

WO 2013/045181 A1



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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls
Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

In mindestens einer Ausführungsform des Verfahrens ist dieses zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterchips (10), insbesondere einer Leuchtdiode, eingerichtet. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Bereitstellen eines Aufwachssubstrats (1), Erzeugen einer III-Nitrid-Nukleationsschicht (3) auf dem Aufwachssubstrat (1) mittels Sputtern, und Aufwachsen einer III-Nitrid-Halbleiterschichtenfolge (2) mit einer aktiven Schicht (2a) auf die oder über der Nukleationsschicht (3), wobei ein Material des Aufwachssubstrats (1) von einem Material der Nukleationsschicht (3) und/oder der Halbleiterschichtenfolge (2) verschieden ist.

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen
Halbleiterchips und optoelektronischer Halbleiterchip

5

Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines
optoelektronischen Halbleiterchips sowie ein
optoelektronischer Halbleiterchip angegeben.

- 10 Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zur
effizienten Herstellung eines optoelektronischen
Halbleiterchips anzugeben.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens umfasst
15 dieses den Schritt des Erzeugens einer III-Nitrid-
Nukleationsschicht über einem Aufwachssubstrat. Das Erzeugen
der Nukleationsschicht erfolgt mittels Sputtern. Es wird die
Nukleationsschicht also nicht über eine Gasphasenepitaxie wie
metallorganische Gasphasenepitaxie, englisch Metal Organic
20 Chemical Vapor Phase Epitaxy, kurz MOVPE, erzeugt.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird
über der Nukleationsschicht eine III-Nitrid-
Halbleiterschichtenfolge mit einer aktiven Schicht
25 aufgewachsen. Die aktive Schicht der Halbleiterschichtenfolge
ist im Betrieb des Halbleiterchips zur Erzeugung einer
elektromagnetischen Strahlung, insbesondere im ultravioletten
oder im sichtbaren Spektralbereich, eingerichtet.
Insbesondere beträgt eine Wellenlänge der erzeugten Strahlung
30 zwischen einschließlich 430 nm und 680 nm. Die aktive Schicht
umfasst bevorzugt einen oder mehrere pn-Übergänge oder eine
oder mehrere Quantentopfstrukturen.

Bei dem Halbleitermaterial handelt es sich bevorzugt um ein Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial wie $\text{Al}_n\text{In}_{1-n-m}\text{Ga}_m\text{N}$ mit $0 \leq n \leq 1$, $0 \leq m \leq 1$ und $n + m \leq 1$. Dabei kann die Halbleiterschichtenfolge Dotierstoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen. Der Einfachheit halber sind jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters der Halbleiterschichtenfolge, also Al, Ga, In sowie N, angegeben, auch wenn diese teilweise durch geringe Mengen weiterer Stoffe ersetzt und/oder ergänzt sein können.

10

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens gilt:

$0 \leq n \leq 0,3$ und/oder $0,35 \leq m \leq 0,95$ und/oder

$0 < 1-n-m \leq 0,5$. Die genannten Wertebereiche für n und m gelten bevorzugt für alle Teilschichten der

Halbleiterschichtenfolge, wobei Dotierstoffe nicht erfasst sind. Es ist hierbei jedoch möglich, dass die Halbleiterschichtenfolge eine oder mehrere Mittelschichten aufweist, für die von den genannten Werte für n, m abgewichen ist und statt dessen gilt, dass

$0,75 \leq n \leq 1$ oder $0,80 \leq n \leq 1$.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens

beinhaltet dieses den Schritt des Bereitstellens des

Aufwachssubstrats. Das Aufwachssubstrat beruht auf einem

Materialsystem, das von einem Material der Nukleationsschicht und/oder der Halbleiterschichtenfolge verschieden ist. Mit

anderen Worten handelt es sich bei dem Aufwachssubstrat um ein so genanntes Fremdsubstrat. Zum Beispiel ist das

Aufwachssubstrat ein Siliziumsubstrat, ein Saphirsubstrat mit einer r-Fläche oder c-Fläche als Aufwachsfläche, ein

Germaniumsubstrat, ein Galliumarsenid-Substrat, ein Molybdän-Substrat, ein Siliziumkarbid-Substrat oder ein Substrat aus einer Metalllegierung. Insbesondere weicht ein thermischer

Ausdehnungskoeffizient des Aufwachssubstrats von einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der zu wachsenden Halbleiterschichtenfolge um höchstens 50 % oder um höchstens 20 % ab.

5

In mindestens einer Ausführungsform des Verfahrens ist dieses zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterchips, insbesondere einer Leuchtdiode, eingerichtet. Das Verfahren umfasst mindestens die folgenden Schritte, bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge:

10

- Bereitstellen eines Aufwachssubstrats,
- Erzeugen einer III-Nitrid-Nukleationsschicht auf dem Aufwachssubstrat mittels Sputtern, und
- Aufwachsen einer III-Nitrid-Halbleiterschichtenfolge mit einer aktiven Schicht auf die oder über der Nukleationsschicht.

15

Ein Material des Aufwachssubstrats ist hierbei von einem Material der Nukleationsschicht und/oder der Halbleiterschichtenfolge verschieden.

20

Im Gegensatz zu MOVPE können mittels Sputtern vergleichsweise kostengünstig und mit relativ hohen Wachstumsgeschwindigkeiten dicke Schichten erzeugt werden. So können innerhalb weniger Minuten beispielsweise bis zu 1 µm dicke Schichten etwa aus AlN abgeschieden werden.

25

Ferner kann durch das Erzeugen der Nukleationsschicht mittels Sputtern der nachfolgende MOVPE-Prozess verkürzt und/oder vereinfacht werden. Insbesondere ist es möglich, auf einen zusätzlichen Nukleationsschritt zu verzichten. Die Nukleationsschicht wird bevorzugt unmittelbar auf dem Aufwachssubstrat erzeugt.

30

Außerdem ist es möglich, durch das Sputtern der Nukleationsschicht die Verwendung von Aluminium in dem MOVPE-Prozess zur Erzeugung der Halbleiterschichtenfolge zu reduzieren. Als Substrathalter werden aufgrund der hohen
5 Temperaturen im MOVPE-Prozess typisch Graphithalter eingesetzt. Der Graphithalter kann von einer dünnen, weißlichen aluminiumhaltigen und/oder galliumhaltigen Schicht in der MOVPE belegt werden, wodurch sich ein thermisches Abstrahlverhalten und ein Aufheizverhalten des Graphithalters
10 verändert. Durch das Erzeugen der Nukleationsschicht mittels Sputtern, außerhalb eines Gasphasenepitaxie-Reaktors, ist die Belegung des Graphithalters mit Aluminium und/oder Gallium deutlich reduziert und Parameter für den darauffolgenden MOVPE-Prozess sind einfacher einstellbar.

15 Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird beim Sputtern der Nukleationsschicht Sauerstoff beigegeben. Ein Gewichtsanteil des Sauerstoffs an der Nukleationsschicht, die insbesondere auf Aluminiumnitrid basiert, liegt bevorzugt
20 bei mindestens 0,1 % oder bei mindestens 0,2 % oder bei mindestens 0,5 %. Ferner beträgt ein Gewichtsanteil des Sauerstoffs an der Nukleationsschicht bevorzugt höchstens 10 % oder höchstens 5 % oder höchstens 1,5 %. Das Einbringen von Sauerstoff in Nukleationsschichten ist auch in der
25 Druckschrift DE 100 34 263 B4 angegeben, deren Offenbarungsgehalt durch Rückbezug aufgenommen wird.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird ein Sauerstoffanteil in der Nukleationsschicht in eine Richtung
30 weg von dem Aufwachssubstrat monoton oder streng monoton verkleinert. Insbesondere liegt in einer dünnen Schicht mit einer Dicke zwischen einschließlich 10 nm und 30 nm unmittelbar an dem Aufwachssubstrat eine höchste

Sauerstoffkonzentration vor. In Richtung weg von dem Aufwachssubstrat kann der Sauerstoffgehalt stufenförmig oder linear abnehmen.

5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Nukleationsschicht mit einer Dicke von mindestens 10 nm oder von mindestens 30 nm oder von mindestens 50 nm gewachsen. Alternativ oder zusätzlich beträgt die Dicke der Nukleationsschicht höchstens 1000 nm oder höchstens 200 nm
10 oder höchstens 150 nm. Insbesondere liegt die Dicke der Nukleationsschicht bei zirka 100 nm.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens erfolgt ein Entfernen des Aufwachssubstrats durch ein
15 Laserabhebeverfahren. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass beim Entfernen des Aufwachssubstrats ein nasschemisches Ätzen Verwendung findet.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens sind das
20 Aufwachssubstrat und die Nukleationsschicht für eine bei dem Abhebeverfahren verwendete Laserstrahlung durchlässig. Mit anderen Worten absorbieren dann die Materialien des Aufwachssubstrats und der Nukleationsschicht die eingesetzte Laserstrahlung nicht oder nicht signifikant.

