(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
24. November 2016 (24.11.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/184752 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 21/20 (2006.01) *C30B 29/40* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/060575

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Mai 2016 (11.05.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 107 661.6 15. Mai 2015 (15.05.2015) DE

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

(72) Erfinder: **HERTKORN, Joachim**; Osserstr. 46, 93086 Wörth an der Donau (DE). **ZINI, Lorenzo**; Hombergerweg 7, 93049 Regensburg (DE). **FREY, Alexander**; Am Hohensand 29, 93138 Lappersdorf (DE).

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

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

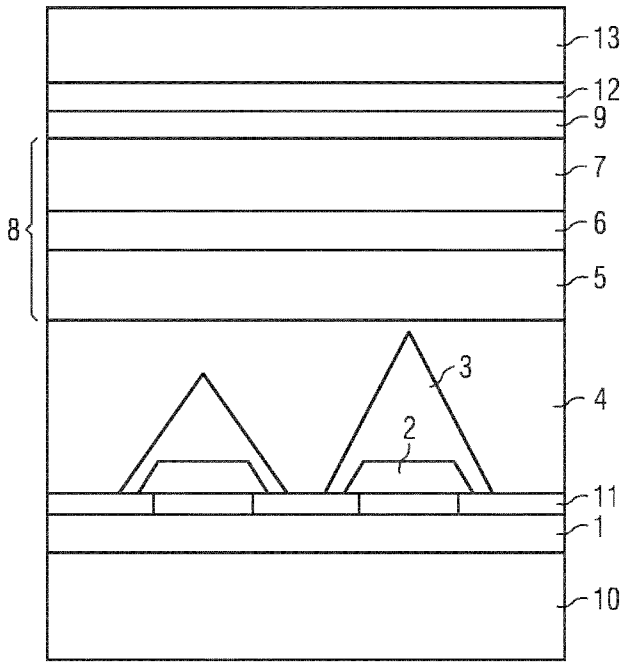
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD FOR PRODUCING A NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES NITRIDVERBINDUNGSHALBLEITER-BAUELEMENTS

FIG 6



(57) **Abstract**: A description is given of a method for producing a nitride compound semiconductor device, comprising the following steps: - growing a first nitride compound semiconductor layer (1) on a growth substrate (10), - depositing a mask layer (11), - growing a second nitride compound semiconductor layer (2) over the mask layer (11), - growing a third nitride compound semiconductor layer (3) in such a way that it has non-planar structures (3a), - growing a fourth nitride compound semiconductor layer (4) in such a way that it has a substantially planar surface, - growing a functional layer sequence (8) of the nitride compound semiconductor device, - connecting the functional layer sequence (8) to a carrier (13), - detaching the growth substrate (10), and - producing coupling-out structures (14) by an etching process, in which the first, second and third nitride compound semiconductor layers (1, 2, 3) are at least partially removed.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/184752 A1

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)*

Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements beschrieben, umfassend die Schritte: - Aufwachsen einer ersten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (1) auf ein Aufwachssubstrat (10), - Abscheiden einer Maskenschicht (11), - Aufwachsen einer zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (2) über der Maskenschicht (11), - Aufwachsen einer dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (3) derart, dass sie nicht-planare Strukturen (3a) aufweist, - Aufwachsen einer vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (4) derart, dass sie eine im Wesentlichen planare Oberfläche aufweist, - Aufwachsen einer funktionellen Schichtenfolge (8) des Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements, - Verbinden der funktionellen Schichtenfolge (8) mit einem Träger (13), - Ablösen des Aufwachssubstrats (10), und - Erzeugen von Auskoppelstrukturen (14) durch einen Ätzprozess, bei dem die erste, zweite und dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (1, 2, 3) zumindest teilweise abgetragen werden.

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements, insbesondere eines optoelektronischen Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements.

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2015 107 661.6, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Zur Herstellung von Nitridverbindungshalbleiter-Bauelementen wie beispielsweise LEDs oder Halbleiterlasern werden die funktionellen Schichten des Bauelements in der Regel epitaktisch auf einem geeigneten Aufwachssubstrat abgeschieden. Zum Aufwachsen von Nitridverbindungshalbleiter-Schichten sind insbesondere Saphirsubstrate geeignet. Beim heteroepitaktischen Aufwachsen eines Nitridverbindungshalbleiters auf Saphir können sich aufgrund der vorhandenen Gitterfehlanpassung Defekte in dem Halbleitermaterial ausbilden, welche möglicherweise die Eigenschaften des Bauelements beeinträchtigen können.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, bei einem auf einem Nitridverbindungshalbleiter basierenden Bauelement die epitaktische Schichtenfolge an einer dem Aufwachssubstrat gegenüberliegenden Seite mit einem Träger zu verbinden und anschließend das Aufwachssubstrat abzulösen. Zum Ablösen des Aufwachssubstrats von einem Nitridverbindungshalbleiter-Bauelement kann insbesondere ein an sich bekanntes Laser-Lift-Off-Verfahren eingesetzt werden. Eine auf diese Weise

hergestellte LED wird auch als Dünnfilm-LED bezeichnet. Zur Verbesserung der Strahlungsauskopplung kann eine dem Träger gegenüberliegende Oberfläche mit einer Auskoppelstruktur oder einer Aufrauhung versehen werden.

Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements anzugeben, mit dem insbesondere eine geringe Defektdichte erzielt wird. Weiterhin soll die gezielte Ausbildung von Auskoppelstrukturen erleichtert werden, welche die Abstrahlcharakteristik des Bauelements beeinflussen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Bei dem Verfahren wird gemäß zumindest einer Ausgestaltung ein Aufwachssubstrat bereitgestellt, auf das eine erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht aufgewachsen wird.

Dass eine Schicht oder ein Element „auf" oder „über" einer anderen Schicht oder einem anderen Element angeordnet oder aufgebracht ist, kann hier und im Folgenden bedeuten, dass die eine Schicht oder das eine Element unmittelbar in direktem mechanischem und/oder elektrischem Kontakt auf der anderen Schicht oder dem anderen Element angeordnet ist. Weiterhin kann es auch bedeuten, dass die eine Schicht oder das eine Element mittelbar auf beziehungsweise über der anderen Schicht oder dem anderen Element angeordnet ist. Dabei können dann weitere Schichten und/oder Elemente zwischen der einen und der anderen Schicht beziehungsweise zwischen dem einen und dem anderen Element angeordnet sein.

