

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
22. Oktober 2015 (22.10.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/158658 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 21/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/057972

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. April 2015 (13.04.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 105 303.6
14. April 2014 (14.04.2014) DE

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

(72) Erfinder: **DRECHSEL, Philipp**; Mörikestr. 9, 93051
Regensburg (DE). **BERGBAUER, Werner**; Sandweg 1,
94336 Windberg (DE). **OFF, Jürgen**; Messerschmittstr.
15, 93049 Regensburg (DE). **STAUSS, Peter**; Bischof-
von-Senestrey-Str. 18, 93051 Regensburg (DE).

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

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

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

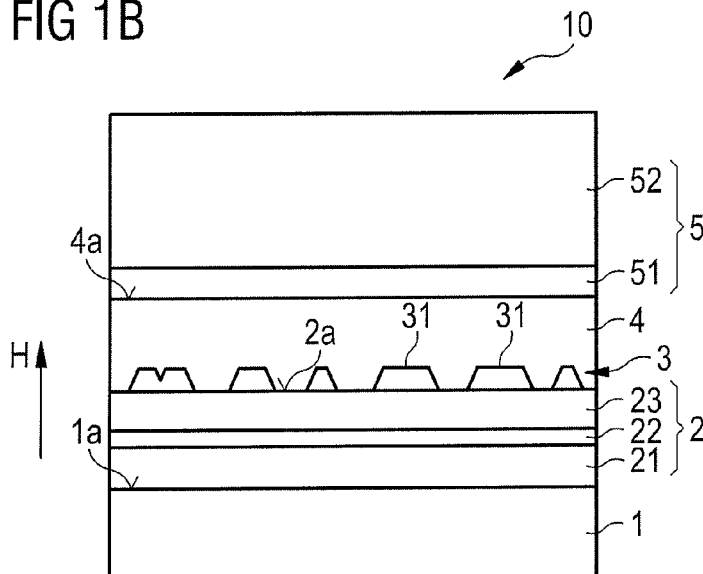
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A LAYER STRUCTURE AS A BUFFER LAYER OF A SEMICONDUCTOR
COMPONENT AND LAYER STRUCTURE AS A BUFFER LAYER OF A SEMICONDUCTOR COMPONENT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER SCHICHTSTRUKTUR ALS PUFFERSCHICHT EINES
HALBLEITERBAUELEMENTS SOWIE SCHICHTSTRUKTUR ALS PUFFERSCHICHT EINES
HALBLEITERBAUELEMENTS

FIG 1B



(57) Abstract: What is specified is a method
for producing a layer structure (10) as a buffer
layer of a semiconductor component, said
method comprising the following steps: a)
provision of a carrier (1), which has a silicon
surface (1a), b) deposition of a first layer
sequence (2), which comprises a seeding layer
(21) containing aluminium and nitrogen, on
the silicon surface (1a) of the carrier (1) along
a stacking direction (H) running perpendicular
to a main plane of extent of the carrier (1), c)
three-dimensional growth of a 3D-GaN layer
(3), which is formed with gallium nitride, on a
top surface (2a) of the first layer sequence (2)
which is remote from the silicon surface (1a),
d) two-dimensional growth of a 2D-GaN layer
(4), which is formed with gallium nitride, on
the outer surfaces (3a) of the 3D-GaN layer
(3) which are remote from the silicon surface
(1a).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Schichtstruktur (10) als Pufferschicht eines Halbleiterbauelements angegeben, umfassend die folgenden Schritte: a) Bereitstellen eines Trägers (1), der eine Silizium-Oberfläche (1a) aufweist, b) Abscheiden einer ersten Schichtenfolge (2), die eine Ankeimschicht (21), die Aluminium und Stickstoff enthält, umfasst, auf der Silizium-Oberfläche (1a) des Trägers (1) entlang einer Stapelrichtung (H), die senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene des Trägers (1) verläuft, c) dreidimensionales Wachstum einer 3D-GaN-Schicht (3), die mit Galliumnitrid gebildet ist, auf eine der Silizium-Oberfläche (1a) abgewandte Deckfläche (2a) der ersten Schichtenfolge (2), d) zweidimensionales Wachstum einer 2D-GaN-Schicht (4), die mit Galliumnitrid gebildet ist, auf den der Silizium-Oberfläche (1a) abgewandten Außenflächen (3a) der 3D-GaN-Schicht (3).