25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens findet durch die Laserstrahlung eine Materialzersetzung an einer Grenzfläche zwischen der Nukleationsschicht und der Halbleiterschichtenfolge oder an einer Grenzfläche zwischen
30 der Nukleationsschicht und einer Anwachsschicht statt. Die Materialzersetzung, die zum Ablösen der Halbleiterschichtenfolge von dem Aufwachssubstrat führt,

findet also bevorzugt nicht in unmittelbarer Nähe zu dem Aufwachssubstrat statt.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird
5 zwischen der Nukleationsschicht und dem Aufwachssubstrat eine Opferschicht erzeugt. Die Opferschicht steht bevorzugt in direktem Kontakt sowohl zu dem Aufwachssubstrat als auch zu der Nukleationsschicht. Die Opferschicht kann erzeugt werden beispielsweise mittels Atomlagenabscheidung, englisch Atomic
10 Layer Deposition oder kurz ALD, oder auch mittels Gasphasenabscheidung oder mittels Sputtern.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Opferschicht ist diese durch ein Material gebildet, das sich nasschemisch
15 zersetzen lässt, wobei bei der nasschemischen Zersetzung das Aufwachssubstrat und die Halbleiterschichtenfolge und/oder die Anwachsschicht nicht oder nicht signifikant mit zersetzt werden. Zum Beispiel umfasst oder besteht die Opferschicht aus einem Aluminiumoxid wie Al_2O_3 . Eine Dicke der
20 Opferschicht liegt zum Beispiel zwischen einschließlich 50 nm und 200 nm.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird das Aufwachssubstrat, insbesondere an einer der
25 Halbleiterschichtenfolge zugewandten Seite, nicht oder nicht signifikant zerstört. Insbesondere bleibt eine Oberflächenbeschaffenheit dieser Seite des Aufwachssubstrats erhalten oder weitestgehend erhalten. Bei dem Ablösen des Aufwachssubstrats werden dann bevorzugt also nur ein Teil der
30 Halbleiterschichtenfolge und/oder ein Teil der Anwachsschicht oder der Opferschicht zerstört.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird eine Anwachsschicht unmittelbar auf der Nukleationsschicht aufgebracht. Mit anderen Worten entfällt dann eine Zwischenschicht, die beispielsweise durch AlGa_N mit einem in
5 Richtung vom Aufwachssubstrat weg abfallenden Aluminiumgehalt gebildet ist. Die Anwachsschicht ist bevorzugt eine dotierte oder auch eine undotierte GaN-Schicht. Eine Dicke der Anwachsschicht liegt insbesondere zwischen einschließlich 50 nm und 300 nm. Die Anwachsschicht wird bevorzugt durch
10 Sputtern oder durch MOVPE erzeugt.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird insbesondere direkt auf die Anwachsschicht eine Maskierungsschicht aufgebracht. Die Maskierungsschicht ist
15 zum Beispiel aus einem Siliziumnitrid, einem Siliziumoxid, einem Siliziumoxinitrid oder aus Bornitrid oder Magnesiumoxid geformt. Eine Dicke der Maskierungsschicht beträgt bevorzugt höchstens 2 nm oder höchstens 1 nm oder höchstens 0,5 nm. Insbesondere wird die Maskierungsschicht mit einer Dicke
20 erzeugt, die im Mittel eine oder zwei Monolagen beträgt. Die Maskierungsschicht kann durch Sputtern oder durch MOVPE erzeugt sein.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird die
25 Maskierungsschicht mit einem Bedeckungsgrad von mindestens 20 % oder von mindestens 50 % oder von mindestens 55 % auf die darunter liegende Schicht aufgebracht. Bevorzugt beträgt der Bedeckungsgrad höchstens 90 % oder höchstens 80 % oder höchstens 70 %. Mit anderen Worten ist dann das
30 Aufwachssubstrat und/oder die Anwachsschicht, in Draufsicht gesehen, zu den genannten Anteilen von einem Material der Maskierungsschicht überdeckt. Es liegt also die Anwachsschicht dann stellenweise frei.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Anwachsschicht sowie die Maskierungsschicht durch ein Sputtern erzeugt, ebenso wie die Nukleationsschicht. Das Erzeugen der Nukleationsschicht und der Anwachsschicht sowie der Maskierungsschicht kann in derselben Sputter-Depositionsanlage erfolgen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird insbesondere unmittelbar auf die Maskierungsschicht sowie auf die Anwachsschicht, die stellenweise freiliegt, eine Koaleszenzschicht aufgewachsen, zum Beispiel mittels Gasphasenepitaxie. Die Koaleszenzschicht basiert bevorzugt auf undotiertem oder im Wesentlichen undotiertem GaN. Die Koaleszenzschicht wächst auf der stellenweise freiliegenden Anwachsschicht und somit in Öffnungen der Maskierungsschicht an. Ausgehend von diesen Öffnungen in der Maskierungsschicht wächst die Koaleszenzschicht zu einer geschlossenen, vergleichsweise defektarmen Schicht zusammen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Koaleszenzschicht mit einer Dicke von mindestens 300 nm oder von mindestens 400 nm gewachsen. Alternativ oder zusätzlich beträgt die Dicke höchstens 3 µm oder höchstens 1,2 µm.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird auf die Koaleszenzschicht, insbesondere in unmittelbarem physischen Kontakt, eine Mittelschicht aufgewachsen. Die Mittelschicht ist bevorzugt eine AlGaIn-Schicht mit einem Aluminiumgehalt zwischen einschließlich 5 % und 15 % oder zwischen einschließlich 75 % und 100 %. Eine Dicke der Mittelschicht liegt bevorzugt zwischen einschließlich 5 nm und 50 nm, insbesondere zwischen einschließlich 10 nm und

20 nm oder zwischen einschließlich 30 nm und 100 nm oder zwischen einschließlich 10 nm und 200 nm. Es kann die Mittelschicht dotiert sein.

- 5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens werden mehrere Mittelschichten gewachsen, wobei die Mittelschichten jeweils im Rahmen der Herstellungstoleranzen gleich ausgebildet sein können. Zwischen zwei benachbarten Mittelschichten befindet sich bevorzugt je eine GaN-Schicht,
10 die dotiert oder undotiert sein kann. Die GaN-Schicht steht ferner bevorzugt in unmittelbarem Kontakt zu den zwei benachbarten Mittelschichten. Eine Dicke der GaN-Schicht liegt dann bevorzugt bei mindestens 20 nm oder bei mindestens 50 nm oder bei mindestens 500 nm und kann alternativ oder
15 zusätzlich höchstens 3000 nm oder höchstens 2000 nm oder höchstens 1000 nm betragen.

- Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird auf die Mittelschicht oder eine der Mittelschichten, die sich am
20 weitesten vom Aufwachssubstrat entfernt befindet, die Halbleiterschichtenfolge mit der aktiven Schicht gewachsen. Die Halbleiterschichtenfolge steht bevorzugt in direktem Kontakt zu der Mittelschicht und basiert auf AlInGaN oder auf InGaN. Eine an die Mittelschicht angrenzende Schicht der
25 Halbleiterschichtenfolge ist bevorzugt n-dotiert. Eine n-Dotierung erfolgt beispielsweise mit Silizium und/oder mit Germanium.

- Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens liegt
30 bei dem Sputtern der Nukleationsschicht und/oder der Anwachsschicht und/oder der Maskierungsschicht eine Temperatur zwischen einschließlich 550 °C und 900 °C vor. Ein

Druck beim Sputtern liegt ferner insbesondere zwischen einschließlich 10^{-3} mbar und einmal 10^{-2} mbar.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens beträgt
5 eine Aufwachrate beim Sputtern der Nukleationsschicht oder auch der anderen, durch Sputtern erzeugten Schichten mindestens 0,03 nm/s und/oder höchstens 0,5 nm/s. Das Sputtern wird bevorzugt unter einer Atmosphäre mit Argon und Stickstoff durchgeführt. Ein Verhältnis Argon zu Stickstoff
10 liegt bevorzugt bei 1:2, mit einer Toleranz von höchstens 15 % oder von höchstens 10 %.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird an einer dem Aufwachssubstrat gegenüberliegenden Seite der
15 Halbleiterschichtenfolge ein Trägersubstrat angebracht. Zwischen der Halbleiterschichtenfolge und dem Trägersubstrat können sich weitere Schichten befinden, insbesondere Spiegelschichten, elektrische Kontaktschichten und/oder Verbindungsmittelschichten wie Lote. Bei dem Trägersubstrat
20 handelt es sich zum Beispiel um einen Träger aus einer Keramik oder aus einem Halbleitermaterial wie Germanium oder aus einem Metall wie Molybdän. Das Trägersubstrat kann elektrische Leiterbahnen umfassen.

25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Nukleationsschicht in einer Sputter-Depositionsanlage erzeugt und die Halbleiterschichtenfolge wird in einem davon verschiedenen Gasphasenepitaxiereaktor gewachsen. Besonders bevorzugt ist die Sputter-Depositionsanlage frei von Gallium
30 und/oder frei von Graphit.

Es wird darüber hinaus ein optoelektronischer Halbleiterchip angegeben. Der optoelektronische Halbleiterchip kann mit

einem Verfahren hergestellt sein, wie in einer oder mehrerer der oben beschriebenen Ausführungsformen angegeben. Merkmale des Verfahrens sind daher auch für den optoelektronischen Halbleiterchip offenbart und umgekehrt.

5

In mindestens einer Ausführungsform des optoelektronischen Halbleiterchips weist dieser eine Halbleiterschichtenfolge mit einer zu einer Strahlungserzeugung vorgesehenen aktiven Schicht auf. Die Halbleiterschichtenfolge umfasst ferner
10 mindestens eine n-dotierte Schicht und mindestens eine p-dotierte Schicht, wobei diese dotierten Schichten bevorzugt unmittelbar an die aktive Schicht angrenzen. Die Halbleiterschichtenfolge basiert auf AlInGaN oder auf InGaN.

15 Der Halbleiterchip umfasst ein Trägersubstrat an einer p-Seite der Halbleiterschichtenfolge. An einer dem Trägersubstrat abgewandten Seite der n-dotierten Schicht der Halbleiterschichtenfolge befindet sich eine Mittelschicht, die auf AlGaN basiert und die einen hohen Aluminiumgehalt
20 aufweist und die mit einer Dicke zwischen einschließlich 5 nm und 50 nm gewachsen ist. Es können mehrere Mittelschichten geformt sein, zwischen denen sich Galliumnitridschichten befinden.