Vor dem Aufwachsen der ersten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht wird vorzugsweise eine Nukleationsschicht, beispielsweise eine Schicht, die Aluminiumnitrid aufweist, aufgebracht. Die Nukleationsschicht kann zum Beispiel durch Sputtern aufgebracht werden. Die erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht und die in nachfolgenden weiteren Verfahrensschritten aufgebrachten weiteren Nitridverbindungshalbleiter-Schichten werden vorzugsweise epitaktisch aufgebracht, insbesondere durch metallorganische Gasphasenepitaxie (MOVPE).

Auf der ersten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht wird vorteilhaft eine Maskenschicht abgeschieden. Die Maskenschicht ermöglicht aufgrund ihrer Struktur und/oder ihrer Oberflächeneigenschaften ein selektives Wachstum einer zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht.
Die Maskenschicht kann insbesondere SiN oder SiGaN aufweisen oder daraus bestehen. Die Maskenschicht ist vorzugsweise eine nicht geschlossene Schicht, die eine Vielzahl von stochastisch verteilten Öffnungen aufweist. Insbesondere kann die Maskenschicht eine inselförmige Schicht sein, d.h. eine Schicht, deren Wachstum im Anfangsstadium noch vor dem vollständigen Zusammenwachsen der Kristallite zu einer geschlossenen Schicht abgebrochen wurde. Die Dicke der Maskenschicht beträgt vorzugsweise nur eine oder wenige Atomlagen. Beispielsweise kann die Maskenschicht eine mittlere Dicke von etwa 0,2 nm bis 2 nm aufweisen. Bevorzugt wird die Maskenschicht mittels MOVPE abgeschieden.

In einem weiteren Schritt wird eine zweite Nitridverbindungshalbleiter-Schicht auf der Maskenschicht aufgewachsen. Beim Aufwachsen der zweiten

Nitridverbindungshalbleiter-Schicht entstehen aufgrund der Struktur und/oder der Oberflächeneigenschaften der Maskenschicht dreidimensionale Inseln aus dem Nitridverbindungshalbleitermaterial. Beispielsweise beginnt die Nukleation des Nitridverbindungshalbleiter-Materials der zweiten Nitridverbindungshalbleiter Schicht in Öffnungen der Maskenschicht. Die dreidimensionalen Inseln können das Material der Maskenschicht zumindest teilweise überwachsen. Das Wachstum der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht wird vorteilhaft vor dem Zusammenwachsen der dreidimensionalen Inseln zu einer geschlossenen Schicht abgebrochen.

In einem nachfolgenden Schritt wird über der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht eine dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht aufgewachsen. Beim Aufwachsen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht werden die Wachstumsbedingungen, insbesondere die Temperatur und/oder die Gasflüsse, derart eingestellt, dass ein vorwiegend dreidimensionales Wachstum erfolgt. Ein vorwiegend dreidimensionales Wachstum bedeutet insbesondere, dass die Oberfläche der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht im Wesentlichen durch Kristallflächen gebildet wird, welche nicht parallel zum Aufwachssubstrat verlaufen. Insbesondere sind die Kristallflächen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht überwiegend nicht in der c-Ebene orientiert. Die c-Ebene entspricht insbesondere einer [0001]-Kristalloberfläche des Nitridverbindungshalbleiter-Materials. Das Wachstum der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht in der [0001]-Kristallrichtung ist vorzugsweise vernachlässigbar gering. Die dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht bildet aufgrund der Wachstumsbedingungen nicht-planare

dreidimensionale Strukturen, insbesondere pyramidenförmige Strukturen, aus.

Über den nicht-planaren Strukturen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht wird bei dem Verfahren vorteilhaft eine vierte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht aufgewachsen, wobei die Wachstumsbedingungen derart eingestellt werden, dass ein vorwiegend zweidimensionales Wachstum erfolgt. Ein vorwiegend zweidimensionales Wachstum bedeutet insbesondere, dass die Oberfläche der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht im Wesentlichen durch Kristallflächen gebildet wird, welche parallel zum Aufwachssubstrat verlaufen. Insbesondere ist die Oberfläche der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht überwiegend in der c-Ebene orientiert, welche der [0001]-Kristalloberfläche des Nitridverbindungshalbleiter-Materials entspricht. Vorzugsweise überdeckt die vierte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht die nicht-planaren Strukturen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht vollständig und weist eine im Wesentlichen ebene Oberfläche auf. Mit anderen Worten werden die nicht-planaren Strukturen von der vierten Nitridverbindungshalbleiter Schicht vorzugsweise vollständig planarisiert.

Bei einer Ausgestaltung kann nach dem Aufwachsen der dritten Nitridverbindungshalbleiterschicht und vor dem Aufwachsen der vierten Nitridverbindungshalbleiterschicht ein Zwischenschritt erfolgen, in dem eine weitere Maskenschicht, bevorzugt aus SiN, aufgewachsen wird und nachfolgend eine weitere Nitridverbindungshalbleiterschicht unter vorwiegend dreidimensionales Wachstumsbedingungen, d.h. unter Wachstumsbedingungen wie im Zusammenhang mit der dritten Nitridverbindungshalbleiterschicht beschrieben, aufgewachsen

wird. Dieser Zwischenschritt kann gegebenenfalls einmal oder mehrmals wiederholt werden. Das Ausbilden der pyramidenförmigen Strukturen kann dadurch verstärkt werden. Im Anschluss an den Zwischenschritt erfolgt bei dieser Ausgestaltung das Aufwachsen der vierten Nitridverbindungshalbleiterschicht wie zuvor beschrieben.

In einem nachfolgenden Schritt wird die funktionelle Schichtenfolge des Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements auf der vorzugsweise vollständig planaren Oberfläche der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht aufgewachsen. Die funktionelle Schichtenfolge kann insbesondere eine Leuchtdiodenschichtenfolge sein.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung wird in einem weiteren Schritt die funktionelle Schichtenfolge an einer dem Aufwachssubstrat gegenüber liegenden Seite mit einem Träger verbunden. Nachfolgend wird das Aufwachssubstrat von der auf diese Weise hergestellten Halbleiterschichtenfolge abgelöst. Das Ablösen des Aufwachssubstrats erfolgt bevorzugt mittels eines Laser-Lift-Off-Prozesses. Alternativ ist es aber auch möglich, das Aufwachssubstrat durch ein nasschemisches Verfahren, durch die Anwendung von Ultraschall, durch die Erzeugung von mechanischen Scherkräften, beispielsweise durch eine Temperaturbehandlung, oder durch mechanische Krafteinwirkung abzulösen. Das vergleichsweise teure Aufwachssubstrat, das insbesondere Saphir aufweist, kann nach dem Ablösen vorteilhaft wiederverwendet werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung werden in einem weiteren Schritt Auskoppelstrukturen an einer vom Träger abgewandten Oberfläche des Bauelements durch einen Ätzprozess erzeugt, wobei durch den Ätzprozess die erste, zweite und

dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht zumindest teilweise abgetragen werden.

