

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/228993 A1

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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Beschreibung

LEUCHTDIODENCHIP UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES
5 LEUCHTDIODENCHIPS

Es werden ein Leuchtdiodenchip und ein Verfahren zur Herstellung eines Leuchtdiodenchips angegeben.

10 Diese Anmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung Nr. 102017112875.1 vom 12. Juni 2017 in Anspruch, deren gesamter Inhalt hiermit durch Rückbezug vollumfänglich aufgenommen wird.

15 Leuchtdiodenchips, insbesondere auf der Basis von InGaAlP, weisen häufig aufgrund von nichtstrahlenden Rekombinationen von Ladungsträgern in der aktiven strahlungserzeugenden Zone an geätzten Seitenflächen eine geringe Effizienz auf.

20 Eine Aufgabe der vorliegenden Anmeldung ist es, einen Leuchtdiodenchip anzugeben, der eine im Vergleich zum Stand der Technik erhöhte Effizienz aufweist. Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Anmeldung, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Leuchtdiodenchips anzugeben.

25 Diese Aufgaben werden durch einen Leuchtdiodenchip mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Schritten des Patentanspruchs 10 gelöst.

30 Vorteilhafte Ausführungsformen sowie Weiterbildungen des Leuchtdiodenchips und des Verfahrens sind Gegenstand der jeweils abhängigen Ansprüche.

Es wird ein Leuchtdiodenchip angegeben. Der Leuchtdiodenchip umfasst eine epitaktische Halbleiterschichtenfolge mit einer aktiven Zone, die im Betrieb des Leuchtdiodenchips eine elektromagnetische Strahlung erzeugt.

5

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst der Leuchtdiodenchip eine Passivierungsschicht umfassend oder bestehend aus Magnesiumoxid und Magnesiumnitrid. Die Passivierungsschicht ist auf einer Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge aufgebracht und überdeckt zumindest die aktive Zone der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge seitlich.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst oder besteht die Passivierungsschicht aus MgO und Mg_3N_2 .

Weiterhin ist es auch möglich, dass sich die Passivierungsschicht vollflächig über die Seitenfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge erstreckt. Alternativ oder zusätzlich kann die Passivierungsschicht auch zumindest teilweise auf einer ersten Hauptfläche, insbesondere einer Lichtaustrittsfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge oder des Leuchtdiodenchips, angeordnet sein.

25

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist die Passivierungsschicht in direktem Kontakt mit einem Halbleiterverbundmaterial der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge angeordnet. Mit anderen Worten, weist die Passivierungsschicht mit der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge bevorzugt eine gemeinsame Grenzfläche auf.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist die Seitenfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge durch Ätzen erzeugt.

5 Die Erfinder haben festgestellt, dass an den Seitenflächen oder Seitenrändern, insbesondere an geätzten Seitenflächen der aktiven Zone der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge vermehrt nichtstrahlende Rekombinationen von Ladungsträgern, also Elektronen und Löchern, stattfinden. Insbesondere an den
10 Seitenflächen der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge werden nicht abgesättigte Zustände durch Störung der Kristallstruktur und somit freie Valenzen oder Bindungsstellen durch die Anbindung von Sauerstoff gesättigt. Das Halbleiterverbundmaterial wird mit anderen Worten im
15 Bereich der Seitenfläche der Halbleiterschichtfolge oxidiert. Dadurch entstehen Zwischenzustände in der Bandlücke, also zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband, die zu nichtstrahlenden Rekombinationen von Ladungsträgern führen. Dadurch stehen diese Ladungsträger nicht mehr zur Erzeugung
20 von elektromagnetischer Strahlung zur Verfügung, was eine Verringerung der Strahlung und somit der Effizienz des Leuchtdiodenchips zur Folge hat. Die Idee der vorliegenden Anmeldung ist es, die Sauerstoffbindungen des Halbleiterverbundmaterials an den Seitenflächen der
25 epitaktischen Halbleiterschichtenfolge, insbesondere im Bereich der aktiven Zone, gegen andere Bindungen zu ersetzen, um die Zwischenzustände in der Bandlücke, die durch die Sauerstoffanbindung resultieren, zu vermeiden beziehungsweise zu verringern. Hierzu wird eine Schicht umfassend oder
30 bestehend aus Magnesiumnitrid auf die Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge aufgebracht und diese überdeckt zumindest die aktive Zone der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge seitlich und vollständig. Da

Magnesium eine höhere Affinität zu Sauerstoff aufweist als die in einem Halbleiterverbundmaterial enthaltenen Elemente, findet ein Austausch von Sauerstoff und Stickstoff statt und es bilden sich an der Grenzfläche zur epitaktischen

5 Halbleiterschichtenfolge anstelle der Bindungen des Halbleiterverbundmaterials zum Sauerstoff Bindungen zum Stickstoff aus. Gleichzeitig bildet sich in der Schicht umfassend das Magnesiumnitrid Magnesiumoxid und es resultiert eine Passivierungsschicht umfassend oder bestehend aus
10 Magnesiumnitrid und Magnesiumoxid. Mit anderen Worten findet an der Grenzfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge und der Schicht umfassend oder bestehend aus Magnesiumnitrid eine Nitridierung des Halbleiterverbundmaterials der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge statt. Mit Vorteil
15 können so die Zwischenzustände in der Bandlücke an den Seitenflächen der Halbleiterschichtenfolge im Bereich der aktiven Zone vermieden oder erheblich reduziert werden, wodurch die strahlende Rekombination von Ladungsträgern in der aktiven Zone erhöht und so die Effizienz des
20 Leuchtdiodenchips gesteigert wird. Insbesondere ist eine erhebliche Effizienzsteigerung zu verzeichnen, wenn der Leuchtdiodenchip eine geringe laterale Ausdehnung aufweist. Bevorzugt weist der Leuchtdiodenchip eine Kantenlänge auf, die 500 µm, besonders bevorzugt 100 µm, nicht überschreitet.

25

Gemäß zumindest einer Ausführungsform liegen an der Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge, auf der die Passivierungsschicht angeordnet ist, und somit an der Grenzfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge und
30 der Passivierungsschicht Nitride des Halbleiterverbundmaterials vor. Mit anderen Worten liegen Bindungen des Halbleiterverbundmaterials zu Stickstoff vor.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform basiert die epitaktische Halbleiterschichtenfolge auf einem III/V-Halbleiterverbundmaterial.

- 5 Bei dem III/V-Halbleiterverbundmaterial handelt es sich besonders bevorzugt um ein Phosphid-Halbleiterverbundmaterial. Ein Phosphid-Halbleiterverbundmaterial ist ein Halbleiterverbundmaterial, das Phosphor enthält.