25 An einer dem Trägersubstrat abgewandten Seite der Mittelschicht oder einer der Mittelschichten befindet sich eine Koaleszenzschicht aus dotiertem oder undotiertem GaN mit einer Dicke zwischen einschließlich 300 nm und 1,5 μm . Ferner ist der Halbleiterchip mit einer Aufrauung versehen, die von
30 der Koaleszenzschicht bis an oder bis in die n-dotierte Schicht der Halbleiterschichtenfolge reicht. Eine Strahlungsaustrittsfläche der Halbleiterschichtenfolge ist teilweise durch die Koaleszenzschicht gebildet. Die oder

mindestens eine der Mittelschichten ist durch die Aufrauung stellenweise freigelegt.

Nachfolgend werden ein hier beschriebenes Verfahren sowie ein
5 hier beschriebener Halbleiterchip 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
10 Elemente zum besseren Verständnis übertrieben groß
dargestellt sein.

Es zeigen:

- 15 Figuren 1, 2 und 7 schematische Darstellungen von
Ausführungsbeispielen von hier beschriebenen
Verfahren zur Herstellung von hier beschriebenen
optoelektronischen Halbleiterchips, und
- 20 Figuren 3 bis 6 und 8 schematische Schnittdarstellungen
von Ausführungsbeispielen von hier beschriebenen
optoelektronischen Halbleiterchips.

In Figur 1 ist schematisch ein Verfahren zur Herstellung
25 eines optoelektronischen Halbleiterchips 10 illustriert.
Gemäß Figur 1A wird ein Aufwachssubstrat 1 in einer Sputter-
Depositionsanlage A bereitgestellt. Bei dem Aufwachssubstrat
1 handelt es sich zum Beispiel um ein Saphir-Substrat. Im
Verfahrensschritt gemäß Figur 1B wird in der Sputter-
30 Depositionsanlage A auf das Aufwachssubstrat 1 eine
Nukleationsschicht 3 aufgesputtert. Die Nukleationsschicht 3
ist eine AlN-Schicht, die bevorzugt mit Sauerstoff versehen
ist.

Eine Temperatur beim Sputtern der Nukleationsschicht 3 liegt zum Beispiel bei zirka 760 °C. Ein Druck in der Sputter-Depositionsanlage A liegt insbesondere bei ungefähr 5×10^{-2} mbar, wobei eine Argon-Stickstoff-Atmosphäre vorliegt. Eine Abscheiderate beim Sputtern der Nukleationsschicht 3 beträgt ungefähr 0,15 nm/s. Eine Sputterleistung kann zwischen einschließlich 0,5 kW und 1,5 kW liegen, insbesondere bei ungefähr 0,5 kW. Die Nukleationsschicht 3 wird mit einer Dicke von ungefähr 100 nm erzeugt. Die Sputter-Depositionsanlage A ist frei von Gallium.

Im Verfahrensschritt gemäß Figur 1C wird das Aufwachssubstrat 1 mit der Nukleationsschicht 3 aus der Sputter-Depositionsanlage A in einen MOVPE-Reaktor B verbracht. Das Aufwachssubstrat 1 befindet sich an einem Substrathalter b, der bevorzugt aus Graphit gebildet ist. Dadurch, dass die AlN-Nukleationsschicht 3 in der Sputter-Depositionsanlage A und nicht in dem MOVPE-Reaktor B erzeugt ist, kann ein Beschlagen des Substrathalters b mit einem reflektierende Belag mit Aluminium und/oder Gallium verhindert oder stark reduziert werden.

Zum Aufwachsen einer Halbleiterschichtenfolge 2 mit einer zu einer Strahlungserzeugung vorgesehenen aktiven Schicht verbleibt das Aufwachssubstrat 1 mit der Nukleationsschicht 3 in dem MOVPE-Reaktor B. Die Halbleiterschichtenfolge 2 wird also epitaktisch auf die gesputterte Nukleationsschicht 3 aufgebracht.

30

Gemäß Figur 1E wird durch das Aufwachssubstrat 1 und die Nukleationsschicht 3 hindurch eine Laserstrahlung L an die Halbleiterschichtenfolge 2 eingestrahlt. Die Laserstrahlung L

weist eine Wellenlänge von beispielsweise ungefähr 355 nm auf. Zum Beispiel Aluminiumnitrid als Material für die Nukleationsschicht 3 weist eine Absorptionskante bei zirka 210 nm auf und ist somit transparent für die Laserstrahlung L. Eine Absorption der Laserstrahlung L erfolgt daher an der der Nukleationsschicht 3 zugewandten Seite der Halbleiterschichtenfolge 2. Somit findet eine Materialzersetzung, vergleiche auch Figur 1F, nahe an einer Grenzfläche zwischen der Halbleiterschichtenfolge 2 und der Nukleationsschicht 3 statt. Ein kleiner Teil der Halbleiterschichtenfolge 2 verbleibt hierbei an der Nukleationsschicht 3.

Unmittelbar an dem Aufwachssubstrat 1 findet also keine Materialzerstörung statt. Hierdurch wird eine der Nukleationsschicht 3 zugewandte Oberfläche des Aufwachssubstrats 1 bei dem Laserabhebeverfahren nicht oder nicht signifikant beschädigt. Dies ist ermöglicht insbesondere durch die vergleichsweise große Dicke der Nukleationsschicht 3, die durch das Aufbringen der Nukleationsschicht 3 mittels Sputtern realisierbar ist.

Gemäß Figur 1G werden die Reste der Nukleationsschicht 3 von dem Aufwachssubstrat 1 entfernt. Dieses Entfernen kann über ein nasschemisches Ätzen erfolgen, das selektiv ein Material der Nukleationsschicht 3 entfernt und ein Material des Aufwachssubstrats 1 nicht oder nicht signifikant angreift.

Dadurch, dass das Aufwachssubstrat 1 bei dem Laserabhebeverfahren nicht beschädigt wird, ist ein so genannter Reclaim-Prozess, bei dem die Oberfläche des Aufwachssubstrats insbesondere über Polieren wiederhergestellt wird, vermeidbar. Bei einer solchen Politur

verliert das Aufwachssubstrat eine Dicke von zirka 50 µm. Durch die vergleichsweise dicke Nukleationsschicht 3 ist somit das Aufwachssubstrat 1, das im Regelfall hoch qualitativ und teuer ist, schonbar und wiederholt und
5 bevorzugt ohne aufwändige Wiederherstellungsprozesse einsetzbar.

Das Verfahren gemäß Figur 1 findet bevorzugt im Waferverbund statt. Weitere Verfahrensschritte wie das Aufteilen in
10 einzelne Halbleiterchips 10 oder das Erzeugen zusätzlicher funktionaler Schichten sind zur Vereinfachung der Darstellung in den Figuren nicht gezeigt.

In Figur 2A und 2B sind alternative Verfahrensschritte für
15 das Entfernen des Aufwachssubstrats 1 dargestellt. Gemäß Figur 2A ist zwischen dem Aufwachssubstrat 1 und der Nukleationsschicht 3 eine Opferschicht 31 aus Al_2O_3 gefertigt, abweichend vom Herstellungsverfahren gemäß Figur 1.

20 Diese Opferschicht 31 ist nasschemisch zersetzbar, wodurch das Aufwachssubstrat 1 von der Halbleiterschichtenfolge 2 separierbar ist, vergleiche Figur 2B. Bei dem Entfernen der Opferschicht 31 verbleiben das Aufwachssubstrat 1 und/oder
25 die Nukleationsschicht 3 unzerstört oder weitestgehend unzerstört. Hierdurch ist ein wiederholter Einsatz des Aufwachssubstrats 1, ohne aufwändige Wiederherstellungsschritte, möglich.

30 In Figur 3 ist ein Ausführungsbeispiel des optoelektronischen Halbleiterchips 10 schematisch illustriert. Auf dem Aufwachssubstrat 1 befindet sich die gesputterte Nukleationsschicht 3. Neben Sauerstoff oder alternativ hierzu

kann die Nukleationsschicht 3 auch Indium und/oder Silizium aufweisen.

Auf die Nukleationsschicht 3 folgt optional eine

5 Zwischenschicht 4. Eine solche Zwischenschicht 4 wird bevorzugt eingesetzt, wenn es sich bei dem Aufwachssubstrat 1 um ein Siliziumsubstrat handelt. Die Zwischenschicht 4, die unmittelbar auf die Nukleationsschicht 3 aufgebracht ist, weist bevorzugt mehrere Lagen auf, in Figur 2 nicht
10 gezeichnet. Die Lagen weisen beispielsweise jeweils Dicken von ungefähr 50 nm auf und zeigen einen in Richtung weg vom Aufwachssubstrat 1 abnehmenden Aluminiumgehalt auf, wobei der Aluminiumgehalt der einzelnen Lagen bei ungefähr 95 %, 60 %, 30 % sowie 15 % liegen kann, insbesondere mit einer Toleranz
15 von höchstens zehn Prozentpunkten oder von höchstens fünf Prozentpunkten.

Die optional vorhandene Zwischenschicht 4 ist direkt von einer Anwachsschicht 8 aus dotiertem oder undotiertem GaN
20 gefolgt. Ist die Zwischenschicht 4 nicht vorhanden, so folgt die Anwachsschicht 8 bevorzugt unmittelbar auf die Nukleationsschicht 3. Eine Dicke der Anwachsschicht 8 liegt bevorzugt bei ungefähr 200 nm. Ist die Anwachsschicht 8 dotiert, so liegt eine Dotierstoffkonzentration bevorzugt um
25 mindestens einen Faktor 2 unter einer Dotierstoffkonzentration einer n-dotierten Schicht 2b der Halbleiterschichtenfolge 2.

In eine Richtung weg von dem Aufwachssubstrat 1 folgt der
30 Anwachsschicht 8 direkt eine Maskierungsschicht 6 nach. Die Maskierungsschicht 6 bedeckt die Anwachsschicht 8 bevorzugt zu ungefähr 60 % oder zu ungefähr 70 %. Es ist die

Anwachsschicht 8 zum Beispiel aus wenigen Monolagen Siliziumnitrid gebildet.

