbleitersäulen 3, die blau emittieren, befinden sich somit zwischen den Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 aus InGaAlP und dem Aufwachssubstrat 2. Optional kann zwischen den Halbleitersäulen 3 der verschiedenen Gruppen 31, 32, 33 eine nicht gezeichnete optische Isolierung angebracht sein.

Die Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 können Quantentopfstrukturen aufweisen oder auch zusammenhängend und homogen aus InGaAlP gebildet sein. Die Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33, wie in Figur 1 illustriert, weisen dagegen bevorzugt eine Quantentopfstruktur auf.

Im Übrigen gelten die Ausführungen zur Figur 1 für Figur 2 entsprechend.

5 Abweichend von der Darstellung der Figur 2 sind die Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 zur Erzeugung von rotem Licht auf einigen der Halbleitersäulen 3 zur Erzeugung von grünem Licht aufgewachsen. Eine Photolumineszenzanregung erfolgt damit durch das grüne Licht, das durch die zwischen
10 den Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 und dem Aufwachssubstrat 2 liegenden Halbleitersäulen aus InGaN erzeugt wird.

Zum Beispiel weisen die Halbleitersäulen 3 einen Durchmesser
15 und/oder eine Höhe zwischen einschließlich 50 nm und 2 µm auf und sind aus Wurtzit-In_xGa_{1-x}N mit bevorzugt $x = 0,16$ bis 0,19 für die Erzeugung von blauem Licht und mit $x = 0,20$ bis 0,25 für die Erzeugung von grünem Licht. Zur Erzeugung von rotem Licht weisen die Halbleitersäulen 3 beispielsweise
20 einen Durchmesser und/oder eine Höhe zwischen einschließlich 50 nm und 300 nm auf und sind insbesondere aus Zinkblende-In_{1-n-m}Ga_mAl_nP mit $n + m < 1$, $0,3 < n, m < 0,7$ oder aus Wurtzit-GaAs_{1-k}P_k mit $0,63 < k < 0,67$ und mit einem
25 Durchmesser und/oder einer Höhe zwischen einschließlich 50 nm und 500 nm.

Bei den hier beschriebenen Halbleiterbauteilen ist es möglich, auf ein ansonsten für InGaAlP-Strukturen verwendetes Aufwachssubstrat aus GaAs zu verzichten. Damit einhergehend
30 kann eine Lichtabsorption von grünem und blauem Licht in GaAs vermieden werden. Aufgrund der kleinen Abmessungen der Halbleitersäulen 3, insbesondere der dritten Gruppe 33, ist zudem eine erhöhte Lichtauskopplung erzielbar. Dies ist

ansonsten aufgrund des hohen Brechungsindex von InGaAlP erschwert.

Aufgrund der kleinen lateralen Abmessungen der

5 Halbleitersäulen 3 wirkt sich der Einfluss einer Gitterfehlanpassung eines Nitrid-Materials zu einem Phosphid-Halbleitermaterial und die unterschiedlichen Kristalltypen von Wurtzit gegenüber Zinkblende auf die Kristallqualität nicht allzu stark aus.

10

In Figur 4 ist exemplarisch ein Herstellungsverfahren dargestellt. Gemäß Figur 4A wird das Aufwachssubstrat 2 bereitgestellt. Auf dem Aufwachssubstrat 2 wird eine erste Maskenschicht 51 angebracht. Die Maskenschicht 51 weist
15 Öffnungen für alle späteren Halbleitersäulen 3 auf. Die Öffnungen für die Halbleitersäulen 3 der zweiten und der dritten Gruppe 32, 33 sind durch eine dritte Maskenschicht 53 verschlossen. Eine zweite Maskenschicht 52 erstreckt sich ansonsten flächig und bevorzugt direkt und/oder
20 deckungsgleich über die erste Maskenschicht 51.

Ausgehend vom Aufwachssubstrat 2, das beispielsweise ein Saphirsubstrat ist, werden die Halbleitersäulen 3 der ersten Gruppe 31 zur Emission von blauem Licht B gewachsen. Ein
25 Wachstum dieser Halbleitersäulen 3 erfolgt bevorzugt, sodass diese Halbleitersäulen 3 die Maskenschichten 51, 52, 53 überragen.

In Figur 4B ist illustriert, dass auf die zweite
30 Maskenschicht 52 eine Maskenschicht 52' aufgebracht wird, die die zuvor aufgebrachte Maskenschicht 52 sowie die bereits gewachsenen Halbleitersäulen 3 der ersten Gruppe 31 überdeckt. Ferner werden die Öffnungen in der ersten

Maskenschicht 51 für die Halbleitersäulen 3 der zweiten Gruppe 32 zur Erzeugung von grünem Licht G freigeräumt. Daraufhin erfolgt das Wachstum der Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33.

5

Im Verfahrensschritt der Figur 4C werden die Masken 52, 52', 53 entfernt. Die erste Maskenschicht 51 verbleibt. Daraufhin werden alle Gebiete, bis auf die Öffnungen für die Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33, von einer vierten Maskenschicht 54 überdeckt. Anschließend erfolgt das Wachsen der Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 zur Erzeugung von rotem Licht R.