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer Schichtstruktur als
Pufferschicht eines Halbleiterbauelements sowie

5 Schichtstruktur als Pufferschicht eines Halbleiterbauelements

Die Druckschriften DE 10 2006 008 929 A1, DE 10 2009 047 881
A1, DE 10 2010 035 489 A1 und WO 2011/039181 A1 beschreiben
jeweils eine Schichtstruktur als Pufferschicht eines

10 Halbleiterbauelements und/oder ein Verfahren zur Herstellung
einer solchen Schichtstruktur.

Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zur
Herstellung einer Schichtstruktur als Pufferschicht eines
15 Halbleiterbauelements anzugeben, die eine möglichst hohe
kristalline Qualität aufweist. Eine weitere zu lösende
Aufgabe besteht darin, eine Schichtstruktur mit einer
möglichst hohen kristallinen Qualität für ein
Halbleiterbauelement anzugeben.

20

Hierbei und im Folgenden kann unter einer Schicht, wie
beispielsweise die Pufferschicht, insbesondere ein
Schichtenstapel gemeint sein.

25 Eine Schichtstruktur mit einer hohen kristallinen Qualität
zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass wenig
Kristallfehler, wie beispielsweise Versetzungen, Fehlstellen
und/oder Defekte, in dem Kristallgitter zumindest in
Bereichen der Schichtstruktur, zum Beispiel an einer an Luft
30 und/oder weitere Schichten angrenzenden Aufwachsfläche der
Schichtstruktur, vorzufinden sind.

Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Schichtstruktur als Pufferschicht eines Halbleiterbauelements angegeben. Bei dem Halbleiterbauelement, das auf die Schichtstruktur aufgewachsen werden kann, kann es sich beispielsweise um ein
5 optoelektronisches Halbleiterbauelement oder um ein elektronisches Halbleiterbauelement handeln. Das Halbleiterbauelement umfasst insbesondere Gallium und/oder Stickstoff. Beispielsweise handelt es sich bei dem Halbleiterbauelement um eine Fotodiode, eine Leuchtdiode,
10 eine Laserdiode, einen Transistor und/oder einen integrierten Schaltkreis. Allgemein kann es sich bei dem Halbleiterbauelement um ein Bauelement handeln, welches beispielsweise Gallium und/oder Stickstoff umfasst. Bevorzugt wird das Halbleiterbauelement auf die Schichtstruktur
15 aufgewachsen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird zunächst ein Träger bereitgestellt. Bei dem Träger kann es sich beispielsweise um einen temporären Träger handeln, der
20 in einem anschließenden Verfahrensschritt wieder entfernt wird, oder aber auch um einen Träger, der nach der Herstellung an der Schichtstruktur verbleibt. Bei dem Träger kann es sich insbesondere um ein Substrat handeln.

25 Der Träger weist eine Haupterstreckungsebene auf, in der er sich in lateralen Richtungen erstreckt. Senkrecht zur Haupterstreckungsebene, in der vertikalen Richtung, weist der Träger eine Dicke auf. Die Dicke des Trägers ist klein gegen die maximale Erstreckung des Trägers in einer lateralen
30 Richtung. Eine Hauptebene des Trägers bildet eine Silizium-Oberfläche des Trägers. Senkrecht zur Haupterstreckungsebene verläuft eine Stapelrichtung der Schichtenstruktur.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens weist der Träger die Silizium-Oberfläche auf. Hierbei ist es möglich, dass der Träger nahezu vollständig aus Silizium gebildet ist. „Nahezu vollständig“ kann hierbei und im
5 Folgenden bedeuten, dass wenigstens 90 %, bevorzugt wenigstens 95 %, des Materials des Trägers Silizium ist. Der Träger kann dann insbesondere aus Silizium bestehen. Alternativ ist es möglich, dass der Träger aus mehreren Schichten aufgebaut ist, wobei eine der Schichten eine
10 äußerste Schicht des Trägers bildet. Diese äußerste Schicht kann mit Silizium gebildet sein. Insbesondere kann diese äußerste Schicht nahezu vollständig aus Silizium gebildet sein oder aus Silizium bestehen. Die Außenfläche der äußersten Schicht bildet dann die Silizium-Oberfläche des
15 Trägers.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird auf die Silizium-Oberfläche des Trägers eine erste Schichtenfolge abgeschieden. Die erste Schichtenfolge umfasst eine
20 Ankeimschicht, die Aluminium und Stickstoff enthält. Insbesondere weist das Material der ersten Schichtenfolge eine natürliche Gitterkonstante auf, die sich von der natürlichen Gitterkonstante des Materials der Silizium-Oberfläche unterscheidet. Insbesondere kann die natürliche
25 Gitterkonstante des Materials der Silizium-Oberfläche größer als die natürliche Gitterkonstante des Materials der ersten Schichtenfolge sein. Die „natürliche Gitterkonstante“ eines Materials kann hierbei die Gitterkonstante sein, die sich bei dem verwendeten Material bei einer Kristallisation unter
30 idealen Bedingungen, beispielsweise unter Abwesenheit von Verspannungen, einstellt.