Es hat sich herausgestellt, dass die Grenzfläche zwischen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht und der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht bei dem Ätzprozess wie eine Ätzstoppschicht wirkt. Der Ätzprozess wird an dieser Grenzfläche verlangsamt oder sogar ganz gestoppt. Es wird vermutet, dass dies insbesondere darauf beruht, dass beim Verändern der Wachstumsbedingungen zwischen dem Herstellen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht und dem Herstellen der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht Defekte an den Oberflächen der nicht-planaren Strukturen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht abknicken. Das Stoppen des Ätzprozesses bei der Herstellung der Auskoppelstrukturen erfolgt somit insbesondere an der nicht-planaren Grenzfläche zwischen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht und der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht. Die Auskoppelstrukturen werden daher zumindest teilweise von nicht-planaren Oberflächen der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht gebildet, welche zuvor die Grenzfläche zur dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht ausgebildet haben. Die dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht wird bei dem Ätzprozess ganz oder teilweise abgetragen. Mit anderen Worten sind die Auskoppelstrukturen invers zu den nicht-planaren Strukturen, welche bei der Herstellung der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht ausgebildet wurden.

Die Form und/oder die Größe der Auskoppelstrukturen wird bei dem Verfahren vorteilhaft durch die bei der Herstellung der zweiten und dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht erzeugten nicht-planaren Strukturen definiert. Diese können

hinsichtlich ihrer Größe und Verteilung insbesondere durch die Maskenschicht beeinflusst werden. Weiterhin kann die Form der nicht-planaren Strukturen durch die Wachstumsbedingungen und die Wachstumszeit bei der Herstellung der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht eingestellt werden.

Vorzugsweise wird die Ausbildung der nicht-planaren Strukturen beim Aufwachsen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht durch ein geeignetes Verfahren monitoriert, insbesondere durch in-situ Reflektometrie. Beispielsweise kann die Reflexion eines Laserstrahls unter senkrechtem Einfall gemessen werden. Die Reflexion unter senkrechtem Einfall vermindert sich mit zunehmender Größe der nicht-planaren Strukturen, da diese den Laserstrahl seitlich ablenken oder diffus streuen. Auf diese Weise ist es möglich, dass Aufwachsen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht zu stoppen, wenn die nicht-planaren Strukturen eine gewünschte Größe erreicht haben.

Die nicht-planaren Strukturen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht können insbesondere im Wesentlichen pyramidenförmige Strukturen sein. Die pyramidenförmigen Strukturen entstehen vorteilhaft selbstorganisiert beim dreidimensionalen Wachstum der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht. Insbesondere können die pyramidenförmigen Strukturen Seitenfacetten aufweisen, die durch eine [1-101]-Kristallfläche oder eine [11-22]-Kristallfläche gebildet sind. Entsprechend weisen auch die beim Ätzprozess erzeugten Auskoppelstrukturen Seitenfacetten auf, die durch eine [1-101]-Kristallfläche oder eine [11-22]-Kristallfläche gebildet sind.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung weisen die nicht-planaren Strukturen im Mittel eine Höhe zwischen 1 µm und 5 µm, bevorzugt zwischen 2 µm und 3 µm, auf.

Der Ätzprozess zur Herstellung der Auskoppelstrukturen erfolgt vorteilhaft nasschemisch, wobei vorzugsweise KOH als Ätzmittel verwendet wird. Bei dem nasschemischen Ätzprozess dringt das Ätzmittel insbesondere entlang von in vertikaler Richtung verlaufenden Versetzungen in das Halbleitermaterial vor. Grenzflächen, an denen Versetzungen aus der vertikalen Richtung abknicken, z.B. in die in lateraler Richtung verlaufende c-Ebene, verlangsamen oder stoppen den Ätzprozess daher.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung werden die zweite Nitridverbindungshalbleiter-Schicht und/oder die vierte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht bei einer Wachstumstemperatur von mehr als 1050 °C hergestellt. Bei dieser Wachstumstemperatur tritt im Wesentlichen zweidimensionales Wachstum auf.

Die dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht wird vorzugsweise mit einer Wachstumstemperatur hergestellt, die um mindestens 40 °C, bevorzugt um 50 °C bis 80 °C, kleiner ist als die Wachstumstemperatur der zweiten und/oder vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht. Durch die geringere Wachstumstemperatur beim Aufwachsen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht wird die Ausbildung der dreidimensionalen nicht-planaren Strukturen begünstigt.

Vorzugsweise werden die Nitridverbindungshalbleiter-Schichten mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE) hergestellt, wobei NH3 als Reaktionsgas zur Bereitstellung

der Stickstoffkomponente verwendet wird. Vorzugsweise ist der NH3-Gasfluss bei der Herstellung der zweiten und dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht um mindestens 70 % geringer, vorzugsweise von 70% bis 90% geringer als bei der Herstellung der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht. Der verminderte NH3-Gasfluss begünstigt wie die verminderte Wachstumstemperatur die Ausbildung der dreidimensionalen nicht-planaren Strukturen.

Die bei dem Verfahren verwendete Maskenschicht ist vorzugsweise eine Siliziumnitridschicht. Auf Siliziumnitrid kann ein Nitridverbindungshalbleiter nur vergleichsweise schlecht aufwachsen. Die Maskenschicht aus Siliziumnitrid bewirkt daher ein selektives Aufwachsen der zweiten Nitridverbindungshalbleiter Schicht in Ausnehmungen der Maskenschicht und/oder in Form von einzelnen Inseln, welche die Maskenschicht lateral überwachsen.

Als Aufwachsubstrat wird bei dem Verfahren vorzugsweise ein Saphirsubstrat verwendet. Da das Aufwachsubstrat bei dem Verfahren vorteilhaft nach dem Verbinden mit einem Träger abgelöst wird, kann das vergleichsweise teure Aufwachsubstrat vorteilhaft wieder verwendet werden.