Weiterhin ist es möglich, Aluminium enthaltende Schichten auf eine p-Seite der gewachsenen Strukturen oder auf eine Oberflächenpassivierung zu limitieren. Für eine gesteigerte Selektivität bei den Epitaxieprozessen kann auf mehrere Masken in Kombination zurückgegriffen werden. Durch zeitweilig vorhandene Masken für das sequentielle Wachsen der Halbleitersäulen 3 sind damit benachbarte Muster für die verschiedenen Arten von Halbleitersäulen 3 im Abstand von wenigen 100 nm realisierbar.

Als Material für die Maskenschichten 51, 52, 53, 54 kann ein Siliziumoxid oder ein Siliziumnitrid dienen. Alternativ können für eine hohe Selektivität einer Anwachszone auch amorphe Materialien, basierend auf Kohlenstoff, dienen. Solche Materialien sind beispielsweise hochreine Polymere, die für die Lithographie genutzt werden, und die vor dem epitaktischen Wachsen der Halbleitersäulen 3 bei hohen Temperaturen hart gebacken werden. Die Maskenschichten 51, 52, 53, 54 sind zum Beispiel aus einem organischen Fotolack wie mr-NIL210. Dicken der mr-NIL210 liegen

bevorzugt im Bereich zwischen einschließlich 50 nm und 500 nm.

In den Figuren 5 bis 7 sind verschiedene Möglichkeiten des Wachsens von Halbleitersäulen 3 aus den unterschiedlichen Materialsystemen veranschaulicht. Durch die dargestellten Aufwachsorientierungen und durch die kleinen lateralen Dimensionen der Halbleitersäulen 3 von bevorzugt höchstens 200 nm lassen sich Probleme, die mit Gitterfehlpassungen einhergehen, signifikant reduzieren oder eliminieren.

Gemäß Figur 5 werden die Halbleitersäulen 3 der dritten Gruppe 33 aus InGaAlP in einer Zinkblende-Struktur entlang einer $\langle 111 \rangle$ -Richtung auf AlInGaN-Wurtzit-(0001)-Oberflächen gewachsen. Ebenso kann Wurtzit-(0001)-InGaAlP oder AlGaAsP auf Wurtzit-(0001)-AlInGaN wachsen. Dabei kann für das InGaAlP eine hexagonale oder eine trigonale Prismenstruktur resultieren.

Gemäß Figur 6 erfolgt das Wachstum von InGaAlP in Zinkblende-(001) auf unpolarem AlInGaN-Wurtzit-(10-10) oder alternativ auf AlInGaN-Wurtzit-(11-20).

In Figur 7 ist veranschaulicht, dass ein Wachsen mit nicht parallelen Wachstumsrichtungen einer InGaAlP-Zinkblende-(001)-Struktur auf semipolarem InGaN etwa mit Orientierungen (11-22) oder (10-11) erfolgen kann.

In Figur 8A ist eine Elektromikroskopaufnahme einer GaN-Säule mit einem Durchmesser von ungefähr 1 μm zu sehen. An der Spitze der Säule befindet sich eine kleine AlInGaN-(0001)-Fläche.

Über dieser AlInGaN-(0001)-Fläche wird eine (111)-InGaAlP-Schicht gewachsen, wie in Figur 8B illustriert. Optionale Maskenschichten an Seitenflächen der GaN-Säule sind in Figur 8B nicht vorhanden, sodass an anderen Bereichen der GaN-Säule als an der AlInGaN-(0001)-Fläche ein unregelmäßiges Wachstum von InGaAlP erfolgen kann.

In Figur 9 ist veranschaulicht, dass die Halbleitersäulen 3 oder zumindest einige der Halbleitersäulen 3 mit einer Passivierung 6 versehen werden können. Durch eine solche Passivierung 6 sind Oberflächenzustände, die zu elektrischen und optischen Verlusten führen können, reduzierbar. Die Passivierung 6 der Oberflächen der Halbleitersäulen 3 weist bevorzugt ein Material mit einer hohen Bandlücke auf, wie aluminiumreiche Phosphide oder Nitride oder dielektrische Schichten. Aluminiumreich bezieht sich insbesondere auf einen Aluminiumanteil von mindestens 25 %. Eine solche Passivierung 6 ist bevorzugt auch in allen anderen Ausführungsbeispielen vorhanden.

Damit handelt es sich bei der Passivierung 6 insbesondere um eine InGaAlP-Schicht mit einem Aluminiumanteil von 25 %. Alternativ kann die Passivierung 6 durch Stickstoff aus NH_3 oder N_2 -Plasma bei Temperaturen oberhalb von 500 °C erzeugt werden. Außerdem ist eine Wasserstoffpassivierung mit anschließender Abscheidung eines dielektrischen Materials, wie einem Aluminiumoxid oder einem Siliziumoxid, insbesondere mittels Atomlagenabscheidung, kurz ALD, möglich.

In Figur 10 ist schematisch als Blockdiagramm ein hier beschriebenes Verfahren illustriert. Im Schritt S1 wird das Aufwachssubstrat bereitgestellt, insbesondere aus Saphir oder GaN. Im optionalen Schritt S2 wird bevorzugt eine

zweidimensional gewachsene Nitrid-Schicht als Anwachsschicht oder Pufferschicht erzeugt. Diese Schicht ist beispielsweise aus Aluminiumnitrid.