Die Ankeimschicht kann ferner Gallium enthalten. Die Ankeimschicht kann also mit $\text{Al}_n\text{Ga}_m\text{N}$ gebildet sein, wobei bevorzugt $0,95 \leq n \leq 1$ und $0 \leq m \leq 0,05$. Mit anderen Worten, bezogen auf die Aluminium-Konzentration n ist die Gallium-Konzentration m niedrig gewählt. Beispielsweise können in der Ankeimschicht 5 % der Aluminium-Atome durch Gallium-Atome ersetzt sein. Ferner kann die Ankeimschicht Sauerstoff enthalten, wobei bevorzugt der Sauerstoffgehalt der Ankeimschicht durch eine gezielte Zugabe von Sauerstoff gesteuert werden kann. Die Ankeimschicht dient insbesondere in einem Herstellungsverfahren als Schutzschicht, da ein sofortiges Aufwachsen von Schichten, die viel Gallium enthalten, auf der Silizium-Oberfläche unter den in der Reaktorkammer herrschenden Prozessbedingungen zu einer chemischen Reaktion auf der Silizium-Oberfläche und einer Zerstörung derselben führen könnte.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird eine 3D-GaN-Schicht auf eine der Silizium-Oberfläche abgewandte Deckfläche der ersten Schichtenfolge aufgewachsen. Die 3D-GaN-Schicht kann mit Galliumnitrid gebildet sein oder aus Galliumnitrid bestehen. Das Wachstum der 3D-GaN-Schicht erfolgt insbesondere dreidimensional. Mit anderen Worten, die Wachstumsbedingungen sind so eingestellt, dass das Wachstum gemäß dem sogenannten Volmer-Weber-Wachstumsmodell oder dem Stranski-Krastanov-Wachstumsmodell beschrieben werden kann.

Die Wachstumsrate entlang der Stapelrichtung kann im Vergleich zu der Wachstumsrate entlang der lateralen Richtungen erhöht sein. Durch das dreidimensionale Wachstum ergibt sich eine unvollständige Bedeckung der Deckfläche der ersten Schichtenfolge. Mit anderen Worten, die Deckfläche kann zeitgleich stellenweise bedeckt und stellenweise frei

zugänglich sein. Insbesondere weist die 3D-GaN-Schicht hierdurch eine Vielzahl mehrlagiger Inseln auf, die sich entlang einer Stapelrichtung erstrecken. Die mehrlagigen Inseln sind zumindest stellenweise lateral nicht miteinander

verbunden. Mit anderen Worten, es ist möglich, dass zwischen zumindest zwei der Inseln Freiräume vorhanden sind. Ferner ist es möglich, dass zwischen einem Großteil der Inseln jeweils Freiräume vorhanden sind. „Mehrlagig“ bedeutet hier und im Folgenden, dass die Inseln mehrere, übereinander

gewachsene Monolagen enthalten. Unter einer Monolage ist hierbei und im Folgenden eine durchgängige Schicht von Atomen bzw. Molekülen zu verstehen, wobei die Schichthöhe nur ein Atom bzw. Molekül beträgt. Insbesondere liegen in einer Monolage keine gleichen Atome bzw. Moleküle übereinander.

Hierbei ist es möglich, dass jede Insel jeweils mehrere übereinander gewachsene Monolagen aufweist, wobei die Monolagen der jeweiligen Inseln zumindest zeitweise nicht mit Monolagen benachbarter Inseln verbunden sein können.

Bei einem dreidimensionalen Wachstum werden somit nicht geschlossene zweidimensionale Monolagen für Monolagen gewachsen. Vielmehr bilden sich zunächst einzelne Inseln.