In Öffnungen der Maskierungsschicht 6 wächst an der Anwachsschicht 8 eine Koaleszenzschicht 7 aus dotiertem oder undotiertem GaN an. In Richtung weg von dem Aufwachssubstrat 1 wächst die Koaleszenzschicht 7 zu einer zusammenhängenden Schicht zusammen. Die Dicke der Koaleszenzschicht 7 liegt beispielsweise zwischen einschließlich 0,5 μm und 1,0 μm .

Der Koaleszenzschicht 7 folgt direkt eine Mittelschicht 9 nach. Bevorzugt ist die Mittelschicht 9 eine AlGaN-Schicht mit einem Aluminiumgehalt von ungefähr 10 % und mit einer Dicke von ungefähr 30 nm oder von ungefähr 60 nm. Auf die Mittelschicht 9 kann optional auch verzichtet werden.

Auf die Mittelschicht 9 folgt die n-dotierte Schicht 2b der Halbleiterschichtenfolge 2, die an eine aktive Schicht 2a grenzt. An einer dem Aufwachssubstrat 1 abgewandten Seite der aktiven Schicht 2a befindet sich mindestens eine p-dotierte Schicht 2c. Die Schichten 2a, 2b, 2c der Halbleiterschichtenfolge 2 basieren bevorzugt auf InGaN. Eine Dotierstoffkonzentration der n-dotierten Schicht 2b kann zwischen einschließlich $5 \times 10^{18}/\text{cm}^{-3}$ und $1 \times 10^{20}/\text{cm}^{-3}$ oder zwischen einschließlich $1 \times 10^{19}/\text{cm}^{-3}$ oder $6 \times 10^{19}/\text{cm}^{-3}$ liegen. Die Dotierung der n-dotierten Schicht 2b erfolgt bevorzugt mit Germanium und/oder mit Silizium. Die p-dotierte Schicht 2c ist bevorzugt mit Magnesium dotiert.

Eine Dicke D der n-dotierten Schicht 2b beträgt zum Beispiel zwischen einschließlich 1,0 μm und 4 μm , insbesondere zwischen einschließlich 1,5 μm und 2,5 μm . In einem der Mittelschicht 9 nächstgelegenen Bereich der n-dotierten

Schicht 2b, wobei dieser Bereich eine Dicke bevorzugt zwischen einschließlich 100 nm und 500 nm aufweist, ist eine Dotierstoffkonzentration optional erniedrigt und beträgt in diesem Bereich beispielsweise zwischen einschließlich
5 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^{-3}$ und $1 \times 10^{19}/\text{cm}^{-3}$, insbesondere ungefähr $1 \times 10^{18}/\text{cm}^{-3}$. Dieser niedrig dotierte Bereich ist in den Figuren nicht gezeichnet.

Beim Ausführungsbeispiel des Halbleiterchips 10 gemäß Figur 4
10 sind das Aufwachssubstrat 1 sowie die Nukleationsschicht 3 und die Zwischenschicht 4 entfernt, wie dies auch im Zusammenhang mit Figur 3 möglich ist. An einer p-Seite der Halbleiterschichtenfolge 2 ist eine erste Kontaktschicht 12a angebracht. Über die erste Kontaktschicht 12a ist die
15 Halbleiterschichtenfolge 2 mit einem Trägersubstrat 11 verbunden. Eine Dicke des Trägersubstrats 11 liegt bevorzugt zwischen einschließlich 50 μm und 1 mm.

An einer dem Trägersubstrat 11 abgewandten Seite der
20 Halbleiterschichtenfolge 2 ist eine Aufrauung 13 erzeugt. Die Aufrauung 13 reicht bis an oder bis in die n-dotierte Schicht 2b der Halbleiterschichtenfolge 2. Durch die Aufrauung sind also die n-dotierte Schicht 2b sowie die Mittelschicht 9 stellenweise freigelegt. Besonders bevorzugt ist die
25 Maskierungsschicht 6 durch die Aufrauung 13 vollständig entfernt.

Optional ist an der dem Trägersubstrat abgewandten Seite eine weitere Kontaktschicht 12b angebracht, über die der
30 Halbleiterchip 10 elektrisch kontaktierbar und bestrombar ist, etwa mittels eines Bonddrahtes. Weitere optionale Schichten wie Spiegelschichten oder

Verbindungsmittelschichten sind in den Figuren nicht gezeichnet.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel des Halbleiterchips 10 ist in Figur 5 zu sehen. Der Halbleiterchip 10 gemäß Figur 5 weist zwei Mittelschichten 9 auf, zwischen denen sich eine GaN-Schicht 5 befindet. Anders als in Figur 5 dargestellt, können auch mehr als zwei Mittelschichten 9, die jeweils gleich zueinander oder voneinander verschieden aufgebaut sind, vorliegen.

Die Aufrauung 13 reicht durch beide Mittelschichten 5 hindurch bis in die n-dotierte Schicht 2b. Anders als gezeichnet ist es möglich, dass eine der Mittelschichten 9 von der Aufrauung nicht betroffen ist. Weiterhin ist es möglich, dass die der aktiven Schicht 2a nächstgelegene Mittelschicht 9 als Ätzstoppschicht für das Erzeugen der Aufrauung 13 ausgebildet ist.

In Figur 6 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel des Halbleiterchips 10 gezeigt. Die Halbleiterschichtenfolge 2 ist über ein Verbindungsmittel 18, das zum Beispiel ein Lot ist, an dem Trägersubstrat 11 befestigt. Die dem Trägersubstrat 11 zugewandte Seite der Halbleiterschichtenfolge 2 ist über eine erste elektrische Anschlussschicht 14 und über das Trägersubstrat 11 elektrisch kontaktiert.

Eine dem Trägersubstrat 11 abgewandte Seite der Halbleiterschichtenfolge 2 ist weiterhin über eine zweite elektrische Anschlussschicht 16 kontaktiert. Die zweite Anschlussschicht 16 durchdringt die aktive Schicht 2a, vom Trägersubstrat 11 her gesehen, und ist lateral neben die

Halbleiterschichtenfolge 2 geführt. Beispielsweise kann die zweite Anschlussschicht 16 lateral neben der Halbleiterschichtenfolge 2 mit einem Bond-Draht, nicht gezeichnet, verbunden sein.

5

Die Aufrauung 13 reicht nicht bis an die zweite Anschlussschicht 16 heran. Weiterhin sind die Anschlussschichten 16, 14 durch eine Trennschicht 15, beispielsweise aus Siliziumoxid oder einem Siliziumnitrid, voneinander elektrisch isoliert. In Figur 6 sind die Mittelschicht sowie die Koaleszenzschicht nicht gezeichnet. Der Halbleiterchip 10 kann somit ähnlich ausgebildet sein, wie in der Druckschrift US 2010/0171135 A1 angegeben, deren Offenbarungsgehalt durch Rückbezug mit aufgenommen wird.

10

In Figur 7 sind erste Verfahrensschritte zur Herstellung des Halbleiterchips 10, beispielsweise wie in Figur 3 illustriert, gezeigt. Laut Figur 7A wird unmittelbar auf dem Aufwachssubstrat 1 die Nukleationsschicht 3 erzeugt. Gemäß Figur 7B wird direkt auf die Nukleationsschicht 3 die Anwachsschicht 8 gewachsen. Auf die Anwachsschicht 8, die eine Dicke von ungefähr 1 μm aufweisen kann, wird bereichsweise die Maskierungsschicht 6 angebracht, vergleiche Figur 7C. Alle diese Schichten können mittels Sputtern aufgebracht sein.

15

In der Anwachsschicht 8 kann eine Defektdichte des GaN im Bereich von ungefähr $3 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ liegen. Durch die Koaleszenzschicht 7, in Verbindung mit der Maskierungsschicht 6, kann die Defektdichte in der Halbleiterschichtenfolge 2, insbesondere in der n-dotierten Schicht 2b, um etwa eine Größenordnung reduziert werden.

20

25

30

In Figur 7D ist illustriert, wie die Koaleszenzschicht 7, ausgehend von Öffnungen in der Maskierungsschicht 6, zusammenwächst. Ein Bedeckungsgrad mit der Maskierungsschicht 6 liegt zum Beispiel bei zirka 70 %. In Figur 7D ist die Koaleszenzschicht 7 in noch nicht vollständig zusammengewachsenem Zustand schematisch illustriert. Eine Dicke der zusammengewachsenen Koaleszenzschicht 7 kann ungefähr 1,2 μm betragen. Die weiteren Verfahrensschritte sind in Figur 7 nicht gezeichnet.

Die Verfahrensschritte 7A bis 7C finden bevorzugt in derselben Sputter-Depositionsanlage statt, in Figur 7 nicht dargestellt. Ab dem Verfahrensschritt gemäß Figur 7D findet bevorzugt ein MOVPE Anwendung.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel des Halbleiterchips 10 ist in Figur 8 gezeigt. Der Halbleiterchip 10 ist bevorzugt mittels Verfahren, wie in den Figuren 1 und 7 illustriert, hergestellt. Elektrische Kontaktstrukturen wie Leiterbahnen oder Bonddrähte sind in Figur 8 nicht gezeichnet.

An dem Trägersubstrat 11 befindet sich die Halbleiterschichtenfolge 2 mit der p-dotierten Schicht 2c, der aktiven Schicht 2a und der n-dotierten Schicht 2b.

Bevorzugt befindet sich zwischen der aktiven Schicht 2a und der p-dotierten Schicht 2c eine Elektronenbarriereschicht 2d, wie auch in allen anderen Ausführungsbeispielen.