- 5 Im Schritt S3 erfolgt das Anbringen der Masken und eine Oberflächenpräparation. Angeschlossen an den Schritt S3, in Strichlinien dargestellt, erfolgt das Anbringen einer temporären Maske für die rot emittierenden Sub-Bildpunkte, eine Integration der auf InGaN-basierenden blau emittierenden Subpixel, eine Integration der auf InGaN-basierenden grün emittierenden Subpixel sowie ein Öffnen der Maske für die rot emittierenden Subpixel.

- 15 Im Verfahrensschritt S4 erfolgt das selektive Wachsen der auf InGaAlP basierenden, rot emittierenden Halbleitersäulen. Im nachfolgenden Schritt S5 erfolgt das Erzeugen der Passivierung 6 an den Oberflächen der Halbleitersäulen 3.

- 20 Abschließend wird im Schritt S6 das Verfahren finalisiert, beispielsweise durch das Erzeugen elektrischer Kontaktstrukturen, durch einen Transferprozess auf einen Ersatzträger und/oder durch ein Vereinzeln zu den Halbleiterbauteilen.

- 25 Als Variante ist es möglich, die blau emittierenden Bereiche zweidimensional zu wachsen und dreidimensional grün emittierende Bereiche aufzubringen. Ebenso können sowohl die blau emittierenden Bereiche als auch die grün emittierenden Bereiche dreidimensional gewachsen werden, also in Form der Halbleitersäulen. Somit ist es generell möglich, die blauen Emitter entweder zweidimensional flächig oder dreidimensional als Halbleitersäulen zu gestalten.
- 30

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

10 Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2018 116 224.3, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Bezugszeichenliste

	1	optoelektronisches Halbleiterbauteil
	2	Aufwachssubstrat
5	21	AlN-Pufferschicht
	3	Halbleitersäule
	31	erste Gruppe von Halbleitersäulen
	32	zweite Gruppe von Halbleitersäulen
	33	dritte Gruppe von Halbleitersäulen
10	4	Bildpunkt
	51	erste Maskenschicht
	52	zweite Maskenschicht
	53	dritte Maskenschicht
	54	vierte Maskenschicht
15	6	Passivierung
	B	Emitter für blaues Licht
	G	Emitter für grünes Licht
	R	Emitter für rotes Licht
	S..	Verfahrensschritt
20		

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von optoelektronischen Halbleiterbauteilen (1) mit den Schritten:

- 5 A) Bereitstellen eines Aufwachssubstrats (2), und
B) Wachsen einer Vielzahl von lichtemittierenden Halbleitersäulen (3) direkt auf und/oder nahe an dem Aufwachssubstrat (2), sodass zwischen den Halbleitersäulen (3) und dem Aufwachssubstrat (2) höchstens eine Pufferschicht
10 (21) mit einer Dicke von maximal 200 nm liegen kann, wobei
- ein mittlerer Durchmesser der Halbleitersäulen (3) bei höchstens 1 µm liegt,
 - eine erste Gruppe (31) und eine zweite Gruppe (32) der
15 Halbleitersäulen (3) an dem Aufwachssubstrat (2) aus einem III-Nitrid-Material gewachsen wird, und
 - eine dritte Gruppe (33) der Halbleitersäulen (3) an dem Aufwachssubstrat (2) aus oder mit einem III-Phosphid-Material gewachsen wird, und
 - 20 - die fertigen Halbleitersäulen (3) der ersten Gruppe (31) zur Emission von blauem Licht, die Halbleitersäulen (3) der zweiten Gruppe (32) zur Emission von grünem Licht und die Halbleitersäulen (3) der dritten Gruppe (33) zur Emission von rotem Licht je mittels Elektrolumineszenz eingerichtet sind.
- 25 2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Halbleitersäulen (3) der ersten Gruppe (31) zur Emission von blauem Licht und die Halbleitersäulen (3) der zweiten Gruppe (32) zur Emission von grünem Licht mittels Elektrolumineszenz sowie die Halbleitersäulen (3) der dritten
30 Gruppe (33) zur Emission von rotem Licht je direkt an dem Aufwachssubstrat (2) gewachsen werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Halbleitersäulen (3) der dritten Gruppe (33) mit einem Zinkblende-Gitter entlang einer $\langle 111 \rangle$ -Richtung und/oder die Halbleitersäulen (3) der ersten und zweiten Gruppe (31, 32) mit einem Wurtzit-Gitter erzeugt sind.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei es sich bei dem Aufwachssubstrat (2) um ein Silizium-Substrat mit einer (111)-Fläche handelt und sich direkt auf dem Aufwachssubstrat (2) als Pufferschicht (21) stellenweise eine AlN:Si-Schicht mit einer (0001)-Fläche befindet, wobei die Halbleitersäulen (3) der ersten Gruppe (31) und der zweiten Gruppe (32) unmittelbar ausgehend von der Pufferschicht (21) gewachsen werden, und wobei die Halbleitersäulen (3) der dritten Gruppe (33) unmittelbar beginnend am Aufwachssubstrat (2) gewachsen werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei als Aufwachssubstrat (2) ein GaN-Substrat, ein Saphir-Substrat oder ein Silizium-Substrat verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 2 und nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei das Aufwachssubstrat (2) ein Silizium-Substrat ist und auf einer (111)-Siliziumfläche eine (0001)-Fläche einer AlN-Pufferschicht (21) gewachsen wird, wobei die Halbleitersäulen (3) der ersten Gruppe (31) und der zweiten Gruppe (32) und der dritten Gruppe (33) direkt auf der AlN-Pufferschicht (21) erzeugt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei je mindestens eine der Halbleitersäulen (3) aus der

ersten, der zweiten und der dritten Gruppe (31, 32, 33) elektrisch zu einem Bildpunkt (4) zusammengefasst werden.