Die funktionelle Schichtenfolge enthält vorzugsweise einen n-dotierten Halbleiterbereich, einen p-dotierten Halbleiterbereich und eine zwischen dem n-dotierten Halbleiterbereich und dem p-dotierten Halbleiterbereich angeordnete aktive Schicht. Die aktive Schicht ist vorzugsweise eine zur Emission von elektromagnetischer Strahlung geeignete Schicht. Insbesondere kann das Nitridverbindungshalbleiter-Bauelement eine Leuchtdiode sein.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 7 näher erläutert.

Es zeigen:

Figuren 1 bis 7 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des Verfahrens anhand von Zwischenschritten.

Gleiche oder gleich wirkende Bestandteile sind in den Figuren jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Bestandteile sowie die Größenverhältnisse der Bestandteile untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen.

Bei dem in Figur 1 schematisch dargestellten ersten Schritt des Verfahrens ist eine erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 auf ein Aufwachssubstrat 10 aufgewachsen worden. Das Aufwachsubstrat 10 ist vorzugsweise ein Saphirsubstrat.

Die hier dargestellte erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 umfasst wie die weiteren in nachfolgenden Verfahrensschritten aufgebrachten Nitridverbindungshalbleiter-Schichten ein III-Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial, vorzugsweise $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$, wobei $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$. Dabei muss dieses Material nicht zwingend eine mathematisch exakte Zusammensetzung nach obiger Formel aufweisen. Vielmehr kann es einen oder mehrere Dotierstoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen, die die charakteristischen physikalischen Eigenschaften des $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$-Materials im Wesentlichen nicht ändern. Der Einfachheit halber beinhaltet

obige Formel jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters (In, Al, Ga, N), auch wenn diese teilweise durch geringe Mengen weiterer Stoffe ersetzt sein können. Die erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 kann insbesondere eine GaN-Schicht sein.

Das Aufwachsen der ersten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 erfolgt wie das Aufwachsen der weiteren Nitridverbindungshalbleiter-Schichten vorzugsweise durch metallorganische Gasphasenepitaxie (MOVPE). Die erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 ist vorzugsweise 10 nm bis 1000 nm dick, beispielsweise etwa 300 nm.

Es ist möglich, dass vor dem Aufwachsen der ersten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 eine dünne Nukleationsschicht (nicht dargestellt) auf das Aufwachsubstrat 10 aufgebracht wird, zum Beispiel durch Sputtern. Die Nukleationsschicht kann insbesondere AlN enthalten.

Bei dem in Figur 2 dargestellten Zwischenschritt ist eine Maskenschicht 11 auf die erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 aufgebracht worden. Die Maskenschicht 11 ist aus einem Material gebildet, auf dem ein Nitridverbindungshalbleiter-Material nicht ohne weiteres aufwachsen kann. Die Maskenschicht 11 ist vorzugsweise eine Siliziumnitridschicht. Die Maskenschicht 11 weist vorzugsweise eine Vielzahl von Öffnungen auf, die im Mittel eine laterale Ausdehnung a von etwa 100 nm bis 1000 nm aufweisen. Die zwischen den Öffnungen angeordneten Bereiche der Maskenschicht 11 weisen vorteilhaft eine laterale Ausdehnung b von etwa 10 nm bis 500 nm auf.

Bei dem in Figur 3 dargestellten Zwischenschritt ist eine zweite Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 über der ersten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 und der Maskenschicht 11 aufgewachsen worden. Die zweite Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 wächst im Wesentlichen in den Öffnungen der Maskenschicht auf, wobei das Material der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 die Maskenschicht 11 zumindest teilweise lateral überwachsen kann. Die zweite Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 wird beispielsweise mittels MOVPE mit einem NH3-Gasfluss von 10 slm bis 50 slm bei einer Wachstumsrate von 1 µm/h aufgewachsen.

Das Aufwachsen der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 erfolgt vorzugsweise bei einer Wachstumstemperatur von mehr als 1050 °C. Die Wachstumstemperatur ist insbesondere so gewählt, dass ein im Wesentlichen zweidimensionales Wachstum auftritt. Mit anderen Worten wächst das Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1 im Wesentlichen in einer [0001]-Kristallrichtung, so dass die Oberfläche der aufwachsenden Kristallite hauptsächlich durch eine [0001]-Kristallebene gebildet wird, die auch als c-Ebene bezeichnet wird. Das Wachstum der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 wird vorteilhaft abgebrochen, bevor die wachsenden Kristallite zusammengewachsen sind.

In einem weiteren in Figur 4 schematisch dargestellten Verfahrensschritt ist eine dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 über der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 aufgewachsen worden. Beim Aufwachsen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 werden die Wachstumsbedingungen derart geändert,

dass ein im Wesentlichen dreidimensionales Wachstum der Kristallite erfolgt. Dies kann insbesondere dadurch erfolgen, dass die Wachstumstemperatur um mindestens 40 °C, bevorzugt um etwa 50 °C bis 80 °C, gegenüber der Wachstumstemperatur der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 vermindert wird.

Insbesondere wächst die dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 im Wesentlichen in Kristallrichtungen, die nicht der [0001]-Kristallrichtung entsprechen. Beim Aufwachsen der der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 entstehen dreidimensionale nicht-planare Strukturen, die insbesondere pyramidenförmig sein können. Die Seitenfacetten 3a der pyramidenförmigen Strukturen sind insbesondere durch eine [1-101]-Kristallfläche oder eine [11-22]-Kristallfläche gebildet.

Das Wachstum der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 wird vorzugsweise beendet, wenn die wachsenden dreidimensionalen Strukturen vollständig zu pyramidenförmigen Strukturen mit einer gewünschten Höhe ausgebildet sind. Das Wachstum kann zum Beispiel in-situ in der Beschichtungsanlage durch Reflektometrie monitoriert werden. Hierzu wird beispielsweise ein Laserstrahl unter senkrechtem Einfallswinkel, d.h. parallel zur Wachstumsrichtung, auf die Aufwachsoberfläche gerichtet und die Reflektivität der Oberfläche aus der mit einem Detektor gemessenen reflektierten Intensität bestimmt. Die Reflektivität nimmt mit zunehmender Größe der pyramidenförmigen Strukturen ab. Durch eine Kalibrierung kann daher aus der Reflektivität der Oberfläche auf die Größe der pyramidenförmigen Strukturen geschlossen werden. Vorteilhaft werden pyramidenförmige

Strukturen mit Höhen zwischen 1 µm und 5 µm, bevorzugt zwischen 2 µm und 3 µm, erzeugt.