Die n-dotierte Schicht 2b weist zum Beispiel eine Dicke zwischen einschließlich 100 nm und 300 nm auf, insbesondere ungefähr 200 nm. Eine Dotierstoffkonzentration der n-dotierten Schicht 2b liegt bevorzugt unterhalb von $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. An die n-dotierte Schicht 2b grenzt die zweite

Mittelschicht 9b, in Richtung weg von dem Trägersubstrat 11 gefolgt von der zweiten GaN-Schicht 5b, der ersten Mittelschicht 9a und der ersten GaN-Schicht 5a.

5 Die erste Mittelschicht 9a weist bevorzugt eine Dicke zwischen einschließlich 15 nm und 50 nm auf, zum Beispiel ungefähr 30 nm. Ein Dicke der zweiten Mittelschicht 9b ist größer und liegt insbesondere zwischen einschließlich 25 nm und 100 nm, zum Beispiel bei zirka 60 nm. Die beiden
10 Mittelschichten 9a, 9b sind aus AlGa_N mit einem Al-Gehalt von bevorzugt 5 % bis einschließlich 15 % gebildet. Solche optionalen Mittelschichten 9a, 9b und die ebenfalls optionalen GaN-Schichten 5a, 5b können auch in allen anderen Ausführungsbeispielen vorhanden sein.

15

Die Aufrauung 13 kann stellenweise bis an die erste Mittelschicht 9a heranreichen, durchdringt die erste Mittelschicht 9a sowie die näher am Trägersubstrat 11 liegen Schichten jedoch bevorzugt nicht. Anders als gezeichnet kann
20 die Aufrauung 13 auch nicht bis an die Mittelschicht 9a reichen.

Die zweite GaN-Schicht 5b weist bevorzugt eine Dicke zwischen einschließlich 0,5 µm und 2 µm oder zwischen einschließlich
25 0,8 µm und 1,2 µm auf, zum Beispiel ungefähr 1 µm. Eine Dotierstoffkonzentration der zweiten GaN-Schicht 5b liegt bevorzugt bei mindestens $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Die erste GaN-Schicht 5a hat eine maximale Dicke von insbesondere höchstens 4 µm oder von höchstens 3 µm und/oder von mindestens 1 µm oder von
30 mindestens 2 µm.

Die erste GaN-Schicht 5a ist zum Beispiel auf einer Koaleszenzschicht 7 mit einer Dicke von ungefähr 1,2 µm

gewachsen, vergleiche Figur 7D. Die in Figur 7 illustrierten Schichten 1, 3, 8, 6, 7 sind von dem Halbleiterchip 10 gemäß Figur 8 nach dem Anbringen des Trägersubstrats 11 entfernt.

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

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2011 114 671.0, deren Offenbarungsgehalt
15 hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterchips (10) mit den Schritten:
 - 5 - Bereitstellen eines Aufwachssubstrats (1),
 - Erzeugen einer III-Nitrid-Nukleationsschicht (3) auf dem Aufwachssubstrat (1) mittels Sputtern, wobei ein Material des Aufwachssubstrats (1) von einem Material der Nukleationsschicht (3) verschieden ist, und
 - 10 - Aufwachsen einer III-Nitrid-Halbleiterschichtenfolge (2) mit einer aktiven Schicht (2a) auf die Nukleationsschicht (3).
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem zwischen der Nukleationsschicht (3) und dem Aufwachssubstrat (1) eine Opferschicht (31) erzeugt
15 wird, wobei die Opferschicht (31) ein Aluminiumoxid umfasst und die Opferschicht (31) beim Abtrennen des Aufwachssubstrats (1) von der Halbleiterschichtenfolge (2) wenigstens zum Teil nasschemisch zersetzt wird.
- 20 3. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem das Aufwachssubstrat (1) beim Ablösen von der Halbleiterschichtenfolge (2) an einer der Halbleiterschichtenfolge (2) zugewandten Seite nicht zerstört wird.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Nukleationsschicht (3) eine Dicke zwischen einschließlich 10 nm und 1000 nm aufweist, insbesondere zwischen einschließlich 50 nm und 200 nm, wobei die Nukleationsschicht (3) auf AlN basiert und
30 unmittelbar auf das Aufwachssubstrat (1) aufgebracht wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem ein Trägersubstrat (11) an eine dem
Aufwachssubstrat (1) abgewandte Seite der
Halbleiterschichtenfolge (2) angebracht wird und
5 nachfolgend das Aufwachssubstrat (1) mittels eines
Laserabhebeverfahrens entfernt wird.
6. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
bei dem das Aufwachssubstrat (1) und die
Nukleationsschicht (3) für eine bei dem Abhebeverfahren
10 verwendete Laserstrahlung durchlässig sind,
wobei durch die Laserstrahlung eine Materialzersetzung
an einer Grenzfläche zwischen der Nukleationsschicht
(3) und der Halbleiterschichtenfolge (2) und/oder einer
Anwachsschicht (8) erfolgt.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem der Nukleationsschicht (3) Sauerstoff
beigegeben wird, wobei ein Gewichtsanteil des
Sauerstoffs zwischen einschließlich 0,1 % und 10 %
liegt.
- 20 8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
bei dem ein Sauerstoffanteil in der Nukleationsschicht
(3) in eine Richtung weg von dem Aufwachssubstrat (1)
monoton abnimmt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
25 bei dem unmittelbar auf der Nukleationsschicht (3) die
Anwachsschicht (8) mittels Sputtern oder mittels
Gasphasenepitaxie aufgebracht wird,
wobei die Anwachsschicht (8) auf GaN basiert.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem auf die Anwachsschicht (8) die folgenden Schichten unmittelbar aufeinander und in der angegebenen Reihenfolge erzeugt werden:

- 5 - eine Maskierungsschicht (6), basierend auf einem Siliziumnitrid, einem Siliziumoxid oder Magnesiumoxid, wobei die Maskierungsschicht (6) die Anwachsschicht (8) mit einem Bedeckungsgrad zwischen einschließlich 50 % und 90 % bedeckt,
- 10 - eine Koaleszenzschicht (7), basierend auf GaN,
- eine oder mehrere Mittelschichten (9) aus AlGaIn, wobei im Falle mehrerer Mittelschichten (9) zwischen zwei benachbarten Mittelschichten (9) je eine GaN-Schicht (5) gewachsen wird, und
- 15 - die Halbleiterschichtenfolge (2a, 2b, 2c), basierend auf AlInGaIn oder auf InGaIn.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Sputtern bei einer Temperatur zwischen einschließlich 550 °C und 900 °C und bei einem Druck
20 zwischen einschließlich 1×10^{-3} mbar und 1×10^{-2} mbar durchgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Aufwachsrate beim Sputtern zwischen einschließlich 0,03 nm/s und 0,5 nm/s eingestellt wird,
25 wobei das Sputtern unter einer Atmosphäre mit Ar und mit N₂ durchgeführt wird und ein Verhältnis Ar zu N₂ bei 1 zu 2 liegt, mit einer Toleranz von höchstens 15 %.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
30 bei dem die Nukleationsschicht (3) in einer Sputterdepositionsanlage (A) erzeugt wird und die

Halbleiterschichtenfolge (2) in einem davon
verschiedenen Gasphasenepitaxie-Reaktor (B) gewachsen
wird,
wobei die Sputterdepositionsanlage (A) frei von Gallium
ist.

14. Optoelektronischer Halbleiterchip (10) mit einer
Halbleiterschichtenfolge (2) mit einer zu einer
Strahlungserzeugung vorgesehenen aktiven Schicht (2a)
und mit mindestens einer n-dotierten Schicht (2b),
wobei
- die n-dotierte Schicht (2b) an die aktive Schicht
(2a) angrenzt,
 - die Halbleiterschichtenfolge (2) auf AlInGaN oder auf
InGaN basiert,
 - an einer einem Trägersubstrat (11) abgewandten Seite
der n-dotierten Schicht (2b) eine oder mehrere
Mittelschichten (9) aus AlGaN mit Dicken jeweils
zwischen einschließlich 25 nm und 200 nm gewachsen
sind,
 - an einer dem Trägersubstrat (11) abgewandten Seite
der Mittelschicht (9) oder einer der Mittelschichten
(9) eine Koaleszenzschicht (7) aus dotiertem oder
undotiertem GaN mit einer Dicke zwischen einschließlich
300 nm und 1,2 µm geformt ist,
 - eine Aufrauung (13) von der Koaleszenzschicht (7) her
bis an oder in die n-dotierte Schicht (2b) reicht,
 - eine Strahlungsausstrittsfläche des
Halbleiterschichtenstapels (2) teilweise durch die
Koaleszenzschicht (7) gebildet ist,
 - die Mittelschicht (9) stellenweise freigelegt ist,
und

- der Halbleiterchip (10) mit einem Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche hergestellt ist.