Diese könnten im Fall eines zeitlich länger andauernden dreidimensionalen Wachstums an ihren zeitlich früher

aufgewachsenen Monolagen, also den Monolagen, die einen geringeren Abstand zum Träger aufweisen, lateral zusammenwachsen. Im hier beschriebenen Fall eines zeitlich kürzer andauernden dreidimensionalen Wachstums sind die Inseln der 3D-GaN-Schicht lateral nicht miteinander

verbunden. Das heißt, das dreidimensionale Wachstum wird beendet, bevor die Inseln zumindest stellenweise lateral zusammenwachsen könnten. Ein Beenden des dreidimensionalen Wachstums kann beispielsweise durch die Änderung der

Wachstumsbedingungen zu den Wachstumsbedingungen der nach der 3D-GaN-Schicht aufgewachsenen Schicht erfolgen.

Insbesondere ist es bei dem dreidimensionalen Wachstum
5 möglich, dass die Kristallstruktur der 3D-GaN-Schicht nicht ihre natürliche Gitterkonstante aufweist, sondern die natürliche Gitterkonstante des Materials der Deckfläche der ersten Schichtenfolge annimmt. „Die natürliche Gitterkonstante eines Materials annehmen“ kann hierbei und im
10 Folgenden bedeuten, dass zeitlich früher aufgewachsene Monolagen der 3D-GaN-Schicht, das heißt, die Monolagen, die sich in Stapelrichtung näher an der Deckfläche der ersten Schichtenfolge befinden, entlang zumindest einer Raumrichtung eine Gitterkonstante aufweisen, deren Wert zwischen der
15 natürlichen Gitterkonstante des Materials der 3D-GaN-Schicht entlang besagter Raumrichtung und der natürlichen Gitterkonstante des Materials der Deckfläche der ersten Schichtenfolge entlang besagter Raumrichtung liegt. Bei „besagter Raumrichtung“ handelt es sich bevorzugt um eine
20 Raumrichtung, die im Rahmen der Herstellungstoleranzen parallel zur Hauptstreckungsebene verläuft. Die Abweichung von der eigenen natürlichen Gitterkonstante kann hierbei durch die Wachstumsbedingungen eingestellt werden. Zeitlich später aufgewachsene Monolagen der 3D-GaN-Schicht können dann
25 zumindest eine Gitterkonstante aufweisen, die im Rahmen der Herstellungstoleranzen der natürlichen Gitterkonstante des Materials der 3D-GaN-Schicht entspricht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird auf
30 den der Silizium-Oberfläche abgewandten Außenflächen der 3D-GaN-Schicht eine 2D-GaN-Schicht zweidimensional aufgewachsen. Mit andern Worten, die 3D-GaN-Schicht wird mittels des Aufwachsens 2D-GaN-Schicht zu einer ganzflächig ausgebildeten

GaN-Schicht, die mit der 3D-GaN-Schicht und der 2D-GaN-Schicht gebildet ist, koalesziert. Durch die Änderung der Wachstumsbedingungen zum zweidimensionalen Wachstum wird somit durch Koaleszieren der 3D-GaN-Schicht eine glatte 2D-GaN-Schicht erzeugt. Die 2D-GaN-Schicht ist beispielsweise mit Galliumnitrid gebildet. Unter zweidimensionalem Wachstum ist hierbei und im Folgenden zu verstehen, dass die Wachstumsrate entlang der lateralen Richtungen höher oder genauso hoch wie die Wachstumsrate entlang der Stapelrichtung sein kann. Mit anderen Worten, die Wachstumsbedingungen sind so eingestellt, dass das Wachstum gemäß dem sogenannten Frank-van-der-Merwe-Wachstumsmodell beschrieben werden kann.

Bei dem zweidimensionalen Wachstum werden bevorzugt zunächst die Freiräume zwischen den mehrlagigen Inseln der 3D-GaN-Schicht aufgefüllt, während die Bedeckung der Inseln anfangs nur sehr schwach, also mit einer geringen Wachstumsrate, erfolgt. Nach dem Auffüllen der Freiräume zwischen den mehrlagigen Inseln erfolgt eine gleichmäßige Bedeckung der Oberfläche der 3D-GaN-Schicht und der bereit aufgewachsenen Monolagen der 2D-GaN-Schicht, so dass die mehrlagigen Inseln der 3D-GaN-Schicht nach dem zweidimensionalen Aufwachsen der 2D-GaN-Schicht von außen nicht mehr frei zugänglich sind und an allen Außenflächen von der 2D-GaN-Schicht bedeckt sind und mit dieser in direktem Kontakt stehen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens zur Herstellung einer Schichtstruktur als Pufferschicht eines Halbleiterbauelements umfasst das Verfahren die folgenden Schritte:

a) Bereitstellen eines Trägers, der eine Silizium-Oberfläche aufweist,

- b) Abscheiden einer ersten Schichtenfolge, die eine Ankeimschicht, die Aluminium, Sauerstoff und Stickstoff enthält, umfasst, auf der Silizium-Oberfläche des Trägers, entlang einer Stapelrichtung, die senkrecht zu einer
5 Haupterstreckungsebene des Trägers verläuft,
c) dreidimensionales Wachstum einer 3D-GaN-Schicht, die mit Galliumnitrid gebildet ist, auf eine der Silizium-Oberfläche abgewandte Deckfläche der ersten Schichtenfolge,
d) zweidimensionales Wachstum einer 2D-GaN-Schicht, die mit
10 Galliumnitrid gebildet ist, auf der Silizium-Oberfläche abgewandten Außenflächen der 3D-GaN-Schicht.

Die Verfahrensschritte werden bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt.

15

Bei dem hier beschriebenen Verfahren wird mitunter die Idee verfolgt, durch ein dreidimensionales Wachstum der 3D-GaN-Schicht ein anschließendes zweidimensionales Wachstum der 2D-GaN-Schicht mit einer reduzierten Defektdichte und/oder einer
20 reduzierten Versetzungsdichte in der Kristallstruktur der 2D-GaN-Schicht im Vergleich zu den Schichten der ersten Schichtenfolge zu ermöglichen. Die Schichtstruktur kann dann die eben aufgeführten Fehler in der Kristallstruktur und/oder Materialeigenschaften der ersten Schichtenfolge und/oder des
25 Trägers puffern und folglich als Pufferschicht dienen. Die Wahl der dreidimensionalen Wachstumsbedingungen für das Erzeugen der Inseln ersetzt hierbei ein Wachstum von Galliumnitrid-haltigen Schichten nach einer Maskenschicht.

30 Hierdurch wird eine Maskenschicht, die zum Beispiel mit Siliziumnitrid gebildet ist, in dem hier beschriebenen Verfahren zur Herstellung einer Schichtstruktur nicht benötigt. Es wurde vorliegend festgestellt, dass eine solche

Maskenschicht mit Silizium und/oder Siliziumnitrid schwer kontrollierbare Störungen bei einer durch eine Maskenschicht hindurch erzeugten n-seitigen Aufrauhung eines auf die Schichtstruktur aufgewachsenen Halbleiterbauelements

5 verursacht. Zudem kann das in der Maskenschicht enthaltene Silizium in benachbarte Galliumnitrid-haltige Schichten diffundieren und/oder es kann während des Herstellungsprozesses zu einer Verschleppung des im Reaktor noch vorhandenen Silizium-Materials kommen. Dies würde zu
10 einer ungewollten Dotierung besagter Galliumnitrid-haltiger Schichten führen. Die Galliumnitrid-haltigen Schichten könnten in diesem Fall elektrisch leitfähig werden. Eine solche Dotierung der Schichtstruktur, insbesondere der ersten Schichtenfolge, mit Silizium, also eine Dotierung der
15 Pufferschicht für nachfolgende aktive oder funktionelle Bereiche eines Halbleiterbauelements, kann insbesondere bei elektronischen Bauelementen, wie Transistoren, zu Fehlfunktionen führen.

20 Die Schichtstruktur, insbesondere die erste Schichtenfolge, die 3D-GaN-Schicht und die 2D-GaN-Schicht, kann also - mit Ausnahme der Silizium-Oberfläche des Trägers - frei von Silizium sein. „Frei von Silizium“ kann hierbei und im Folgenden bedeuten, dass Silizium-Atome nicht absichtlich in
25 die Schichtstruktur eingebracht werden, sondern lediglich als Verunreinigung im Rahmen der Herstellungstoleranzen in der Schichtstruktur vorhanden sind.

Ferner ist es durch das hier beschriebene Verfahren möglich,
30 Gitterfehler in der Kristallstruktur einer für das Aufwachsen eines Halbleiterbauelements bereitgestellten Aufwachsfläche der Schichtstruktur im Vergleich zu einer Aufwachsfläche einer ansonsten baugleichen Schichtstruktur, die

Siliziumnitrid als Maskenschicht aufweist, zu reduzieren. Die 3D-GaN-Schicht dient hier insbesondere dazu, ein Weitergeben von Gitterfehler, wie beispielsweise Defekte und Versetzungen, insbesondere Versetzungen, die einen

5 Stufenversetzungs-Anteil enthalten, welche in dem Material der ersten Schichtenfolge vorhanden sind, an die 2D-GaN-Schicht zu verhindern. Die 2D-GaN-Schicht kann somit insbesondere versetzungsärmer als die 3D-GaN-Schicht sein. Eine solche Schichtstruktur ermöglicht insbesondere das

10 Aufwachsen von funktionellen Schichten eines Halbleiterbauelements, wobei das Material der funktionellen Schichten des Halbleiterbauelements - aufgrund der reduzierten Gitterfehler in der als Pufferschicht fungierenden Schichtstruktur - eine hohe kristalline Qualität

15 aufweisen kann.