8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Bildpunkte (4) je mindestens neun Halbleitersäulen (3) der ersten, der zweiten und der dritten Gruppe (31, 32, 33) umfassen.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei auf dem Aufwachssubstrat (2) eine erste Maskenschicht (51) erzeugt wird, die Öffnungen für alle Halbleitersäulen (3) aller Gruppen (31, 32, 33) aufweist, wobei die erste Maskenschicht (51) während des gesamten Wachsens der Halbleitersäulen (3) vorhanden bleibt.

10. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei für das Wachsen der Halbleitersäulen (3) der ersten und der zweiten Gruppe (31, 32) eine zweite und eine dritte Maskenschicht (52, 53) verwendet wird, wobei die zweite und die dritte Maskenschicht (52, 53) vor dem Wachsen der Halbleitersäulen (3) auf die erste Maskenschicht (51) aufgebracht werden.

11. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei zum Wachsen der Halbleitersäulen (3) der dritten Gruppe (33) eine vierte Maskenschicht (54) auf die erste Maskenschicht (51) aufgebracht wird, wobei die vierte Maskenschicht (54) die Halbleitersäulen (3) der ersten und der zweiten Gruppe (31, 32) beim Wachsen der Halbleitersäulen (3) der dritten Gruppe (33) überdeckt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem Wachsen der Halbleitersäulen (3) der dritten

Gruppe (33) eine Passivierung (6) auf zumindest einigen der Halbleitersäulen (3) oder auf allen Halbleitersäulen (3) erzeugt wird.

13. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
5 wobei die Passivierung (6) durch eine InGaAlP-Schicht mit einem Aluminiumanteil von mindestens 25 %, durch eine Nitrid-Schicht und/oder durch eine mittels Atomlagenabscheidung erzeugte Oxidschicht gebildet wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
10 wobei ein Durchmesser der Halbleitersäulen (3) an einer dem Aufwachssubstrat (2) nächstgelegenen Stelle bei höchstens 0,2 µm liegt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei zuerst die Halbleitersäulen (3) der ersten Gruppe (31),
15 dann die Halbleitersäulen (3) der zweiten Gruppe (32) und abschließend die Halbleitersäulen (3) der dritten Gruppe (33) gewachsen werden.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Halbleitersäulen (3) nach dem Wachsen von dem
20 Aufwachssubstrat (2) auf einen Ersatzträger transferiert werden,
wobei beim Transferieren eine relative Anordnung der Halbleitersäulen (3) zueinander erhalten bleibt.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
25 wobei sich die Halbleitersäulen (3) in den fertigen optoelektronischen Halbleiterbauteilen (1) noch am Aufwachssubstrat (2) befinden, sodass das Aufwachssubstrat (2) oder zumindest ein Teil des Aufwachssubstrats (2) einen

permanenten Träger der optoelektronischen Halbleiterbauteile (1) bildet.

18. Optoelektronisches Halbleiterbauteil (1), das mit einem Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche hergestellt

5 ist, mit

- mehreren Halbleitersäulen (3) der ersten Gruppe (31), die auf dem III-Nitrid-Material basieren und die zur Erzeugung von blauem Licht mittels Elektrolumineszenz eingerichtet sind,

10 - mehreren Halbleitersäulen (3) der zweiten Gruppe (32), die auf dem III-Nitrid-Material basieren und die zur Erzeugung von grünem Licht mittels Elektrolumineszenz eingerichtet sind, und

- mehreren Halbleitersäulen (3) der dritten Gruppe (33), die
15 auf dem III-Phosphid-Material basieren oder dieses umfassen und die zur Erzeugung von rotem Licht mittels Elektrolumineszenz eingerichtet sind,

wobei der mittlere Durchmesser der Halbleitersäulen (3) bei höchstens 1 μm liegt.