Bei dem in Figur 5 dargestellten weiteren Verfahrensschritt ist eine vierte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 über den nicht-planaren Strukturen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 aufgewachsen worden. Zum Aufwachsen der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 werden die Wachstumsbedingungen erneut verändert. Wie beim Aufwachsen der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 werden die Wachstumsbedingungen derart eingestellt, dass ein im Wesentlichen zweidimensionales Wachstum erfolgt. Auf diese Weise wird erreicht, dass die pyramidenförmigen Strukturen derart überwachsen werden, dass eine im Wesentlichen planare Oberfläche entsteht. Es hat sich herausgestellt, dass Defekte an den Grenzflächen der nicht-planaren Strukturen, insbesondere an den schräg zum Aufwachsubstrat verlaufenden [1-101]-Kristallflächen oder [11-22]-Kristallflächen, abknicken. Die Defektdichte in der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 ist daher besonders gering. Insbesondere wird durch die zweimalige Veränderung der Wachstumsbedingungen von einem im Wesentlichen zweidimensionalen zum einem wesentlichen dreidimensionalen Wachstum und umgekehrt eine besonders geringe Defektdichte in dem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 erreicht.

Die Wachstumsbedingungen beim Aufwachsen der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 können insbesondere den Wachstumsbedingungen beim Aufwachsen der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 entsprechen. Insbesondere wird beim Aufwachsen der vierten

Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 die Wachstumstemperatur gegenüber der Wachstumstemperatur der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 erhöht, vorzugsweise um 50 °C bis 80 °C. Beispielsweise erfolgt eine Erhöhung der Wachstumstemperatur um etwa 75 °C. Beim Aufwachsen der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 kann außerdem der NH3-Gasfluss erhöht werden. Vorzugsweise beträgt der NH3-Gasfluss beim Aufwachsen der zweiten und dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schichten 2, 3 etwa 10 % bis 30 % des Wertes beim Aufwachsen der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4. Beispielsweise kann der NH3-Gasfluss beim Aufwachsen der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 und dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 etwa 10 slm und beim Aufwachsen der der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 etwa 50 slm betragen. Es ist aber auch möglich, dass der NH3-Gasfluss konstant gehalten wird und beim Aufwachsen der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 nur die Wachstumstemperatur erhöht wird.

Die im Wesentlichen planare Oberfläche der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 wird im nachfolgenden Verfahrensschritt, der in Figur 6 dargestellt ist, zum Aufwachsen einer funktionellen Halbleiterschichtenfolge 8 genutzt. Die Qualität der funktionellen Halbleiterschichtenfolge 8 profitiert insbesondere von der geringen Defektdichte in der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4, auf der sie aufgewachsen wird. Insbesondere zeichnet sich die funktionelle Halbleiterschichtenfolge 8 durch eine sehr geringe Defektdichte aus, die insbesondere durch die zweimalige Veränderung der Wachstumsbedingungen der darunter

liegenden Nitridverbindungshalbleiter-Schichten 2, 3, 4 erreicht wird.

Die funktionelle Halbleiterschichtenfolge 8 kann insbesondere eine lichtemittierende Halbleiterschichtenfolge eines optoelektronischen Bauelements sein. Beispielsweise ist das Nitridverbindungshalbleiter-Bauelement eine LED und die funktionelle Halbleiterschichtenfolge 8 eine Leuchtdiodenschichtenfolge. Die funktionelle Halbleiterschichtenfolge 8 kann insbesondere einen n-Typ-Halbleiterbereich 5, eine aktive Schicht 6 und einen p-Typ Halbleiterbereich 7 aufweisen. Die nur vereinfacht dargestellte Leuchtdiodenschichtenfolge kann aus einer Vielzahl von Einzelschichten zusammengesetzt sein, wobei derartige Schichtenfolgen an sich bekannt sind und daher nicht näher erläutert werden.

Weiterhin ist die funktionelle Halbleiterschichtenfolge 8 bei dem in Figur 6 dargestellten Zwischenschritt an einer dem Aufwachssubstrat 10 gegenüberliegenden Seite mit einem Träger 13 verbunden worden. Bei dem Träger 13 kann es sich insbesondere um einen Silizium-Wafer handeln. Der Träger 13 kann mit einer Verbindungsschicht 12 wie beispielsweise einer Lotschicht mit der funktionellen Halbleiterschichtenfolge 8 verbunden werden. Vorteilhaft wird die funktionelle Halbleiterschichtenfolge 8 vor der Verbindung mit dem Träger 13 mit einer Spiegelschicht 9 versehen, um im fertiggestellten Nitridverbindungshalbleiter-Bauelement in Richtung des Trägers 13 emittierte Strahlung zur gegenüberliegenden Strahlungsaustrittsfläche zu reflektieren und auf diese Weise die Strahlungsausbeute zu verbessern. Die Spiegelschicht 9 kann zum Beispiel Silber oder Aluminium aufweisen. Weiterhin kann die funktionelle Halbleiterschicht

mit elektrischen Kontakten versehen werden (nicht dargestellt). Ein elektrischer Kontakt kann beispielsweise durch eine elektrische leitfähige Spiegelschicht 9 ausgebildet sein. Weiterhin ist es möglich, dass Vias zur elektrischen Kontaktierung in den n-Typ Halbleiterbereich 7 geführt werden. Solche Möglichkeiten zur elektrischen Kontaktierung sind an sich bekannt und daher in den Figuren nicht im Detail dargestellt.

In dem in Figur 7 dargestellten Verfahrensschritt ist das Aufwachssubstrat 10 von der hergestellten Schichtenfolge abgelöst worden. Das Aufwachssubstrat 10 kann insbesondere durch einen Laser-Lift-Off-Prozess von der Schichtenfolge abgelöst werden. Alternativ kann das Aufwachssubstrat 10 zum Beispiel durch Anwendung von Ultraschall, durch ein nasschemisches Verfahren, durch die Erzeugung von Scherkräften, insbesondere durch eine Temperaturbehandlung, oder durch rein mechanische Krafteinwirkung abgelöst werden.

Weiterhin ist ein Ätzprozess durchgeführt worden, mit dem die erste Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 1, die Maskenschicht 11, die zweite Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 2 und die dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 zumindest teilweise abgetragen worden sind. Der Ätzprozess erfolgt vorzugsweise nasschemisch, wobei KOH als Ätzmittel eingesetzt wird. Der Ätzprozess dient der Erzeugung von Auskoppelstrukturen 14 an der dem Träger 13 gegenüber liegenden Oberfläche des Bauelements, welche insbesondere die Strahlungsaustrittsfläche sein kann.