10

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das III/V-Halbleiterverbundmaterial ein Phosphid-Halbleiterverbundmaterial aus dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Insbesondere weist die

- 15 epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge eines dieser Materialien auf oder besteht aus einem dieser Materialien.

Mit Vorteil weist Magnesium mit einem Standardelektrodenpotential von $E^\circ = -2,7 \text{ V}$ eine höhere Affinität zu Sauerstoff auf als Aluminium, Gallium, Phosphor

- 20 und Indium. Beispielsweise hat Aluminium ein Standardelektrodenpotential von $E^\circ = -1,66 \text{ V}$. Nach dem Aufbringen der Schicht umfassend oder bestehend aus

Magnesiumnitrid auf der Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge findet eine Nitridierung von

- 25 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ unter Bildung von Indium-Stickstoff-, Aluminium-Stickstoff-, Gallium-Stickstoff- und/oder Phosphor-

Stickstoffbindungen an der Seitenfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge statt. Gleichzeitig bildet sich in der Schicht umfassend das Magnesiumnitrid Magnesiumoxid und

- 30 es resultiert eine Passivierungsschicht umfassend oder bestehend aus Magnesiumnitrid und Magnesiumoxid. So können Zwischenzustände in der Bandlücke, die durch die Sauerstoffanbindung an Gallium, Indium, Phosphor und/oder

Aluminium, insbesondere durch die Sauerstoffanbindung an Aluminium, resultieren, vermieden beziehungsweise verringert werden. Dadurch weist der Leuchtdiodenchip vorteilhafterweise eine sehr hohe Effizienz auf.

5

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist die epitaktische Halbleiterschichtenfolge an der Grenzfläche zur Passivierungsschicht Indium-Stickstoff-, Aluminium-Stickstoff-, Phosphor-Stickstoff und/oder Gallium-Stickstoffbindungen auf.

10

Die Passivierungsschicht weist bevorzugt eine Schichtdicke zwischen einschließlich 1 nm und einschließlich 1000 nm, bevorzugt zwischen einschließlich 5 nm und einschließlich 100 nm, auf.

15

Die Effizienzerhöhung ist besonders effektiv bei einem Leuchtdiodenchip, der ein vergleichsweise hohes Verhältnis von Seitenfläche zur Lichtaustrittsfläche aufweist. Das Verhältnis von Seitenfläche zur Lichtaustrittsfläche des Leuchtdiodenchips beträgt bevorzugt mindestens 0,01.

20

Gemäß zumindest einer Ausführungsform ist über der Passivierungsschicht eine Schutzschicht umfassend oder bestehend aus Siliziumnitrid, insbesondere umfassend oder bestehend aus Si_3N_4 , angeordnet. Dadurch wird der Leuchtdiodenchip vor Sauerstoff und/oder Feuchtigkeit geschützt.

25

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist die Schutzschicht eine Schichtdicke von einschließlich 1 nm bis einschließlich 1000 nm, bevorzugt von einschließlich 5 nm bis einschließlich 100 nm, auf.

30

Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Leuchtdiodenchips angegeben. Alle Merkmale des Leuchtdiodenchips gelten auch für das Verfahren zur Herstellung eines Leuchtdiodenchips und
5 umgekehrt.

Das Verfahren zur Herstellung eines Leuchtdiodenchips umfasst die folgenden Schritte, bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge:

- 10 A) Bereitstellen einer epitaktisch gewachsenen Halbleiterschichtenfolge mit einer aktiven Zone, die dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung zu erzeugen,
- B) Aufbringen einer Schicht umfassend oder bestehend aus Magnesiumnitrid auf eine Seitenfläche der epitaktischen
15 Halbleiterschichtenfolge. Insbesondere wird die Schicht so aufgebracht, dass sie zumindest die aktive Zone der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge seitlich überdeckt.
- D) Tempern des in Schritt B) hergestellten Verbunds aus Halbleiterschichtenfolge und Schicht umfassend
20 Magnesiumnitrid zur Bildung einer Passivierungsschicht umfassend Magnesiumoxid und Magnesiumnitrid. Die Temperatur zum Tempern liegt bevorzugt zwischen einschließlich 100 und 800 °C.
- 25 Während des Temperns in Schritt D) findet eine Nitridierung des Halbleiterverbundmaterials der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge statt, über der die Schicht umfassend oder bestehend aus Magnesiumnitrid aufgebracht wurde. Da Magnesium eine höhere Affinität zu Sauerstoff
30 aufweist als die in einem Halbleiterverbundmaterial enthaltenen Elemente, findet insbesondere ein Austausch von Sauerstoff und Stickstoff statt und es bilden sich an der Grenzfläche zur epitaktischen Halbleiterschichtenfolge

anstelle der Bindungen des Halbleiterverbundmaterials zum Sauerstoff Bindungen zum Stickstoff aus. Gleichzeitig bildet sich in der Schicht umfassend das Magnesiumnitrid Magnesiumoxid und es resultiert eine Passivierungsschicht

5 umfassend oder bestehend aus Magnesiumnitrid und Magnesiumoxid. Der Austausch von Sauerstoff und Stickstoff wird zudem durch die höhere Stabilität von Magnesiumoxid im Vergleich zu Magnesiumnitrid gefördert.

10 Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens werden zumindest Teile der Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge durch Ätzen, insbesondere durch Trockenätzen, erzeugt. Dies wird auch als Mesa-Ätzen bezeichnet. Die Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge kann zunächst teilweise durch Ätzen

15 erzeugt werden, während ein weiterer Teil der Seitenfläche durch einen anderen Trennprozess, wie beispielsweise Brechen, Sägen oder Laserschneiden, hergestellt werden kann. Besonders bevorzugt wird die aktive Zone der Halbleiterschichtenfolge durch Ätzen getrennt.

20 Gemäß zumindest einer Ausführungsform basiert die epitaktische Halbleiterschichtenfolge auf einem Phosphid-Halbleiterverbundmaterial und es bilden sich in Schritt D) an der Grenzfläche zwischen der Halbleiterschichtenfolge und der

25 Passivierungsschicht Indium-Stickstoff-, Phosphor-Stickstoff-, Aluminium-Stickstoff- und/oder Gallium-Stickstoffbindungen aus. Insbesondere sind nach Schritt D) keine oder kaum Indium-Sauerstoff-, Phosphor-Sauerstoff-, Aluminium-Sauerstoff- und/oder Gallium-Sauerstoffbindungen an

30 der Grenzfläche zwischen der Halbleiterschichtenfolge und der Passivierungsschicht vorhanden.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird das Magnesiumnitrid in Schritt B) durch Sputtern aufgebracht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird das

- 5 Magnesiumnitrid in Schritt B) in direktem Kontakt auf die Seitenfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge aufgebracht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform findet zwischen Schritt
10 B) und Schritt D) ein Schritt C) statt:

C) Aufbringen einer Schutzschicht auf die Schicht umfassend oder bestehend aus Siliziumnitrid, bevorzugt Si_3N_4 . Findet Verfahrensschritt C) statt, wird in Schritt D) ein in Schritt C) hergestellter Verbund getempert.