FIG 1

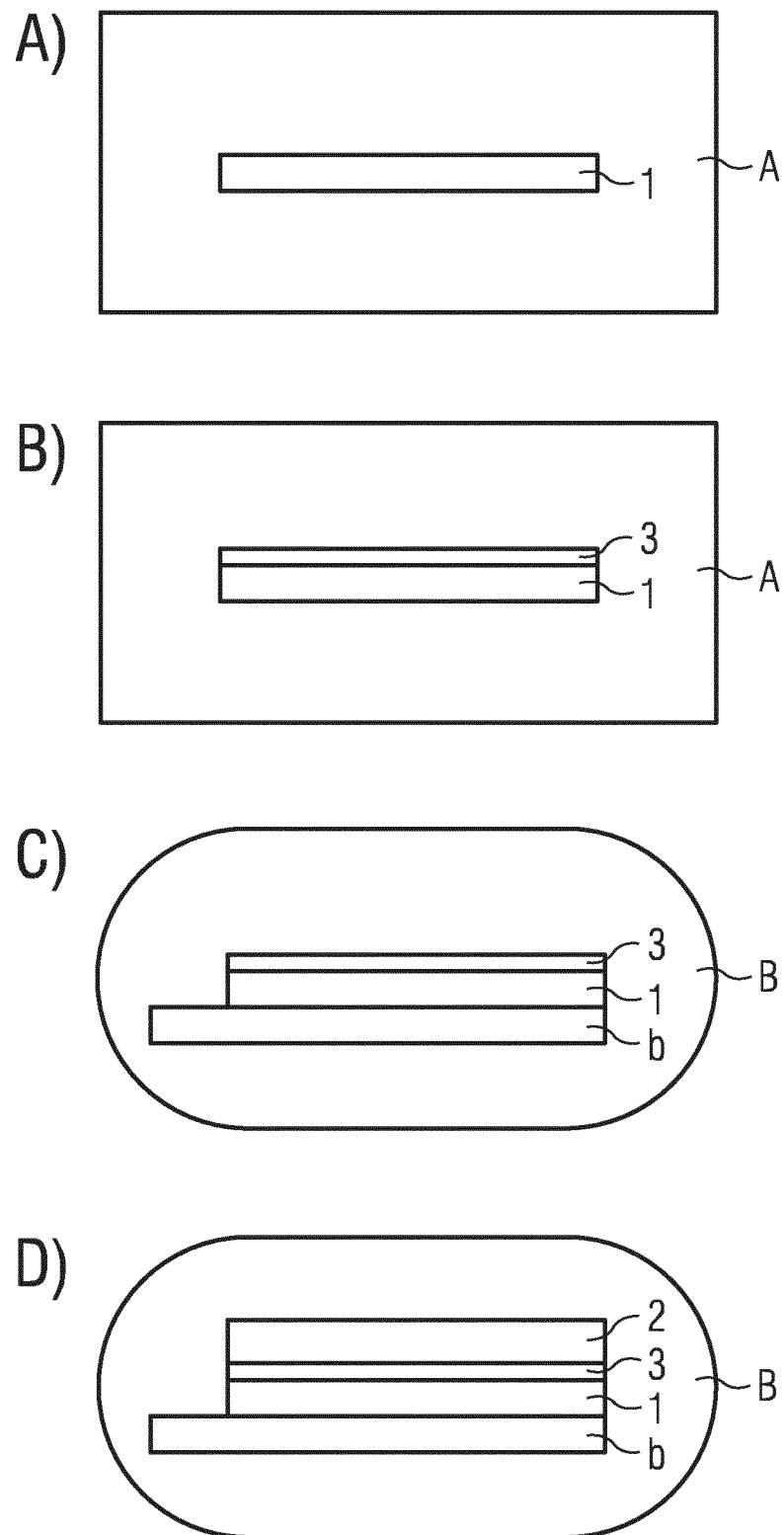


FIG 1

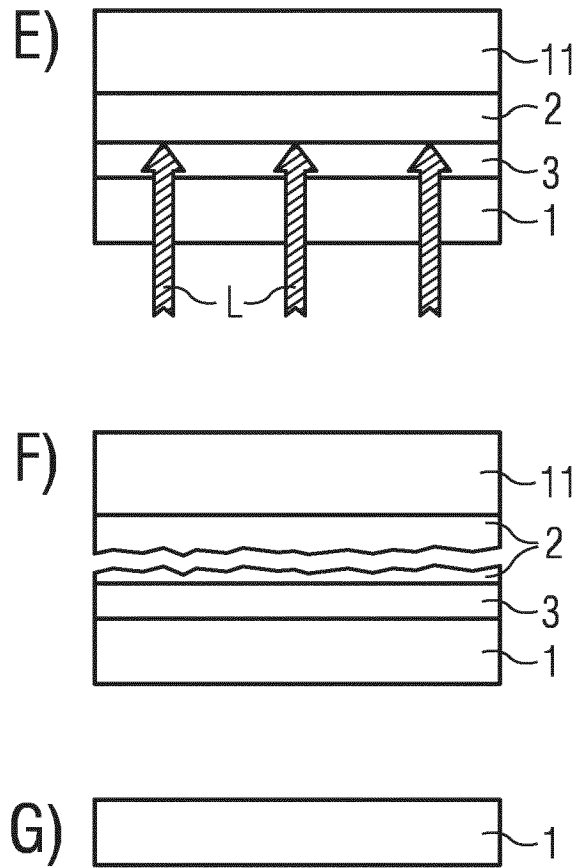


FIG 2

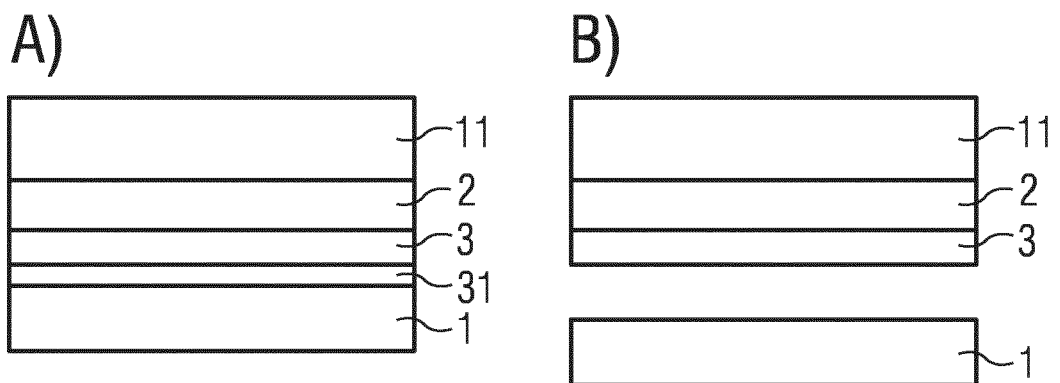


FIG 3

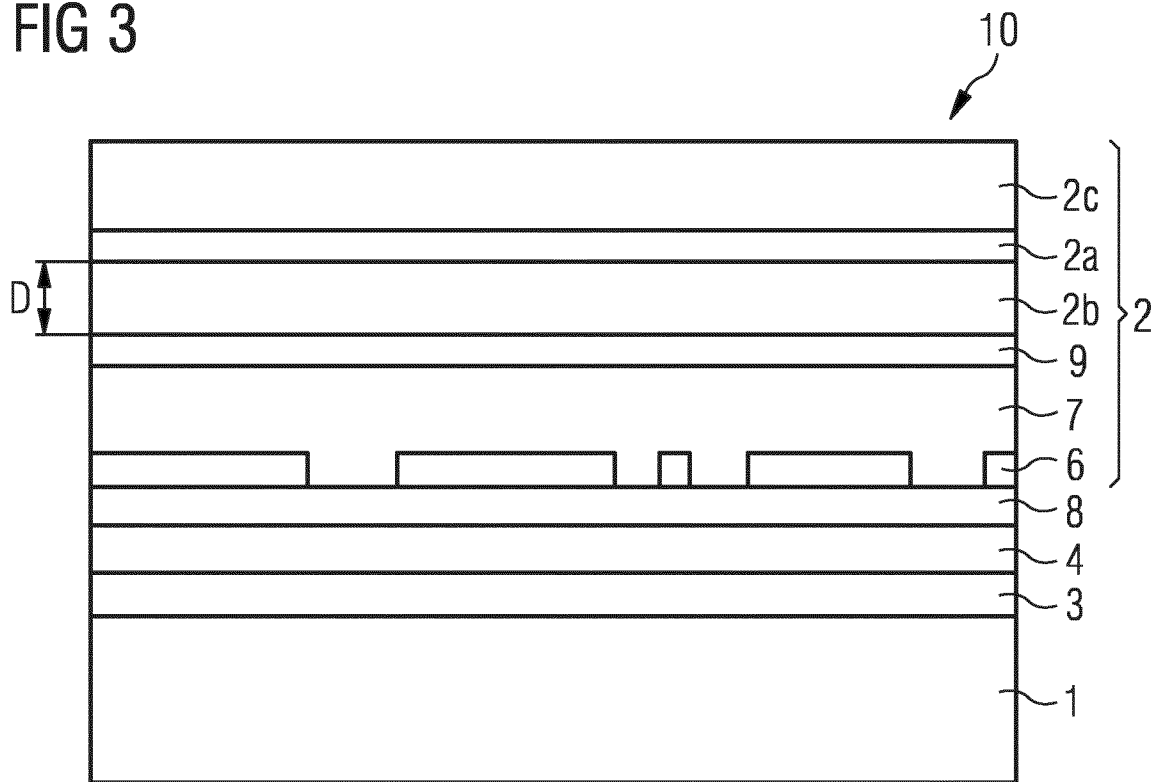


FIG 4

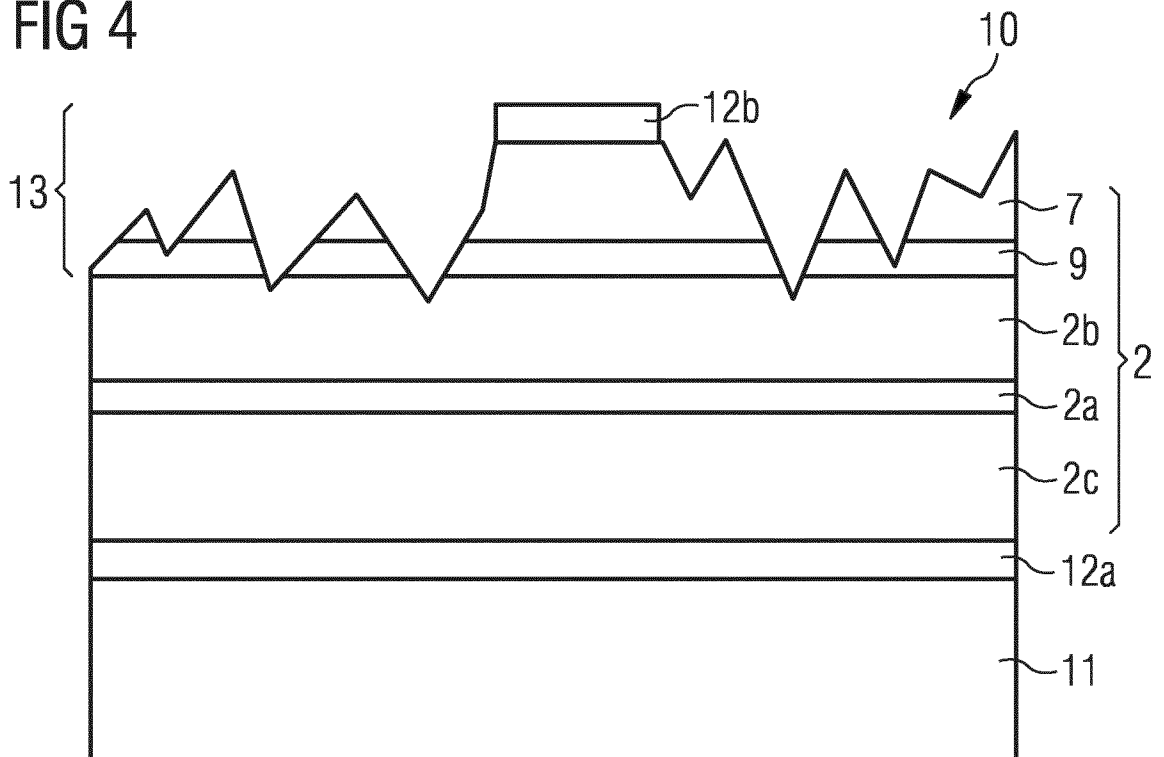


FIG 5

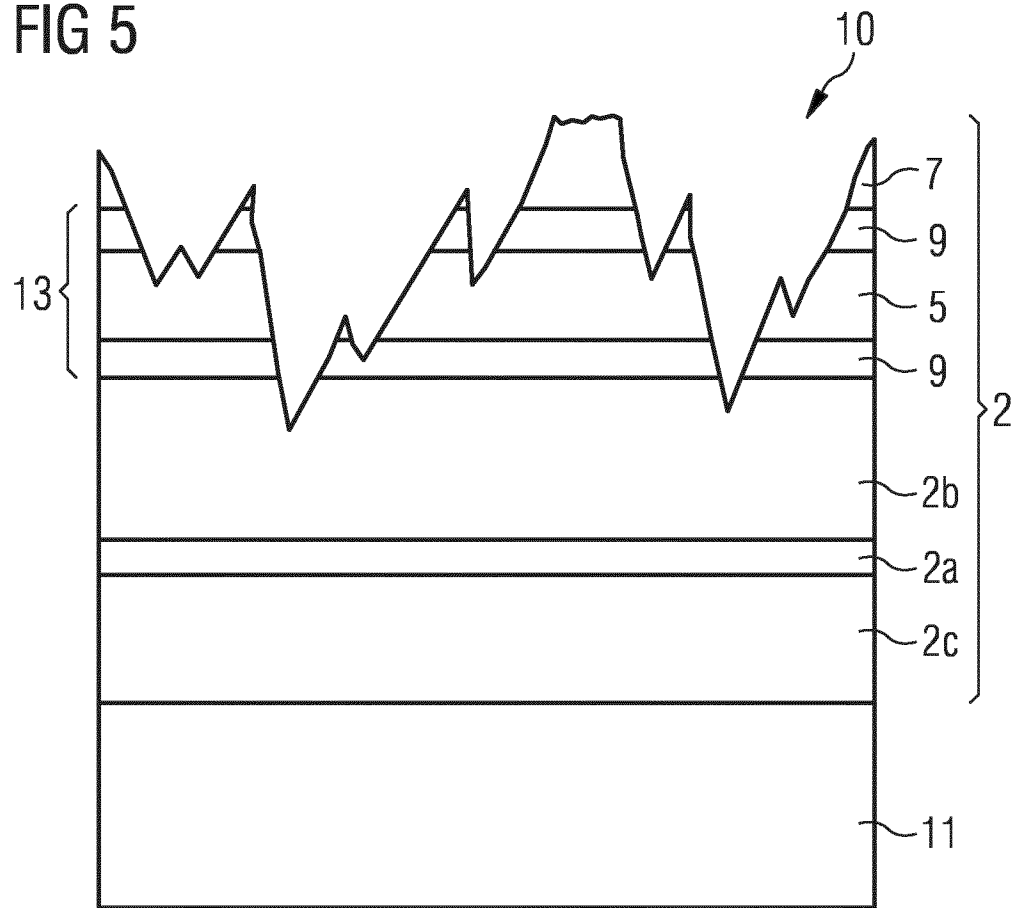


FIG 6

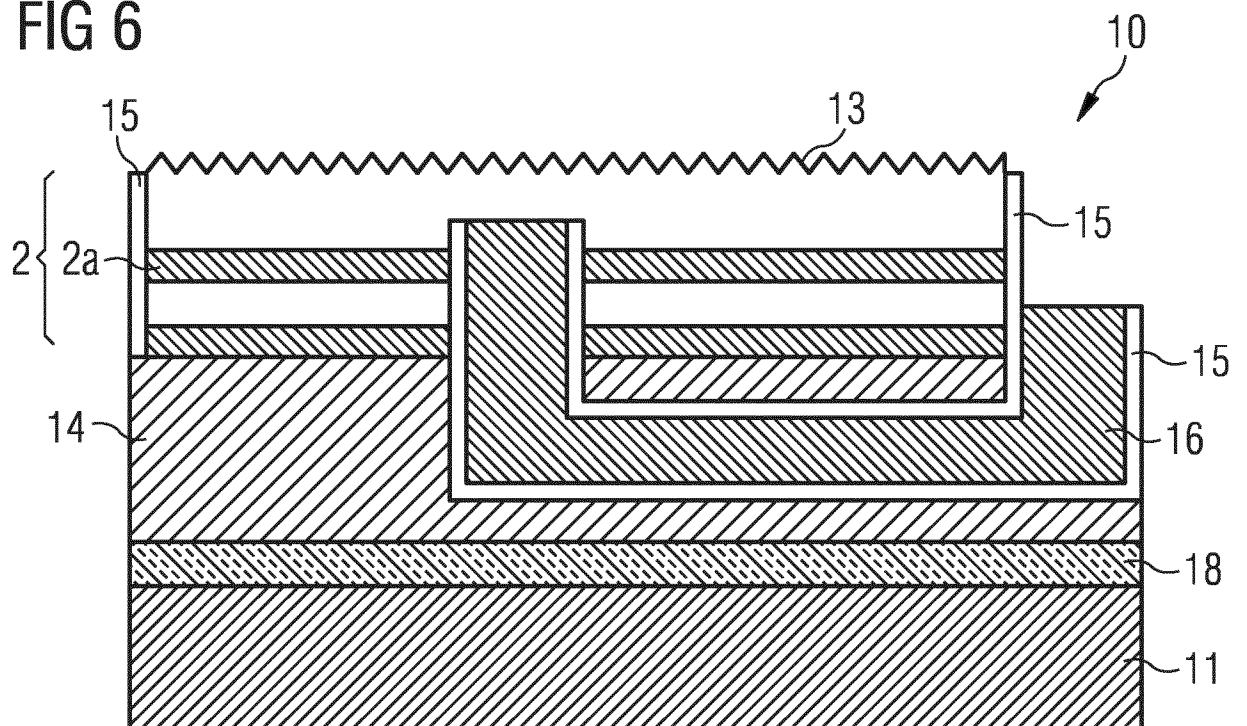


FIG 7

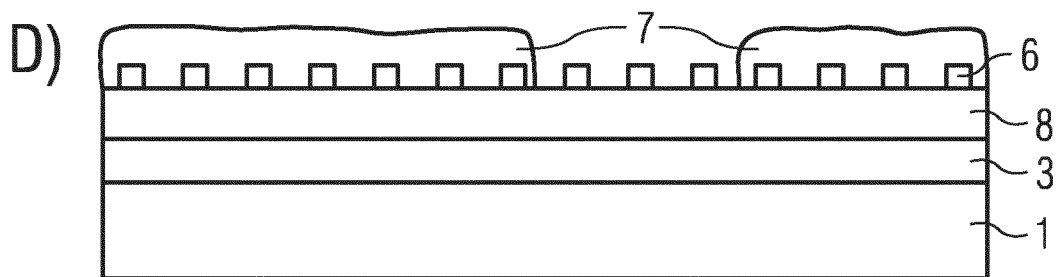
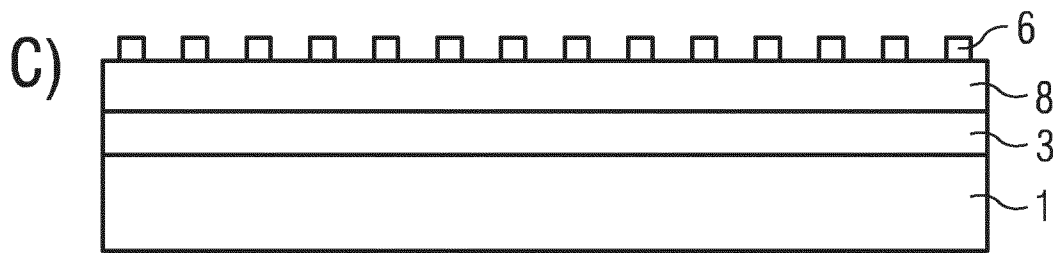
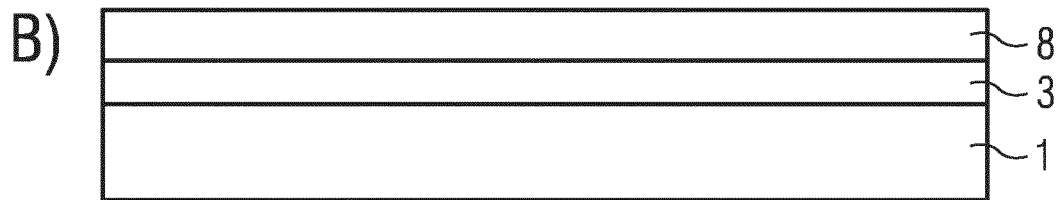
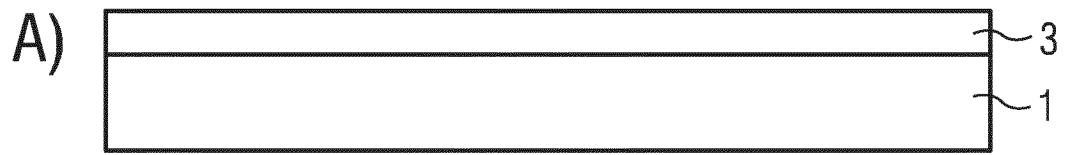
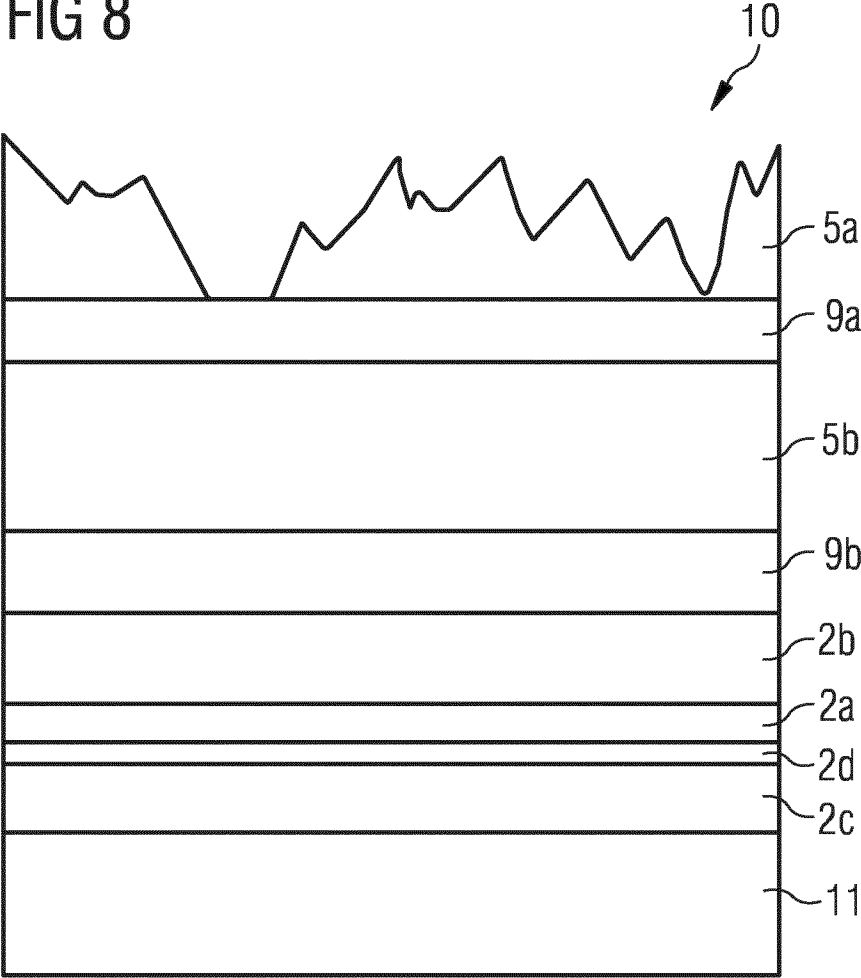


FIG 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2012/066459

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

See additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
1-4, 7-14
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/066459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L33/00 H01L33/22 H01L21/02
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

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

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

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

EPO-Internal, INSPEC, 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 Y A	US 2008/054296 A1 (YOON SUK-HO [KR] ET AL) 6 March 2008 (2008-03-06) the whole document -----	1-4,9, 10,13 14 11,12
X	EP 2 056 339 A1 (SHOWA DENKO KK [JP]) 6 May 2009 (2009-05-06) paragraph [0021] - paragraph [0084] paragraph [0095] - paragraph [0106] figure 1 -----	1,4,9, 11-13
X	US 2009/289270 A1 (HANAWA KENZO [JP] ET AL) 26 November 2009 (2009-11-26) paragraph [0030] - paragraph [0145] figure 1 ----- -/--	1,4,7-9, 11-13

☒ 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

30 January 2013

Date of mailing of the international search report

08/02/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bruckmayer, Manfred

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/066459

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 041 609 A1 (TOYODA GOSEI KK [JP]) 4 October 2000 (2000-10-04)	1,4,9,13
A	paragraph [0047] - paragraph [0057] figure 3	11,12
Y	----- US 2007/190676 A1 (CHU CHEN-FU [TW] ET AL) 16 August 2007 (2007-08-16) paragraph [0045] paragraph [0052] - paragraph [0058] figures 8-10 -----	14