Es hat sich herausgestellt, dass der Ätzprozess insbesondere an den Grenzflächen stoppt, welche zuvor die Seitenfacetten der pyramidenförmigen Strukturen ausgebildet haben. An den

Seitenfacetten enden senkrecht verlaufende Versetzungen, in welchen das Ätzmittel bevorzugt in das Halbleitermaterial vordringt, so dass der Ätzprozess an den Seitenfacetten verlangsamt oder sogar ganz gestoppt wird. Die Seitenfacetten der pyramidenförmigen Strukturen wirken daher wie eine Ätzstoppschicht.

Die Seitenfacetten 14a der Auskoppelstrukturen 14 können daher zumindest teilweise durch eine [1-101]-Kristallfläche oder eine [11-22]-Kristallfläche gebildet sein. Die Auskoppelstrukturen 14 sind vorteilhaft dreidimensionale Strukturen, welche zumindest teilweise invers zu den nicht-planaren dreidimensionalen Strukturen sind, die beim Aufwachsen der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 erzeugt worden sind.

Die Größe und die Form der Auskoppelstrukturen 14 können daher insbesondere durch die Wachstumszeit und Wachstumsbedingungen bei der Herstellung der dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 3 beeinflusst werden. Weiterhin können die Auskoppelstrukturen hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung und Größe durch die Struktur der zuvor aufgebrachten Maskenschicht 11 gezielt beeinflusst werden. In Abhängigkeit von der Größe der Auskoppelstrukturen 14 kann nicht nur die Strahlungsauskopplung verbessert werden, sondern gegebenenfalls auch die räumliche Abstrahlcharakteristik gezielt beeinflusst werden. Somit besteht bereits während des Epitaxieprozesses die Möglichkeit, die Abstrahlcharakteristik über den Raumwinkel und somit das Fernfeld des optoelektronischen Bauelements zu beeinflussen.

Die Auskoppelstrukturen 14 können auch weitere Ausnehmungen in der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4 umfassen, welche nicht den inversen pyramidenförmigen Strukturen der dritten Nitridverbindungshalbleiterschicht 3 entsprechen. Diese Ausnehmungen sind in Fig. 7 durch die kleineren Pyramiden neben und zwischen den größeren Pyramiden angedeutet und entstehen beim Ätzprozess ausgehend von den zuvor ebenen Bereichen der Oberfläche der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht 4. Der Ätzprozess stoppt in diesem Fall insbesondere an noch vorhandenen Versetzungen, die parallel zur kristallografischen c-Ebene sind. An diesen quer verlaufenden Versetzungen enden in der Regel senkrecht verlaufende Versetzungen, in welchen das Ätzmittel bevorzugt in das Halbleitermaterial vordringt. Somit wirken auch parallel zu c-Ebene verlaufende Versetzungen ähnlich wie eine Ätzstoppschicht.

Die 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.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements, umfassend die Schritte:
   - Aufwachsen einer ersten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (1) auf ein Aufwachssubstrat (10),
   - Abscheiden einer Maskenschicht (11),
   - Aufwachsen einer zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (2) über der Maskenschicht (11),
   - Aufwachsen einer dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (3) über der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (2), derart, dass die dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (3) nicht-planare Strukturen (3a) aufweist,
   - Aufwachsen einer vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (4) über den nicht-planaren Strukturen (3a) derart, dass die vierte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (4) eine im Wesentlichen planare Oberfläche aufweist,
   - Aufwachsen einer funktionellen Schichtenfolge (8) des Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements,
   - Verbinden der funktionellen Schichtenfolge (8) an einer dem Aufwachssubstrat (10) gegenüberliegenden Seite mit einem Träger (13),
   - Ablösen des Aufwachssubstrats (10), und
   - Erzeugen von Auskoppelstrukturen (14) an einer vom Träger (13) abgewandten Oberfläche des Nitridverbindungshalbleiter-Bauelements durch einen Ätzprozess, bei dem die erste, zweite und dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (1, 2, 3) zumindest teilweise abgetragen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die nicht-planaren Strukturen (3a) pyramidenförmige Strukturen sind.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die nicht-planaren Strukturen (3a) Seitenfacetten (9) aufweisen, die durch eine [1-101]-Kristallfläche oder eine [11-22]-Kristallfläche gebildet sind.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Auskoppelstrukturen zumindest teilweise durch eine [1-101]-Kristallfläche oder eine [11-22]-Kristallfläche gebildet sind.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die nicht-planaren Strukturen (3a) im Mittel eine Höhe zwischen 1 µm und 5 µm aufweisen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ätzprozess ein nasschemischer Ätzprozess ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweite Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (2) und/oder die vierte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (4) bei einer Wachstumstemperatur von mehr als 1050 °C hergestellt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die dritte Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (3) bei einer Wachstumstemperatur hergestellt wird, die um mindestens 40 °C kleiner ist als die Wachstumstemperatur der zweiten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (2).

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
   - wobei die Nitridverbindungshalbleiter-Schichten (1, 2, 3, 4) mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie hergestellt werden,
   - NH3 als Reaktionsgas verwendet wird,
   - ein NH3-Gasfluss bei der Herstellung der zweiten und dritten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (3) um mindestens 70% geringer ist als bei der Herstellung der vierten Nitridverbindungshalbleiter-Schicht (4).

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Maskenschicht (11) eine Siliziumnitridschicht ist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Maskenschicht eine Vielzahl von Öffnungen aufweist, die im Mittel eine laterale Ausdehnung von 100 nm bis 1000 nm aufweisen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Aufwachssubstrat (10) ein Saphirsubstrat ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die funktionelle Schichtenfolge (8) einen n-Typ Halbleiterbereich (5), einen p-Typ Halbleiterbereich (7) und eine zwischen dem n-Typ Halbleiterbereich (5) und dem p-Typ Halbleiterbereich angeordnete aktive Schicht (6) aufweist.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Nitridverbindungshalbleiter-Bauelement eine Leuchtdiode ist.