15

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispielen.

- 20 In den Ausführungsbeispielen und Figuren sind gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Bestandteile jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Elemente und deren Größenverhältnisse untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen. Vielmehr können einzelne
25 Elemente, insbesondere Schichtdicken, zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

Figuren 1A und 1B zeigen Leuchtdiodenchips ohne Passivierungsschicht.

30

Figuren 2A bis 2F zeigen schematisch ein Verfahren zur Herstellung eines Leuchtdiodenchips.

Figur 3 zeigt eine schematische Seitenansicht eines Leuchtdiodenchips.

Der Leuchtdiodenchip gemäß Figur 1a weist eine epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge 1 auf. Die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 umfasst eine aktive Zone 2, die dazu eingerichtet ist, im Betrieb des Leuchtdiodenchips eine elektromagnetische Strahlung S zu erzeugen. Die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 basiert bevorzugt auf einem Phosphid-Halbleiterverbundmaterial der Formel $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Die Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge 1c ist durch Trockenätzen erzeugt worden. Die Seitenfläche 1c zeichnet sich vorliegend dadurch aus, dass sie schräg zu einer Mittelachse des Leuchtdiodenchips ausgebildet sind. Die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 ist auf einem Substrat 6, beispielsweise aus GaAs, angeordnet. Insbesondere ist die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 auf einer ersten Hauptfläche des Substrats 6a angeordnet, während auf einer zweiten Hauptfläche des Substrats 6b ein zweiter elektrischer Kontakt 5 angeordnet ist. Über einer ersten Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge 1a, die insbesondere auch die Lichtaustrittsfläche darstellt, ist ein erster elektrischer Kontakt 4 angeordnet. Beispielsweise handelt es sich bei dem ersten elektrischen Kontakt 4 um einen p-Kontakt und bei dem zweiten elektrischen Kontakt 5 um einen n-Kontakt.

Figur 1b zeigt den in Figur 1a dargestellten Leuchtdiodenchip im Betrieb. Insbesondere durch das Ätzen der Seitenflächen 1c wird das Kristallsystem beziehungsweise die Kristallstruktur des Halbleitermaterialverbunds gestört und es entstehen freie Valenzen beziehungsweise Bindungsstellen, die insbesondere durch Sauerstoff abgesättigt werden. Insbesondere bilden sich

Aluminium-Sauerstoffbindungen, da Aluminium eine besonders hohe Affinität zu Sauerstoff aufweist. In der aktiven Zone 2 des Leuchtdiodenchips rekombinieren negative Ladungsträger, also Elektronen, und positive Ladungsträger, also Löcher, unter Emission einer elektromagnetischen Strahlung S. An den Seitenflächen der aktiven Zone finden vermehrt nichtstrahlende Rekombinationen nS der Ladungsträger statt. Dies ist auf die Bildung von Zwischenzuständen innerhalb der Bandlücke zurückzuführen, die durch die mit Sauerstoff abgesättigten freien Bindungsstellen des Halbleiterverbundmaterials entstehen. Dies führt zu Effizienzverlusten des Leuchtdiodenchips. Vor allem ist dieser Verlust groß, wenn der Leuchtdiodenchip eine geringe laterale Ausdehnung aufweist.

Bei dem in den Figuren 2a bis 2f dargestellten Verfahren wird zunächst eine epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge 1 mit einer aktiven Zone 2 bereitgestellt. Die aktive Zone 2 ist hierbei dazu geeignet, im Betrieb des Leuchtdiodenchips elektromagnetische Strahlung zu erzeugen. Die Halbleiterschichtenfolge 1 beruht auf einem Phosphid-Halbleiterverbundmaterial der Formel $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Die aktive Zone 2 basiert bevorzugt auf $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ und $x+y < 1$, die n-leitende Zone 7 auf $\text{In}_x\text{Al}_y\text{P}$ mit $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ und $x+y = 1$ und die p-leitende Zone 8 auf $\text{In}_x\text{Al}_y\text{P}$ mit $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ und $x+y = 1$. Die Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge 1c ist durch Trockenätzen erzeugt. Die Seitenfläche 1c ist schräg zu einer Mittelachse des Leuchtdiodenchips ausgebildet. Insbesondere durch das Ätzen der Seitenfläche 1c wird das Kristallsystem des Halbleitermaterialverbunds unterbrochen beziehungsweise gestört und es entstehen freie Bindungsstellen, die durch

Sauerstoff abgesättigt werden. Insbesondere entstehen Indium-Sauerstoff-, Aluminium-Sauerstoff-, Gallium-Sauerstoff- und/oder Phosphor-Sauerstoffbindungen. An den Seitenflächen der aktiven Zone 2a führt das zu unerwünschten

5 nichtstrahlenden Rekombinationen von Ladungsträgern durch die Bildung von Zwischenzuständen innerhalb der Bandlücke. Dies ist in dem Energiediagramm der Figur 2b veranschaulicht. Dort sind die Energie E des Valenzbands E_V und des Leitungsbands E_C des Halbleiterverbundmaterials der aktiven Zone 2 und die
10 durch Gallium-Sauerstoffbindungen und Aluminium-Sauerstoffbindungen entstehenden Zwischenzustände innerhalb der Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband gezeigt. Der Effizienzverlust durch nichtstrahlende Rekombinationen der Ladungsträger wird insbesondere beim Nass- und bei
15 Trockenätzen der Seitenflächen der Halbleiterschichtenfolge festgestellt.

In dem in Figur 2c gezeigten Schritt des Verfahrens wird eine Schicht umfassend oder bestehend aus Magnesiumnitrid 10,
20 bevorzugt Mg_3N_2 , vollflächig über der Seitenfläche 1c der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge 1 und ersten Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge 1a, insbesondere die Lichtaustrittsfläche, durch Sputtern aufgebracht. Insbesondere überdeckt die Schicht 10 die aktive Zone 2
25 seitlich. In einem nächsten Schritt wird, wie in Figur 2d gezeigt, optional eine Schutzschicht 9 über der Schicht 10 aufgebracht. Die Schutzschicht 9 wird vollflächig über der Seitenfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge 1c und ersten Hauptfläche 1a aufgebracht und umfasst oder
30 besteht aus Siliziumnitrid.