FIG 1

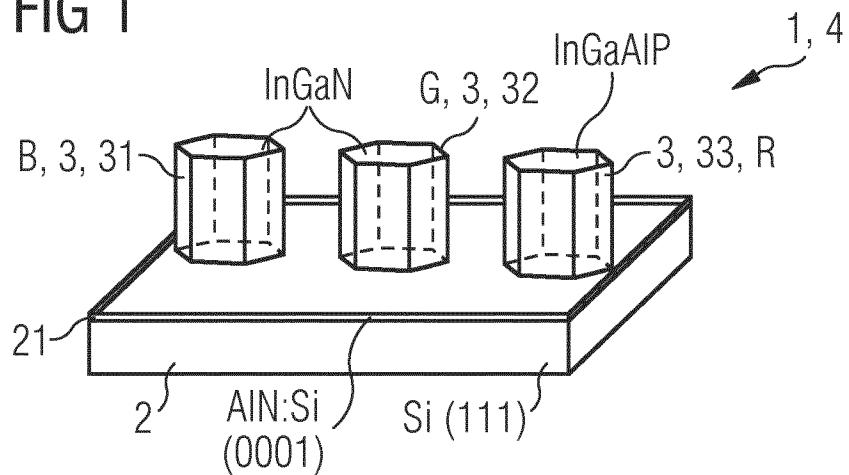


FIG 2

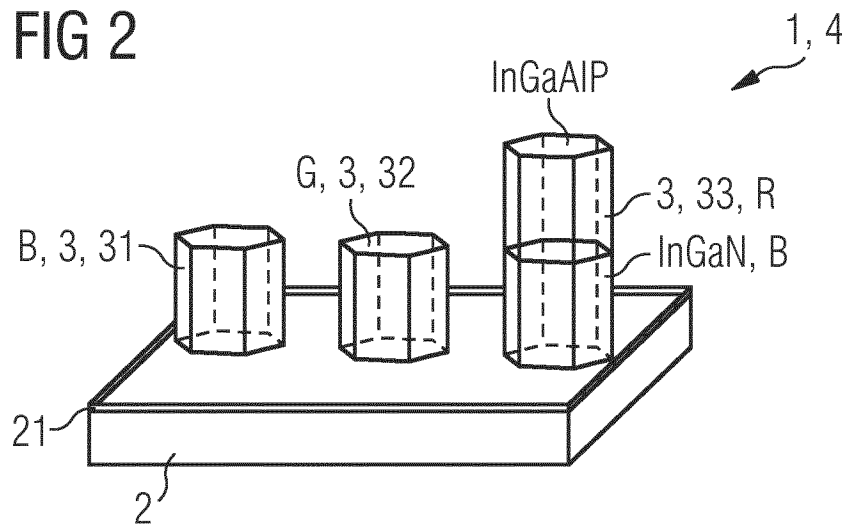


FIG 3

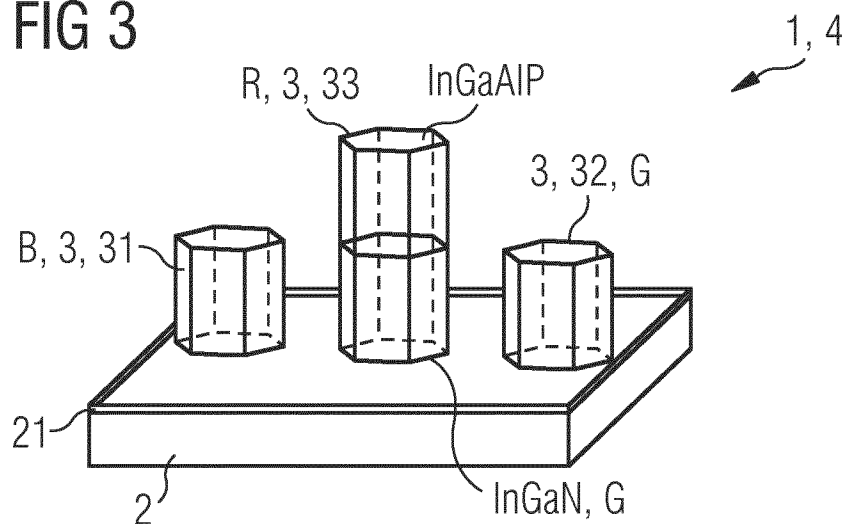
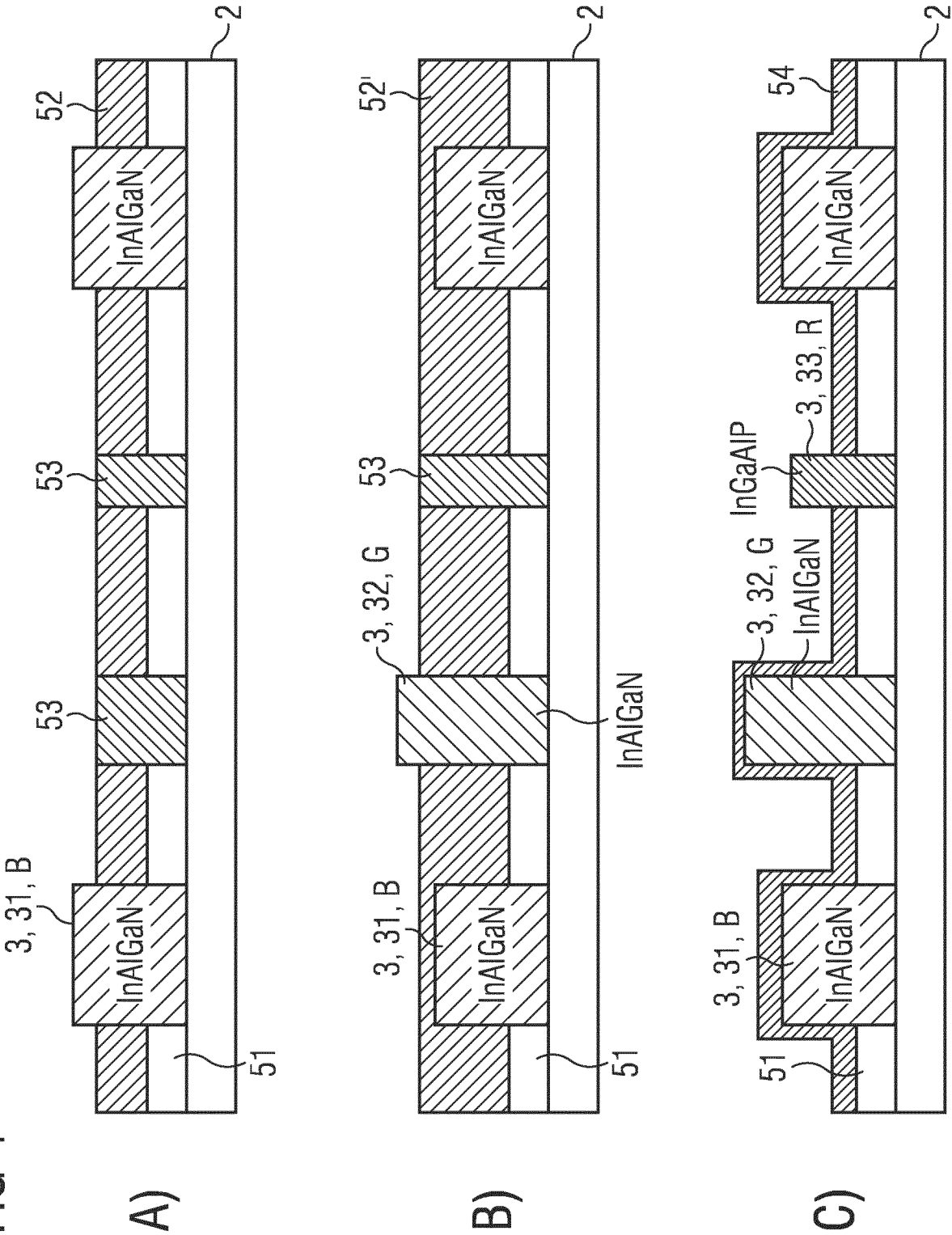