FIG 1

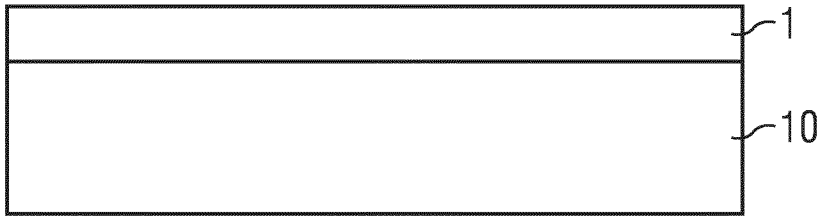


FIG 2

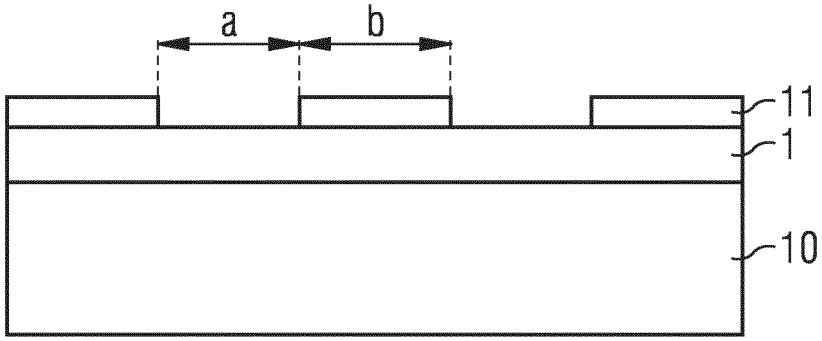


FIG 3

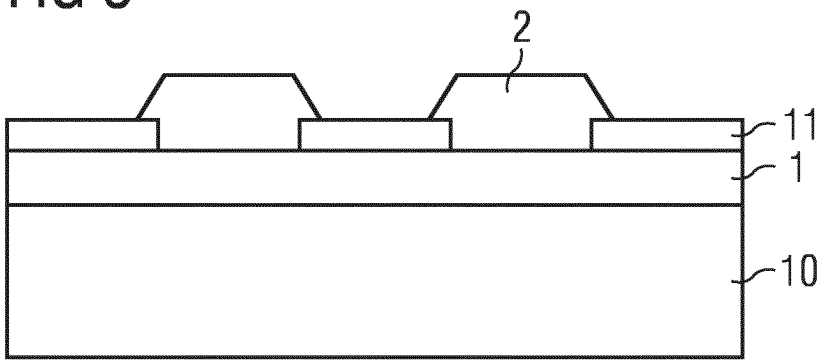


FIG 4

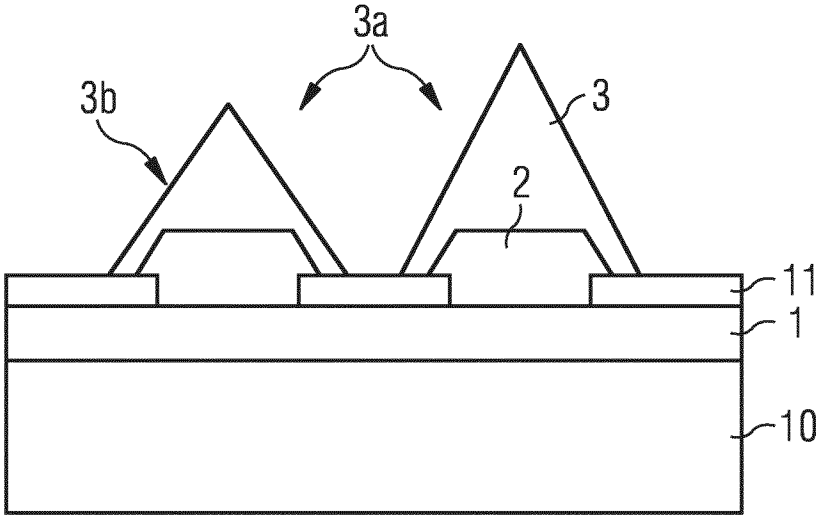


FIG 5

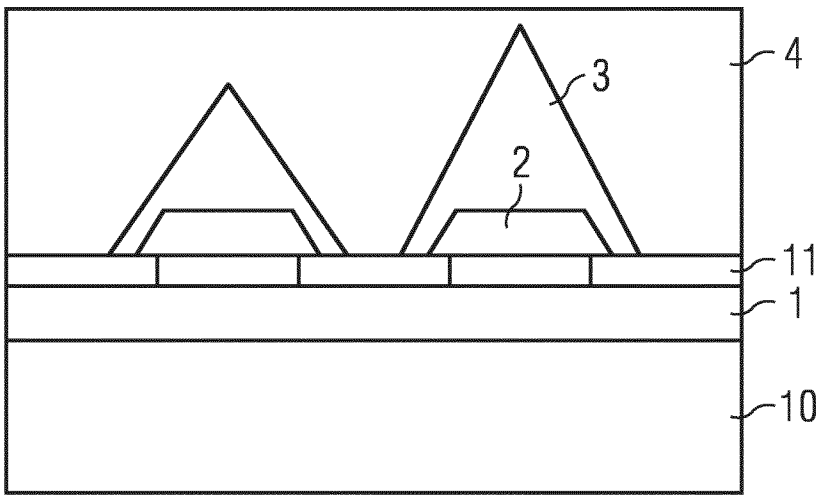


FIG 6

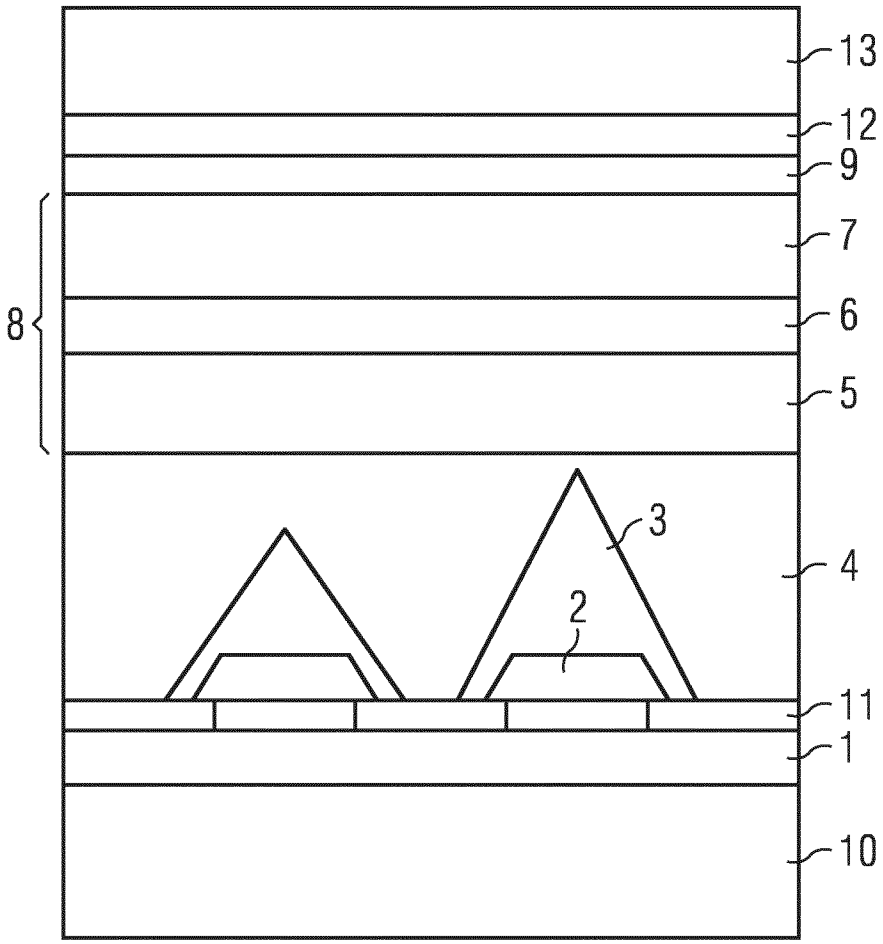
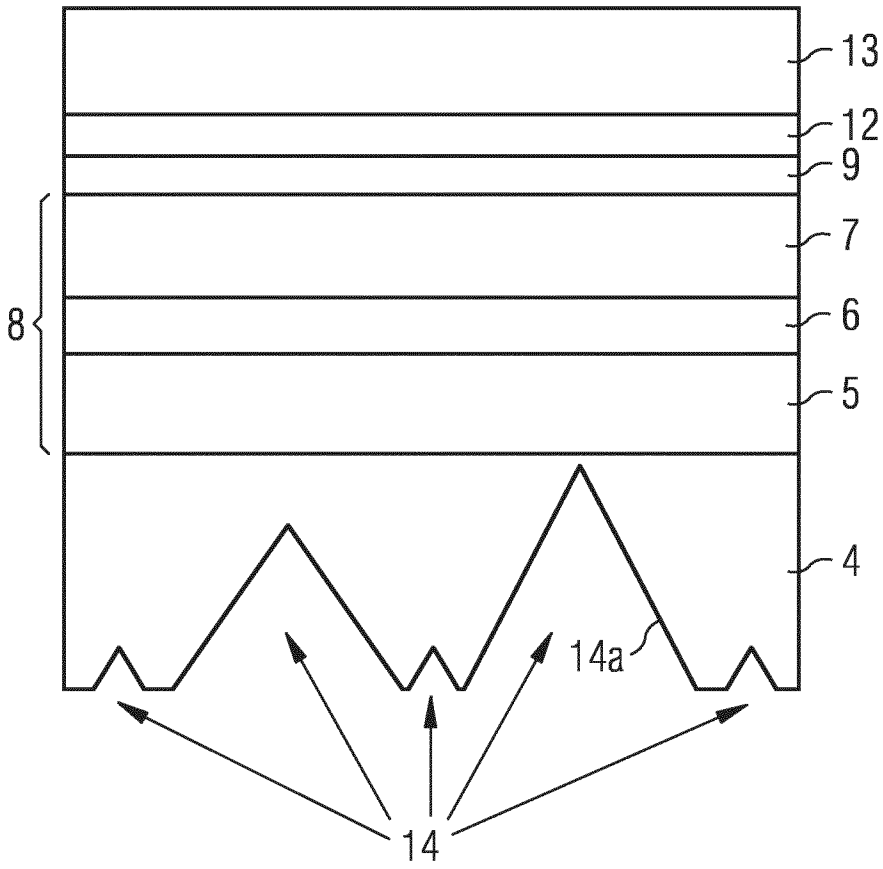


FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/060575

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L21/20 C30B29/40
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L C30B

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP H11 260737 A (RICOH KK) 24 September 1999 (1999-09-24) paragraph [0024] - paragraph [0067]; figure 6 -----	1-14
X	US 2003/183157 A1 (USUI AKIRA [JP] ET AL) 2 October 2003 (2003-10-02) paragraph [0043] - paragraph [0099]; figures 1-6 -----	1,5-14
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 August 2016	22/08/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Norga, Gerd

3

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CHELDA-GOURMALA O ET AL: "Complete HVPE experimental investigations: Cartography of SAG GaN towards quasi-substrates or nanostructures", JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 312, no. 12-13, 1 June 2010 (2010-06-01), pages 1899-1907, XP027039638, ISSN: 0022-0248 [retrieved on 2010-02-25] * Abschnitte "2. Experimental details"; "Results and discussion"; Abbildungen 1-12 *	7-9
A	US 2009/061636 A1 (LEE WEI-I [TW] ET AL) 5 March 2009 (2009-03-05) the whole document	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/060575

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP H11260737 A	24-09-1999	JP 3839580 B2	01-11-2006
		JP H11260737 A	24-09-1999
US 2003183157 A1	02-10-2003	CN 1447448 A	08-10-2003
		DE 10313062 A1	13-11-2003
		JP 4932121 B2	16-05-2012