In einem nächsten Schritt des Verfahrens wird der Verbund aus epitaktischer Halbleiterschichtenfolge 1, Schicht 10 und

Schutzschicht 9 bei einer Temperatur von 100 bis 800 °C beispielweise 300 °C getempert. Magnesium weist eine höhere Affinität zu Sauerstoff auf als die in dem Halbleiterverbundmaterial enthaltenden Elemente Aluminium, Indium, Gallium und Phosphor. Während des Temperns erfolgt eine Nitridierung des Halbleiterverbundmaterials der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge 1, über der die Schicht 10 angeordnet ist, unter Bildung von Indium-Stickstoff-, Aluminium-Stickstoff-, Gallium-Stickstoff- und/oder Phosphor-Stickstoffbindungen. Gleichzeitig entsteht Magnesiumoxid in der Schicht 10 und es bildet sich aus der Schicht 10 während des Temperns eine Passivierungsschicht 3 umfassend oder bestehend aus Magnesiumoxid und Magnesiumnitrid, bevorzugt MgO und Mg₃N₂ (Figur 2e). Mit Vorteil können so die in Figur 2b dargestellten Zwischenzustände in der Bandlücke an der Seitenfläche der aktiven Zone 2a vermieden oder erheblich reduziert werden, wodurch die strahlende Rekombination von Ladungsträgern in der aktiven Zone 2 erhöht wird und so die Effizienz des Leuchtdiodenchips steigt.

In einem weiteren Schritt kann die Passivierungsschicht 3 und die Schutzschicht 9 zumindest teilweise von der ersten Hauptfläche 1a entfernt werden, beispielsweise durch Ätzen, und ein erster elektrischer Kontakt 4 auf der ersten Hauptfläche 1a und mit dieser in direktem mechanischem und elektrischem Kontakt aufgebracht werden, wie dies in Figur 2f dargestellt ist.

Figur 3 zeigt eine Ausführungsform eines Leuchtdiodenchips. Der Leuchtdiodenchip weist eine epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge 1 auf. Die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 umfasst eine aktive Zone 2, die

dazu eingerichtet ist, im Betrieb des Leuchtdiodenchips elektromagnetische Strahlung S, insbesondere mit einer Wellenlänge von zirka 620 Nanometer, zu erzeugen. Die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 basiert bevorzugt auf einem Phosphid-Halbleiterverbundmaterial der Formel $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Die aktive Zone 2 basiert bevorzugt auf $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ und $x+y < 1$, die n-leitende Zone 7 auf $\text{In}_x\text{Al}_y\text{P}$ mit $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ und $x+y = 1$ und die p-leitende Zone 8 auf $\text{In}_x\text{Al}_y\text{P}$ mit $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ und $x+y = 1$. Die Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge 1c ist durch Trockenätzen erzeugt. Die Seitenfläche 1c zeichnet sich vorliegend dadurch aus, dass sie schräg zu einer Mittelachse des Leuchtdiodenchips ausgebildet ist. Die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 ist auf einem Substrat 6, beispielweise aus GaAs, angeordnet. Insbesondere ist die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 1 auf einer ersten Hauptfläche des Substrats 6a angeordnet, während auf einer zweiten Hauptfläche des Substrats 6b ein zweiter elektrischer Kontakt 5 angeordnet ist. Über einer ersten Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge 1a, die insbesondere auch die Lichtaustrittsfläche darstellt, ist ein erster elektrischer Kontakt 4 angeordnet. Der erste elektrische Kontakt 4 ist ein p-Kontakt und der zweite elektrische Kontakt 5 ein n-Kontakt. Auf der Seitenfläche der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge 1c und auf Teilen der ersten Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge 1a ist eine Passivierungsschicht 3 umfassend oder bestehend aus Magnesiumoxid und Magnesiumnitrid angeordnet. Insbesondere erstreckt sich die Passivierungsschicht 3 über die Seitenfläche der aktiven Zone 2a. Die Passivierungsschicht 3 weist beispielsweise eine Schichtdicke von 50 nm auf. An der Grenzfläche der Halbleiterschichtenfolge 1 und der

Passivierungsschicht 3 sind Indium-Stickstoff-, Aluminium-Stickstoff-, Gallium-Stickstoff- und/oder Phosphor-Stickstoffbindungen vorhanden.

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

Bezugszeichenliste

	1	epitaktische Halbleiterschichtenfolge oder epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge
5	1a	erste Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge oder Lichtaustrittsfläche
	1b	zweite Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge
	1c	Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge
	2	aktive Zone
10	2a	Seitenfläche der aktiven Zone
	3	Passivierungsschicht
	4	erster elektrischer Kontakt
	5	zweiter elektrischer Kontakt
	6	Substrat
15	6a	erste Hauptfläche des Substrats
	6b	zweite Hauptfläche des Substrats
	7	n-leitende Zone
	8	p-leitende Zone
	9	Schutzschicht
20	10	Schicht umfassend Magnesiumnitrid
	S	elektromagnetische Strahlung
	E	Energie
	Ec	Energie Valenzband
	Ec	Energie Leitungsband
25	nS	nichtstrahlende Rekombination

Patentansprüche

1. Leuchtdiodenchip mit:

- einer epitaktischen Halbleiterschichtenfolge (1) mit einer
5 aktiven Zone (2), die im Betrieb elektromagnetische
Strahlung (S) erzeugt, und
- einer Passivierungsschicht (3) umfassend Magnesiumoxid und
Magnesiumnitrid, wobei
10 die Passivierungsschicht (3) auf einer Seitenfläche (1c)
der Halbleiterschichtenfolge (1) aufgebracht ist und die
Passivierungsschicht (3) zumindest die aktive Zone (2)
überdeckt, wobei die eine Passivierungsschicht umfassend
Magnesiumoxid und Magnesiumnitrid mit der epitaktischen
Halbleiterschichtenfolge eine gemeinsame Grenzfläche
15 aufweist.

2. Leuchtdiodenchip nach dem vorherigen Anspruch,
bei dem die epitaktische Halbleiterschichtenfolge (1) auf
einem III/V-Halbleiterverbundmaterial basiert.

3. Leuchtdiodenchip nach dem vorherigen Anspruch,
wobei an einer Grenzfläche der epitaktischen
Halbleiterschichtenfolge (1) und der Passivierungsschicht
(3) Nitride des Halbleiterverbundmaterials vorliegen.

4. Leuchtdiodenchip nach einem der vorherigen Ansprüche 2 bis
3,
bei dem das III/V-Halbleiterverbundmaterial ein Phosphid-
Halbleiterverbundmaterial ist.

5. Leuchtdiodenchip nach dem vorherigen Anspruch,
wobei das Phosphid-Halbleiterverbundmaterial $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$
mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$ ist.