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims: 1-4, 7-9, 11, 12 (in full); 13 (in part)

Method for separating a growth substrate by means of a sacrificial layer or method for producing a nucleation layer.

1.1. Claims: 1-3

Method for separating a growth substrate by means of a sacrificial layer.

1.2. Claims: 4, 7-9, 11, 12 (in full); 13 (in part)

Method for producing a nucleation layer.

2. Claims: 5, 6

Method for separating a growth substrate by means of a laser.

3. Claims: 10, 14 (in full); 13 (in part)

Method for producing a semiconductor layer sequence with a masking layer, a coalescence layer and one or a plurality of middle layers or corresponding component.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/066459

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008054296 A1	06-03-2008	KR 20080022459 A US 2008054296 A1	11-03-2008 06-03-2008
EP 2056339 A1	06-05-2009	EP 2056339 A1 KR 20090048590 A TW 200834670 A US 2009315046 A1 WO 2008020599 A1	06-05-2009 14-05-2009 16-08-2008 24-12-2009 21-02-2008
US 2009289270 A1	26-11-2009	JP 2009283785 A US 2009289270 A1 WO 2009142311 A1	03-12-2009 26-11-2009 26-11-2009
EP 1041609 A1	04-10-2000	CN 1270420 A EP 1041609 A1 TW 447149 B US 6713789 B1 US 2004115917 A1	18-10-2000 04-10-2000 21-07-2001 30-03-2004 17-06-2004
US 2007190676 A1	16-08-2007	NONE	

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. ☒ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
1-4, 7-14

4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- ☐ Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- ☒ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/066459

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L33/00 H01L33/22 H01L21/02
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y A	US 2008/054296 A1 (YOON SUK-HO [KR] ET AL) 6. März 2008 (2008-03-06) das ganze Dokument -----	1-4,9, 10,13 14 11,12
X	EP 2 056 339 A1 (SHOWA DENKO KK [JP]) 6. Mai 2009 (2009-05-06) Absatz [0021] - Absatz [0084] Absatz [0095] - Absatz [0106] Abbildung 1 -----	1,4,9, 11-13
X	US 2009/289270 A1 (HANAWA KENZO [JP] ET AL) 26. November 2009 (2009-11-26) Absatz [0030] - Absatz [0145] Abbildung 1 ----- -/--	1,4,7-9, 11-13