FIG 4



3/5

FIG 5

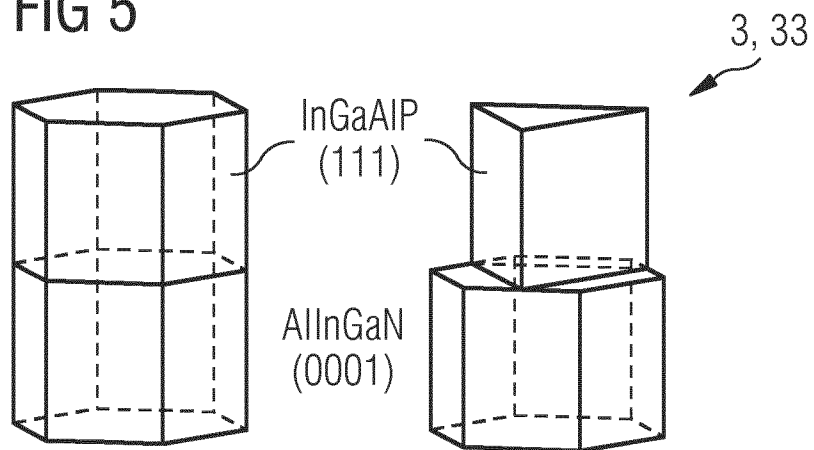


FIG 6

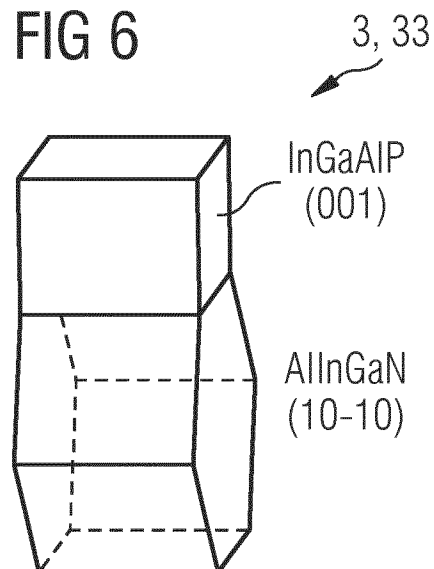
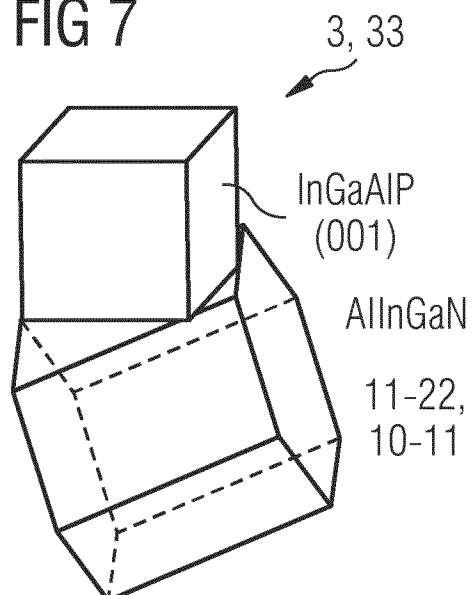