6. Leuchtdiodenchip nach dem vorherigen Anspruch,
wobei die Halbleiterschichtenfolge (1) an der Grenzfläche
zur Passivierungsschicht (3) Indium-Stickstoff-,
5 Aluminium-Stickstoff-, Phosphor-Stickstoff- und/oder
Gallium-Stickstoffbindungen aufweist.
7. Leuchtdiodenchip nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Passivierungsschicht (3) eine Schichtdicke von
10 einschließlich 1 nm bis einschließlich 1000 nm, bevorzugt
von einschließlich 5 nm bis einschließlich 100 nm,
aufweist.
8. Leuchtdiodenchip nach einem der vorherigen Ansprüche,
15 dessen Kantenlänge 500 μm , bevorzugt 100 μm , nicht
überschreitet.
9. Leuchtdiodenchip nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei über der Passivierungsschicht (3) eine Schutzschicht
20 (9) umfassend oder bestehend aus Siliziumnitrid angeordnet
ist.
10. Verfahren zur Herstellung eines Leuchtdiodenchips mit den
folgenden Schritten:
- 25 A) Bereitstellen einer epitaktischen Halbleiterschichtenfolge
(1) mit einer aktiven Zone (2), die dazu geeignet ist,
elektromagnetische Strahlung (S) zu erzeugen,
- B) Aufbringen einer Schicht umfassend Magnesiumnitrid (10)
auf eine Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge (1c),
30 wobei das Magnesiumnitrid in direktem Kontakt auf die
Seitenfläche der Halbleiterschichtenfolge (1c) aufgebracht
wird,

D) Tempern des in Schritt B) hergestellten Verbunds aus Halbleiterschichtenfolge (1) und Schicht umfassend Magnesiumnitrid (10) zur Bildung einer Passivierungsschicht (3) umfassend Magnesiumoxid und Magnesiumnitrid.

11. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, wobei die epitaktische Halbleiterschichtenfolge (1) auf einem Phosphid-Halbleiterverbundmaterial $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$ basiert und sich in Schritt D) an der Grenzfläche zwischen der Halbleiterschichtenfolge (1) und der Passivierungsschicht (3) Indium-Stickstoff-, Phosphor-Stickstoff-, Aluminium-Stickstoff- und/oder Gallium-Stickstoffbindungen ausbilden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, bei dem die Seitenfläche (1c) der Halbleiterschichtenfolge (1) durch Ätzen erzeugt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, bei dem das Magnesiumnitrid in Schritt B) durch Sputtern aufgebracht wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei zwischen Schritt B) und Schritt D) ein Schritt C) stattfindet: C) Aufbringen einer Schutzschicht (9) auf die Schicht umfassend Magnesiumnitrid (10).