		JP 2003277195 A	02-10-2003
		KR 20030077423 A	01-10-2003
		US 2003183157 A1	02-10-2003
		US 2006191467 A1	31-08-2006
US 2009061636 A1	05-03-2009	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/060575

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L21/20 C30B29/40
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L C30B

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP H11 260737 A (RICOH KK) 24. September 1999 (1999-09-24) Absatz [0024] - Absatz [0067]; Abbildung 6 -----	1-14
X	US 2003/183157 A1 (USUI AKIRA [JP] ET AL) 2. Oktober 2003 (2003-10-02) Absatz [0043] - Absatz [0099]; Abbildungen 1-6 -----	1,5-14

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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
12. August 2016	22/08/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Norga, Gerd

3

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	CHELDA-GOURMALA O ET AL: "Complete HVPE experimental investigations: Cartography of SAG GaN towards quasi-substrates or nanostructures", JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, Bd. 312, Nr. 12-13, 1. Juni 2010 (2010-06-01), Seiten 1899-1907, XP027039638, ISSN: 0022-0248 [gefunden am 2010-02-25] * Abschnitte "2. Experimental details"; "Results and discussion"; Abbildungen 1-12 *	7-9
A	US 2009/061636 A1 (LEE WEI-I [TW] ET AL) 5. März 2009 (2009-03-05) das ganze Dokument	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/060575

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP H11260737 A	24-09-1999	JP 3839580 B2	01-11-2006
		JP H11260737 A	24-09-1999
US 2003183157 A1	02-10-2003	CN 1447448 A	08-10-2003
		DE 10313062 A1	13-11-2003
		JP 4932121 B2	16-05-2012
		JP 2003277195 A	02-10-2003
		KR 20030077423 A	01-10-2003
		US 2003183157 A1	02-10-2003
		US 2006191467 A1	31-08-2006
US 2009061636 A1	05-03-2009	KEINE	