FIG 7



4/5

FIG 8

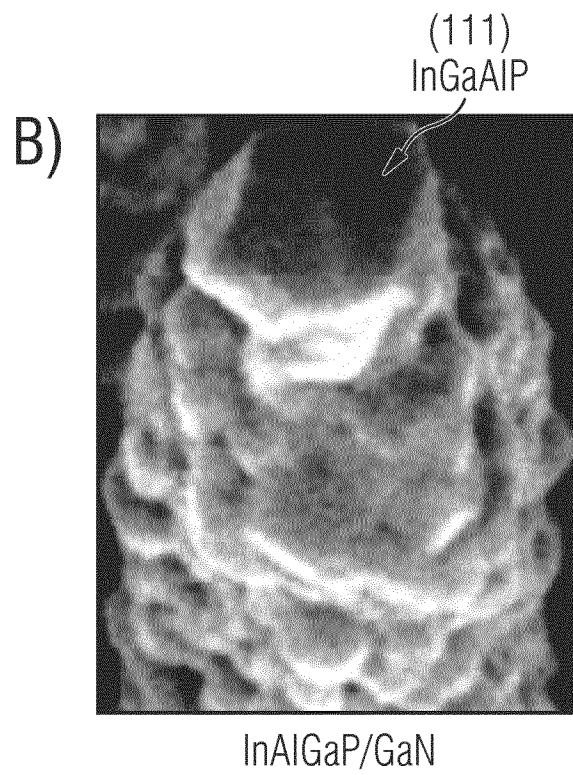
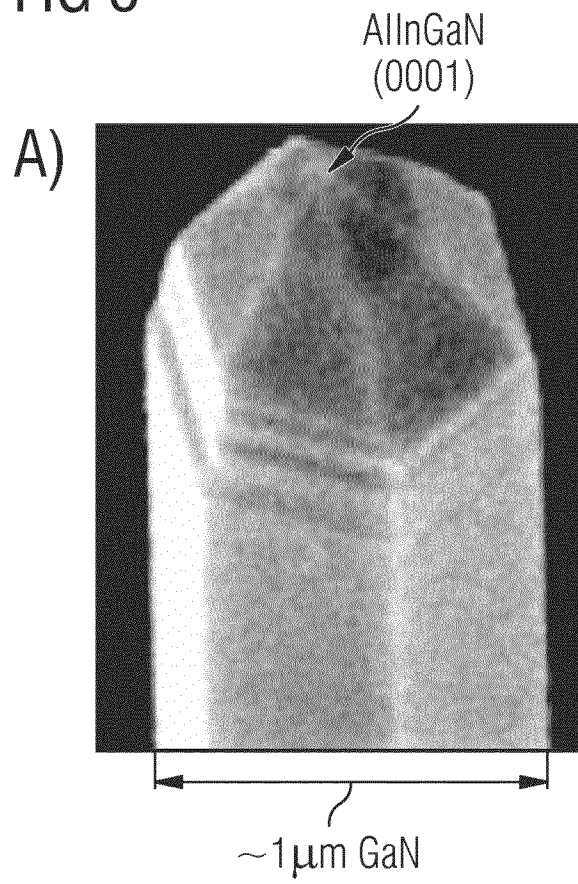


FIG 9

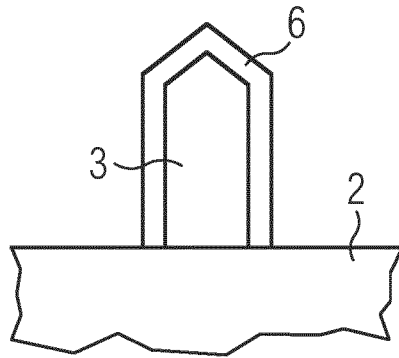
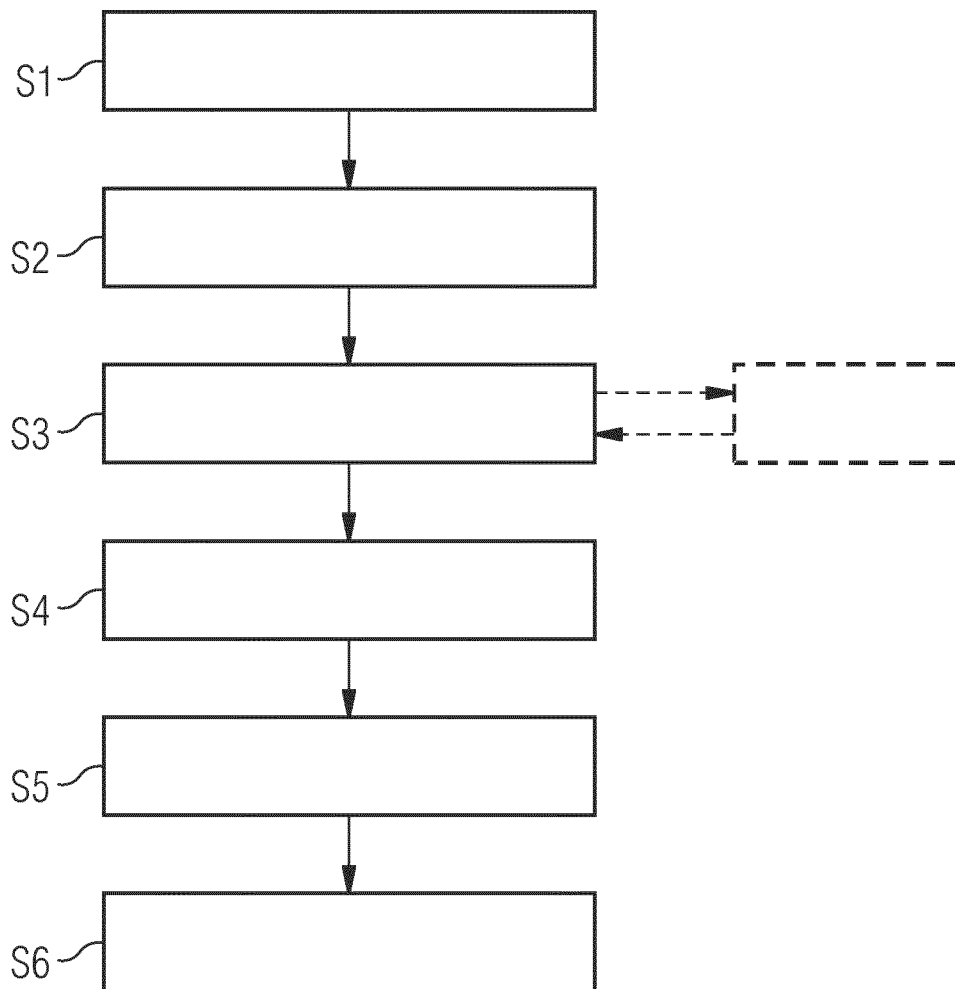