FIG 1a

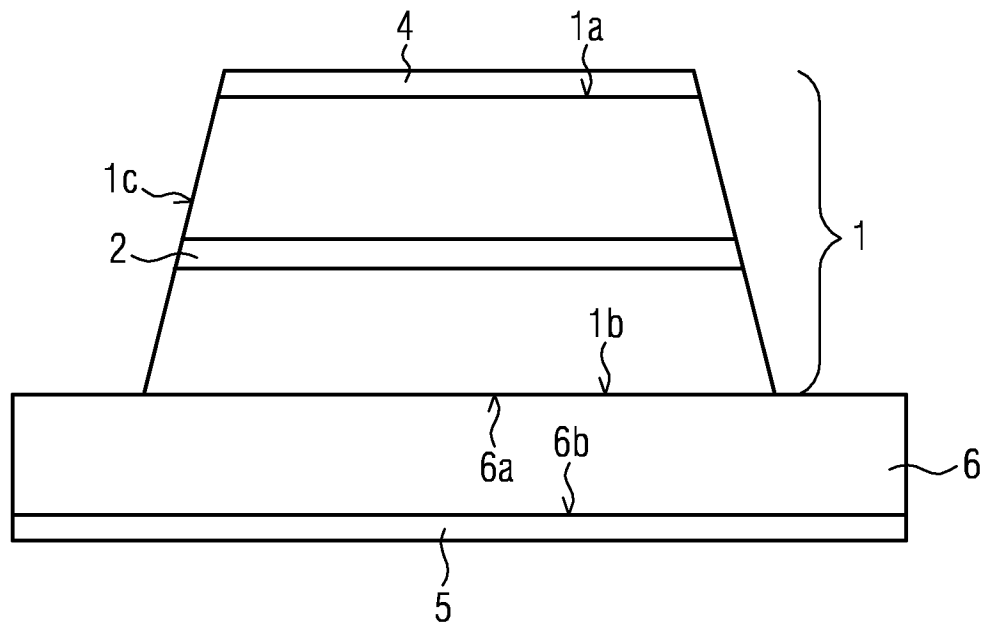


FIG 1b

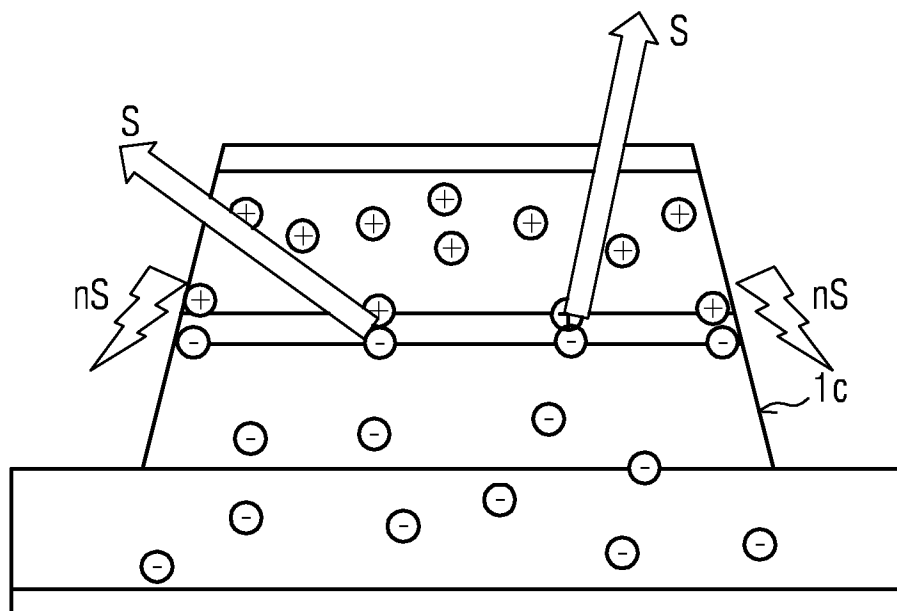


FIG 2a

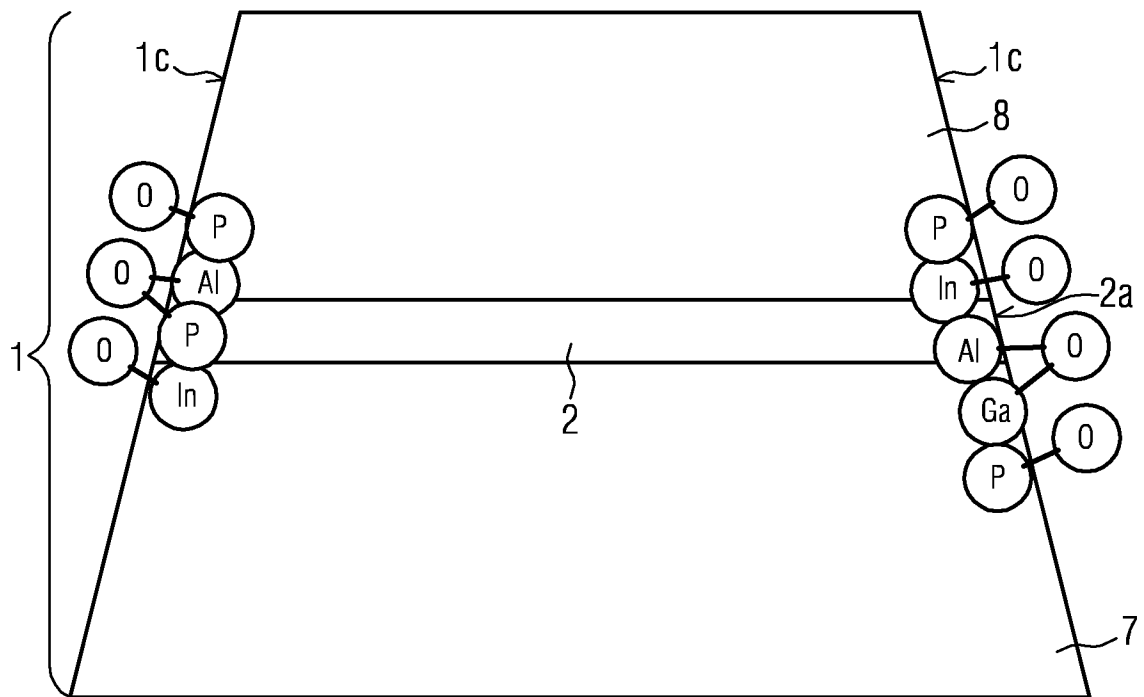


FIG 2b

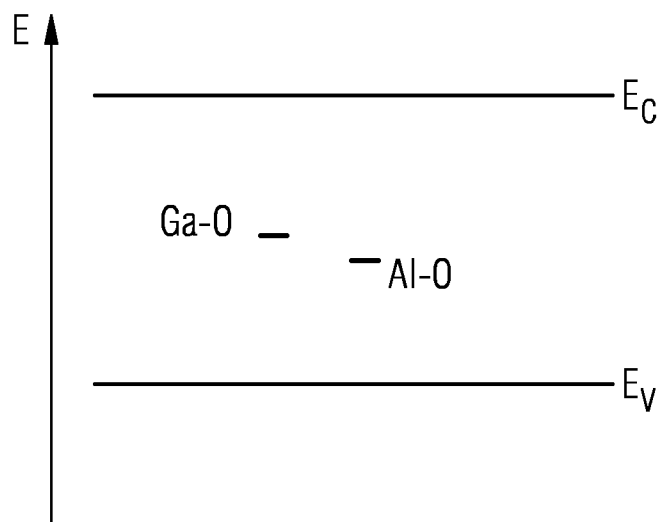


FIG 2c

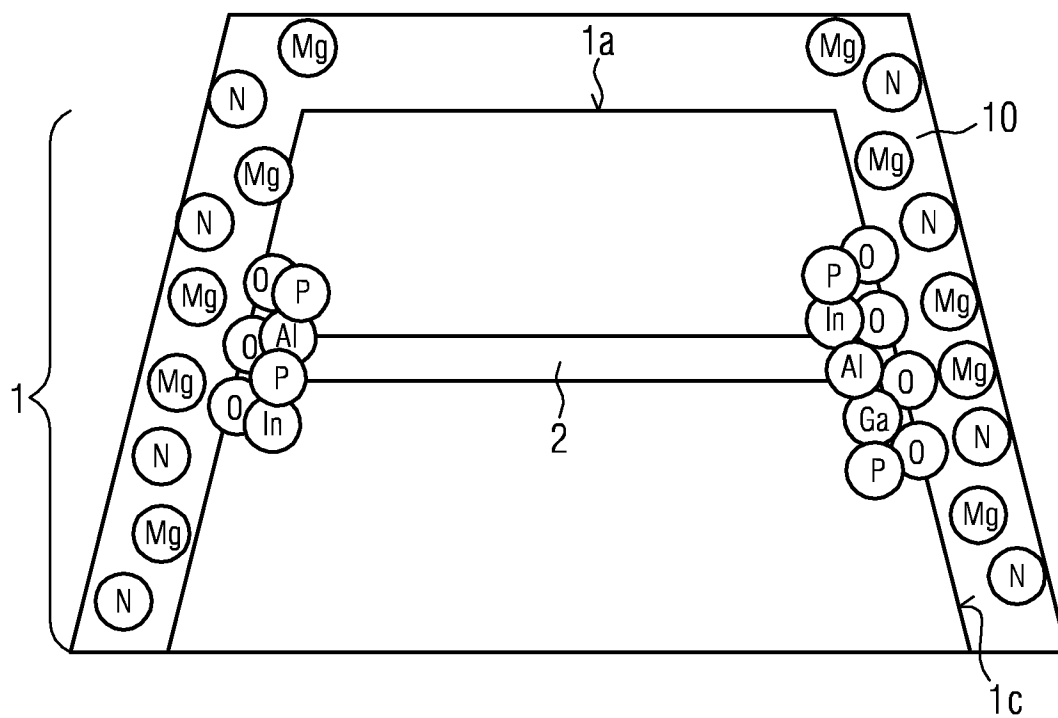


FIG 2d

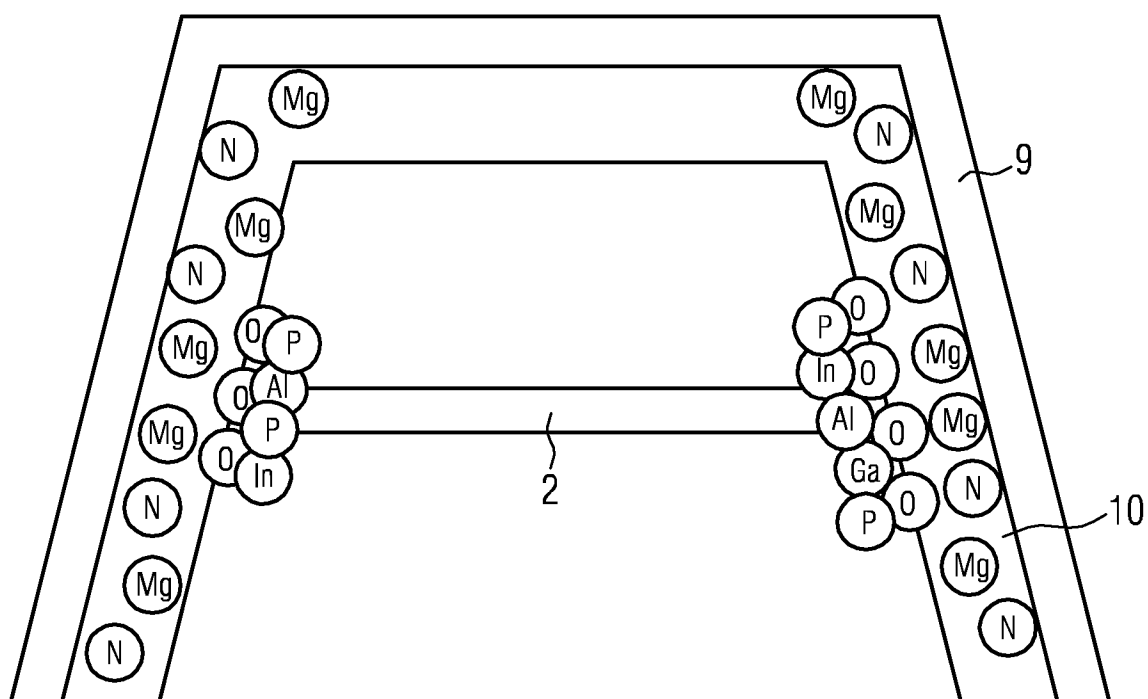


FIG 2e

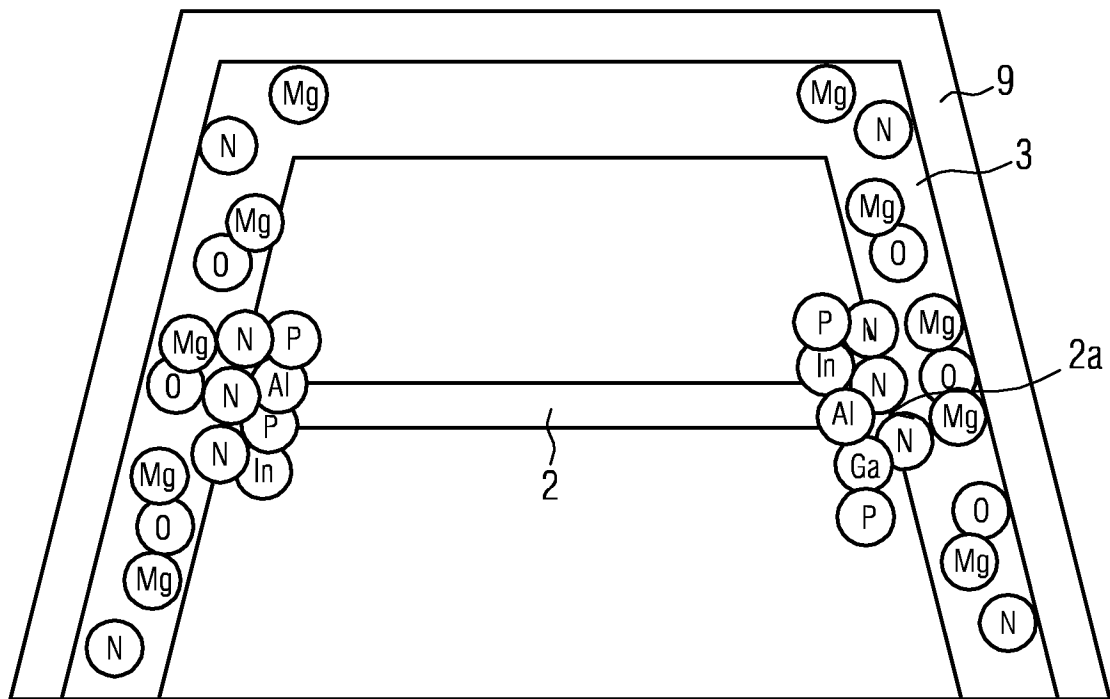


FIG 2f

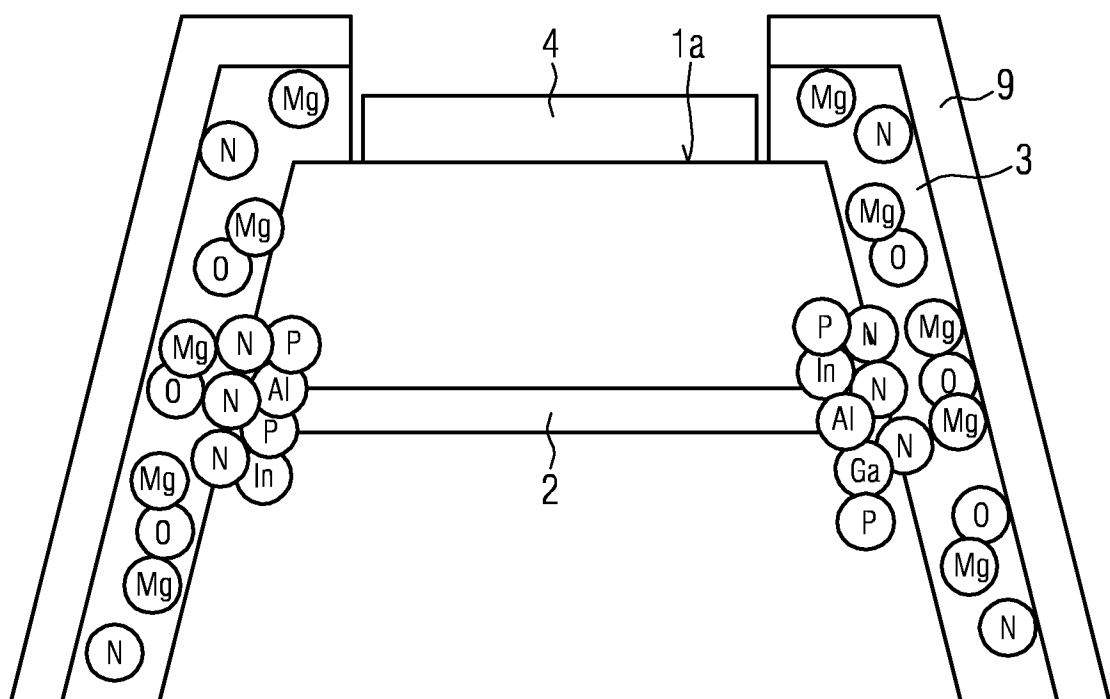
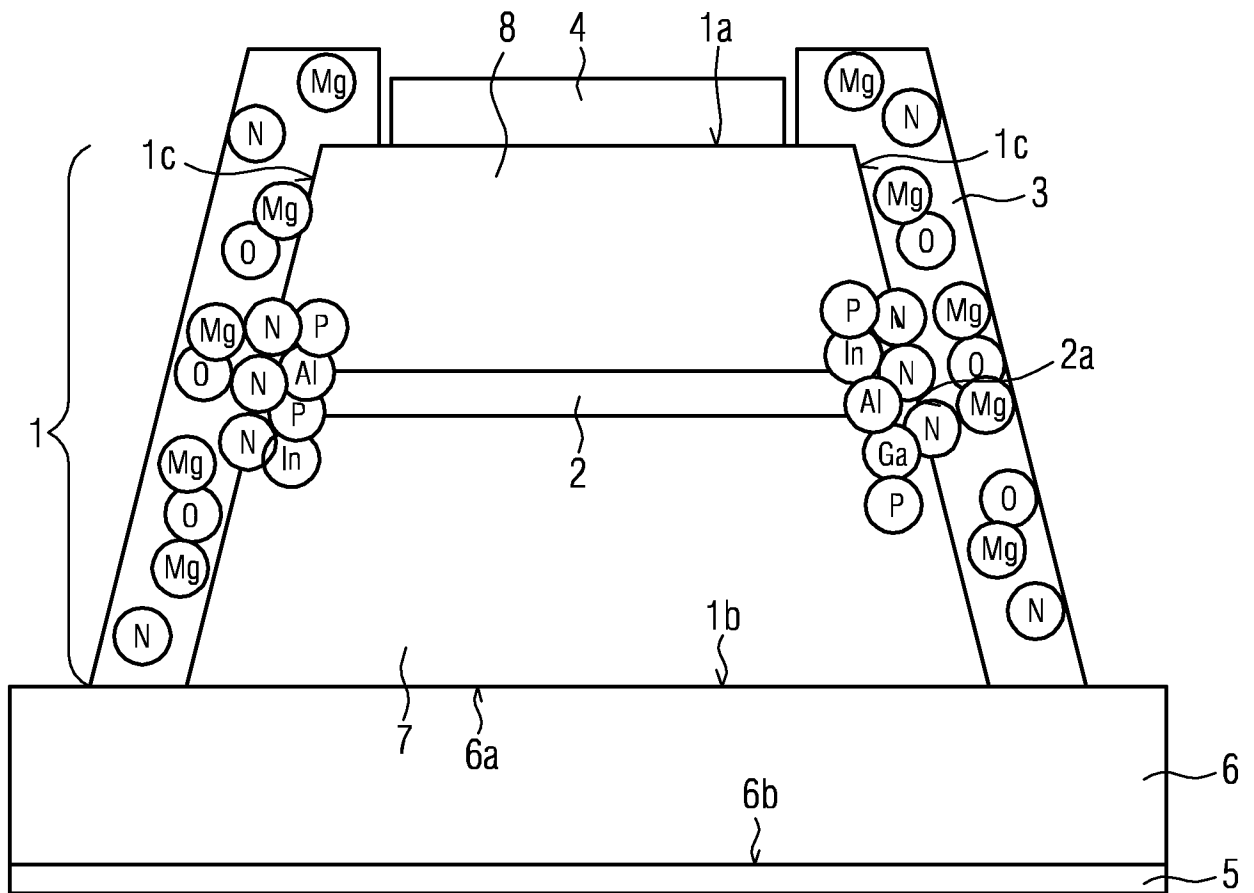


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/065357

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*H01L 33/44*(2010.01)i; *H01L 33/30*(2010.01)n

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102015120089 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 24 May 2017 (2017-05-24) claims; figures	1-14
A	US 2009311528 A1 (ROBIN IVAN-CHRISTOPHE [FR] ET AL) 17 December 2009 (2009-12-17) claims 1,10	1,10
A	KR 20120118171 A (KOREA INST SCI & TECH [KR]) 26 October 2012 (2012-10-26) paragraph [0019]	1,10
A	US 2004113156 A1 (TAMURA SATOSHI [JP] ET AL) 17 June 2004 (2004-06-17) paragraph [0140]; figure 13C	1,10
A	WO 2015044529 A1 (LUMICHIP OY [FI]) 02 April 2015 (2015-04-02) claims	1,10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 September 2018