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

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. Januar 2013

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

08/02/2013

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Bruckmayer, Manfred

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/066459

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 041 609 A1 (TOYODA GOSEI KK [JP]) 4. Oktober 2000 (2000-10-04)	1,4,9,13
A	Absatz [0047] - Absatz [0057] Abbildung 3	11,12
Y	----- US 2007/190676 A1 (CHU CHEN-FU [TW] ET AL) 16. August 2007 (2007-08-16) Absatz [0045] Absatz [0052] - Absatz [0058] Abbildungen 8-10 -----	14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/066459

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2008054296 A1	06-03-2008	KR 20080022459 A	11-03-2008
		US 2008054296 A1	06-03-2008
EP 2056339 A1	06-05-2009	EP 2056339 A1	06-05-2009
		KR 20090048590 A	14-05-2009
		TW 200834670 A	16-08-2008
		US 2009315046 A1	24-12-2009
		WO 2008020599 A1	21-02-2008
US 2009289270 A1	26-11-2009	JP 2009283785 A	03-12-2009
		US 2009289270 A1	26-11-2009
		WO 2009142311 A1	26-11-2009
EP 1041609 A1	04-10-2000	CN 1270420 A	18-10-2000
		EP 1041609 A1	04-10-2000
		TW 447149 B	21-07-2001
		US 6713789 B1	30-03-2004
		US 2004115917 A1	17-06-2004
US 2007190676 A1	16-08-2007	KEINE	

WEITERE ANGABEN**PCT/ISA/ 210**

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-4, 7-9, 11, 12(vollständig); 13(teilweise)

Verfahren zur Abtrennung eines Aufwachssubstrates mittels einer Opferschicht bzw. Verfahren zur Herstellung einer Nukleationsschicht

1.1. Ansprüche: 1-3

Verfahren zur Abtrennung eines Auswachssubstrates mittels einer Opferschicht

1.2. Ansprüche: 4, 7-9, 11, 12(vollständig); 13(teilweise)

Verfahren zur Herstellung einer Nukleationsschicht

2. Ansprüche: 5, 6

Verfahren zur Abtrennung eines Aufwachssubstrates mittels eines Lasers

3. Ansprüche: 10, 14(vollständig); 13(teilweise)

Verfahren zur Herstellung einer Halbleiterschichtenfolge mit einer Maskierungsschicht, einer Koaleszenzschicht und einen oder mehreren Mittelschichten bzw. korrespondierendes Bauteil