Zudem kann eine Schichtstruktur bereitgestellt werden, die im abgekühlten Zustand eine geringe Krümmung und insbesondere eine niedrige beziehungsweise bevorzugt keine tensile

20 Verspannung aufweist. Bevorzugt weist die Schichtstruktur eine konvexe Krümmung, keine Krümmung oder eine sehr geringe konkave Krümmung auf. Die Angaben „konvex“ und „konkav“ sind hierbei und im Folgenden in Bezug auf die Hauptstreckungsebene des Trägers zu sehen. Eine konvexe

25 Krümmung liegt vor, wenn die Schichtstruktur in der Stapelrichtung eine positive Krümmung aufweist. Bei einer konkaven Krümmung liegt demnach eine negative Krümmung in Stapelrichtung vor. Im Falle einer konkaven Krümmung kann die Schichtstruktur tensil verspannt sein, im Falle der konvexen

30 Krümmung kann eine kompressive Verspannung vorliegen.

Eine tensile Verspannung ist bei einer hier beschriebenen Schichtstruktur unerwünscht, da sich bei einer solchen

tensilen Verspannung des Schichtenstapels Risse bilden können. Diese Risse können die elektrischen und optoelektrischen Schichten eines aufgewachsenen Halbleiterbauelements zerstören. Dies hätte ein erhöhtes
5 Ausfallrisiko eines Halbleiterbauelements zur Folge.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens weist die in Schritt c) aufgewachsene 3D-GaN-Schicht eine Vielzahl mehrlagiger Inseln auf, die sich entlang der Stapelrichtung
10 erstrecken. Hierbei kann sich insbesondere eine unvollständige Bedeckung der Deckfläche der ersten Schichtenfolge mit der Vielzahl mehrlagiger Inseln ergeben. Eine unvollständige Bedeckung bedeutet hierbei und im Folgenden, dass die darunterliegende Schicht, das heißt die
15 Schicht, die in Stapelrichtung der unvollständig bedeckten Schicht vorgeordnet ist, stellenweise frei von besagter Schicht ist. Die mehrlagigen Inseln können hierbei unterschiedliche Größen aufweisen.

20 Seitenflächen der mehrlagigen Inseln können mitunter schräg zur Deckfläche der ersten Schichtenfolge verlaufen. Beispielsweise können die mehrlagigen Inseln in einer Schnittdarstellung die Form eines stilisierten Trapezes aufweisen. Mit anderen Worten, nach der Beendigung des
25 Aufwachsens der 3D-GaN-Schicht können sich in Stapelrichtung näher an der Deckfläche der ersten Schichtenfolge befindende Monolagen der mehrlagigen Inseln eine größere Ausdehnung in lateralen Richtungen aufweisen als weiter entfernte Monolagen. Durch die stilisierte Trapezform ist es
30 insbesondere möglich, die Wachstumsrichtung von Versetzungen in dem Kristallgitter zu verändern. Beispielsweise kann eine Versetzung, die sich in der ersten Schichtenfolge entlang der Stapelrichtung erstreckt, innerhalb einer der Inseln der 3D-

GaN-Schicht die Wachstumsrichtung ändern und anschließend quer zur Stapelrichtung verlaufen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens

- 5 koalesziert in Schritt d) die Vielzahl mehrlagiger Inseln mittels der 2D-GaN-Schicht. Das heißt, die 2D-GaN-Schicht bedeckt in Schritt d) die Vielzahl mehrlagiger Inseln und die Deckfläche der ersten Schichtenfolge. Insbesondere grenzt die 2D-GaN-Schicht an die Seitenflächen der mehrlagigen Inseln.
- 10 Da die 2D-GaN-Schicht eine hohe laterale Wachstumsrate aufweist, ist es möglich, dass die 2D-GaN-Schicht zunächst schneller innerhalb der Zwischenräume zwischen den Inseln der 3D-GaN-Schicht (sogenanntes Koaleszieren) und anschließend Lage für Lage, zum Beispiel Monolage für Monolage, aufwächst.