Date of mailing of the international search report

11 September 2018

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

Ott, André

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/065357

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102015120089	A1	24 May 2017	CN	108292697	A	17 July 2018
				DE	102015120089	A1	24 May 2017
				DE	112016005319	A5	09 August 2018
				TW	201727935	A	01 August 2017
				WO	2017085200	A1	26 May 2017
US	2009311528	A1	17 December 2009	EP	2133910	A1	16 December 2009
				FR	2932607	A1	18 December 2009
				JP	2009298689	A	24 December 2009
				US	2009311528	A1	17 December 2009
KR	20120118171	A	26 October 2012	NONE			
US	2004113156	A1	17 June 2004	JP	3795007	B2	12 July 2006
				JP	2004179365	A	24 June 2004
				US	2004113156	A1	17 June 2004
WO	2015044529	A1	02 April 2015	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H01L33/44

ADD. H01L33/30

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.
A	DE 10 2015 120089 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 24. Mai 2017 (2017-05-24) Ansprüche; Abbildungen	1-14
A	US 2009/311528 A1 (ROBIN IVAN-CHRISTOPHE [FR] ET AL) 17. Dezember 2009 (2009-12-17) Ansprüche 1,10	1,10
A	KR 2012 0118171 A (KOREA INST SCI & TECH [KR]) 26. Oktober 2012 (2012-10-26) Absatz [0019]	1,10
A	US 2004/113156 A1 (TAMURA SATOSHI [JP] ET AL) 17. Juni 2004 (2004-06-17) Absatz [0140]; Abbildung 13C	1,10
	-/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft 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

4. September 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/09/2018

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

Ott, André

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2015/044529 A1 (LUMICHIP OY [FI]) 2. April 2015 (2015-04-02) Ansprüche -----	1,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/065357

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015120089 A1	24-05-2017	CN 108292697 A	17-07-2018
		DE 102015120089 A1	24-05-2017
		DE 112016005319 A5	09-08-2018
		TW 201727935 A	01-08-2017
		WO 2017085200 A1	26-05-2017

US 2009311528 A1	17-12-2009	EP 2133910 A1	16-12-2009
		FR 2932607 A1	18-12-2009
		JP 2009298689 A	24-12-2009
		US 2009311528 A1	17-12-2009

KR 20120118171 A	26-10-2012	KEINE	

US 2004113156 A1	17-06-2004	JP 3795007 B2	12-07-2006
		JP 2004179365 A	24-06-2004
		US 2004113156 A1	17-06-2004

WO 2015044529 A1	02-04-2015	KEINE	