FIG 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/067863

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 27/15(2006.01)i; **H01L 33/00**(2010.01)i; **H01L 33/08**(2010.01)i; **H01L 33/18**(2010.01)i; **H01L 33/24**(2010.01)i;
H01L 33/12(2010.01)i

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 A	US 2011057211 A1 (LEE KEON JAE [KR] ET AL) 10 March 2011 (2011-03-10) paragraphs [0001] - [0012], [0038] - [0051]; figures 32-42	18 1-17
X A	US 2018114878 A1 (DANESH FARIBA [US] ET AL) 26 April 2018 (2018-04-26) paragraphs [0001] - [0014], [0069] - [0156], [0162] - [0166], [0399] - [0436]; figures 1-22, 25, 43-49	18 1-17
X Y A	EP 3026707 A1 (ALCATEL LUCENT [FR] ET AL.) 01 June 2016 (2016-06-01) the whole document	18 1,3,5,7-12,14-17 2,4,6,13
X Y A	US 2009309110 A1 (RARING JAMES W [US] ET AL) 17 December 2009 (2009-12-17) paragraphs [0001] - [0080]; figures 7-10	18 1,3,5,7-12,14-17 2,4,6,13



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

25 September 2019

Date of mailing of the international search report

02 October 2019

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

Saynova, Desislava

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/067863

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2011057211	A1	10 March 2011	KR	20110015221	A	15 February 2011
				US	2011057211	A1	10 March 2011
US	2018114878	A1	26 April 2018	EP	3529838	A1	28 August 2019
				KR	20190061088	A	04 June 2019
				TW	201828449	A	01 August 2018
				US	2018114878	A1	26 April 2018
				WO	2018080860	A1	03 May 2018
EP	3026707	A1	01 June 2016	NONE			
US	2009309110	A1	17 December 2009	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	H01L27/15 H01L33/12	H01L33/00 H01L33/08 H01L33/18 H01L33/24
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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/057211 A1 (LEE KEON JAE [KR] ET AL) 10. März 2011 (2011-03-10)	18
A	Absätze [0001] - [0012], [0038] - [0051]; Abbildungen 32-42	1-17
X	US 2018/114878 A1 (DANESH FARIBA [US] ET AL) 26. April 2018 (2018-04-26)	18
A	Absätze [0001] - [0014], [0069] - [0156], [0162] - [0166], [0399] - [0436]; Abbildungen 1-22, 25, 43-49	1-17
X	EP 3 026 707 A1 (ALCATEL LUCENT [FR] ET AL.) 1. Juni 2016 (2016-06-01)	18
Y	das ganze Dokument	1,3,5, 7-12, 14-17
A		2,4,6,13
	----- -/-	
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. September 2019		02/10/2019
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 Saynova, Desislava

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2009/309110 A1 (RARING JAMES W [US] ET AL) 17. Dezember 2009 (2009-12-17)	18
Y	Absätze [0001] - [0080]; Abbildungen 7-10	1,3,5, 7-12, 14-17
A	-----	2,4,6,13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/067863

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011057211	A1	10-03-2011	KR 20110015221 A	15-02-2011
			US 2011057211 A1	10-03-2011

US 2018114878	A1	26-04-2018	EP 3529838 A1	28-08-2019
			KR 20190061088 A	04-06-2019
			TW 201828449 A	01-08-2018
			US 2018114878 A1	26-04-2018
			WO 2018080860 A1	03-05-2018

EP 3026707	A1	01-06-2016	KEINE	

US 2009309110	A1	17-12-2009	KEINE	