15

- Durch eine Filterwirkung der 3D-GaN-Schicht und das laterale, d.h. zweidimensionale, Wachstum der 2D-GaN-Schicht kommt es zu einer deutlichen Reduktion der Defekt- beziehungsweise Versetzungsdichte. Da die Versetzungen im Bereich der Inseln
- 20 stellenweise quer zur Stapelrichtung, also entlang einer der Haupterstreckungsrichtungen des Trägers, verlaufen, ist es möglich, dass Versetzungen im Übergangsbereich zwischen der 3D-GaN-Schicht und der 2D-GaN-Schicht zusammenwachsen. Dies führt zu einer Annihilation der Versetzungen. Insbesondere
- 25 die Versetzungs-Annihilation und die damit verbundene Reduktion der Versetzungsdichte im Bereich der 3D-GaN-Schicht kann mit einem Tunnelelektronenmikroskop (TEM) gemessen werden. Die 3D-GaN-Schicht kann dementsprechend auch am fertigen Gegenstand nachgewiesen werden.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird bei dem dreidimensionalen Wachstum der 3D-GaN-Schicht in Schritt c) im Vergleich zu dem zweidimensionalen Wachstum der 2D-GaN-

Schicht in Schritt d) mindestens eine von drei Wachstumsbedingungen wie folgt geändert:

- Reduktion der Reaktortemperatur,
- Erhöhung des Reaktordrucks und/oder
- 5 - Reduktion des V/III-Verhältnisses.

Das V/III-Verhältnis ist hierbei durch das Verhältnis der Gruppe-V-Atome, also der Stickstoffatome, zu den Elementen der Gruppe-III-Atome, also beispielsweise der Aluminium- und Gallium-Atome, in der Reaktorkammer gegeben.

Das Aufwachsen der Schichten der Schichtstruktur und insbesondere der 3D-GaN-Schicht kann beispielsweise mittels metallorganischer chemischer Gasphasenabscheidung (MOCVD) erfolgen. Das Aufwachsen der Schichten erfolgt dann in einer Reaktorkammer bei einer einstellbaren Reaktortemperatur mit einem oder mehreren Präkursoren, welche in Verbindung mit weiteren Gasen einen einstellbaren Reaktordruck in der Reaktorkammer erzeugen. Als Präkursoren können beispielsweise Ammoniak, Triethylgallium, Trimethylgallium und/oder Trimethylaluminium zum Einsatz kommen.

Beim Aufwachsen der 3D-GaN-Schicht wird die Reaktortemperatur bevorzugt wenigstens 30 °C unterhalb der Reaktortemperatur beim Aufwachsen der 2D-GaN-Schicht gesetzt. Beispielsweise beträgt die Reaktortemperatur bei dem dreidimensionalen Wachstum 1020 °C und bei dem zweidimensionalen Wachstum 1060 °C. Insbesondere ist es möglich, dass die Reaktortemperatur bei dem dreidimensionalen Wachstum geringer ist als bei dem zweidimensionalen Wachstum. Beispielsweise beträgt die Reaktortemperatur bei dem dreidimensionalen Wachstum mehr als 980°C, bevorzugt mehr als 1000°C und besonders bevorzugt mehr als 1020°C. Ferner kann die

Reaktortemperatur bei dem zweidimensionalen Wachstum mehr als 1020°C, bevorzugt mehr als 1040°C und besonders bevorzugt mehr als 1060°C, betragen.

- 5 Der Reaktordruck kann während des dreidimensionalen Wachstums wenigstens einen Faktor 2, bevorzugt einen Faktor 4, über dem Reaktordruck während des zweidimensionalen Wachstums liegen. Beispielsweise beträgt der Reaktordruck bei dem dreidimensionalen Wachstum 600 mbar, während der Reaktordruck
10 beim zweidimensionalen Wachstum in einem Bereich von 100 mbar bis 200 mbar liegen kann. Insbesondere durch das Abscheiden unter hohem Druck kann sich die dreidimensionale Morphologie der 3D-GaN-Schicht bilden.
- 15 Das V/III-Verhältnis kann während des dreidimensionalen Wachstums beispielsweise höchstens 500 betragen. Dies bedeutet, dass das Verhältnis der Gruppe-V-Atome (hier: Stickstoff) zu Gruppe-III-Atomen (hier: Gallium), das in der Reaktorkammer zur Verfügung gestellt wird, höchstens 500
20 beträgt. Im Vergleich dazu kann das V/III-Verhältnis bei dem zweidimensionalen Wachstum im Bereich von 1000 und mehr liegen.

- Die Veränderung der Wachstumsbedingungen, wie zuvor
25 ausgeführt, führen beispielsweise dazu, dass die 3D-GaN-Schicht in Schritt c) dreidimensional gewachsen wird. Insbesondere kann die 3D-GaN-Schicht durch die veränderten Wachstumsbedingungen und/oder durch das dreidimensionale Wachstum eine hohe Rauigkeit im Vergleich zur zweidimensional
30 gewachsenen 2D-GaN-Schicht in Schritt d) aufweist. Die Reduktion des V/III-Verhältnisses während des dreidimensionalen Wachstums in Schritt c) kann zu einem erhöhten Anteil von Kohlenstoff-Fremdatomen in der 3D-GaN-

Schicht führen. Dies bedeutet, dass die gewählten Wachstumsbedingungen an dem fertigen Gegenstand nachweisbar sein können. Im Bereich der 3D-GaN-Schicht kann die Schichtstruktur dementsprechend einen höheren Kohlenstoff-Anteil aufweisen als im Bereich der 2D-GaN-Schicht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens beinhaltet das Abscheiden der ersten Schichtenfolge in Schritt b) die folgenden Schritte:

- Aufwachsen der Ankeimschicht auf die Silizium-Oberfläche des Trägers,
- Aufwachsen einer Pufferschicht, die Aluminium, Sauerstoff und Stickstoff umfasst, an einer der Silizium-Oberfläche abgewandten Seite der Ankeimschicht.

Die angegebenen Schritte werden bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt.

Die erste Schichtenfolge kann demnach neben der Ankeimschicht eine Pufferschicht umfassen. Es sind jedoch auch weitere Schichten möglich, die Aluminium, Sauerstoff, Gallium und/oder Stickstoffbeinhalten können. Die Pufferschicht kann hierbei aus demselben Material wie die Ankeimschicht gebildet sein.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird auf an einer der Silizium-Oberfläche abgewandten Seite der Pufferschicht eine Gradientenschicht aufgewachsen, die mit $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ gebildet ist. Die Gradientenschicht kann ebenfalls Teil der ersten Schichtenfolge sein. Hierbei nimmt der Konzentrations-Anteil der Aluminium-Atome x entlang der Stapelrichtung ab und der Konzentrations-Anteil der Gallium-Atome y nimmt entlang der Stapelrichtung zu. Der

„Konzentrations-Anteil“ bzw. „Anteil“ kann hierbei und im Folgenden der molare Anteil bzw. der Stoffmengenanteil sein.

Es ist insbesondere möglich, den Aluminium-Anteil der Gradientenschicht entlang der Stapelrichtung zu variieren. Insbesondere kann der Anteil der Aluminium-Atome entlang der Stapelrichtung reduziert werden. Dieses Vorgehen führt insbesondere dazu, dass die natürliche Gitterkonstante der Gradientenschicht entlang zumindest einer Raumrichtung die parallel zur Haupterstreckungsebene verläuft mit zunehmendem Abstand zur Silizium-Oberfläche zunimmt. Hierbei wird die Idee verfolgt, die natürliche Gitterkonstante des Materials der Gradientenschicht kontinuierlich zu verändern, um so eine bessere Anpassung an die natürlichen Gitterkonstanten der 3D-GaN-Schicht und der 2D-GaN-Schicht im Vergleich zu einer ersten Schichtenfolge, die keine Gradientenschicht umfasst, zu ermöglichen. Zudem kann die Defektanzahl in Schichten, die in Stapelrichtung einen größeren Abstand zum Träger aufweisen, durch die erste Schichtenfolge reduziert werden.

Beispielsweise kann die Aluminium-Konzentration x bezogen auf die Gesamtkonzentration von Aluminium und Gallium in den Monolagen, die zeitlich früher aufgewachsen werden, und sich somit näher an der Silizium-Oberfläche befinden, 95 % betragen. In den Monolagen, die zeitlich später aufgewachsen werden, kann die Aluminium-Konzentration 60 % betragen. Es ist jedoch auch möglich, dass der Aluminium-Anteil bezogen auf die Gesamtkonzentration von Aluminium und Gallium in zeitlich später aufgewachsenen Monolagen auf bis zu 0 % reduziert wird.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird dem Aufwachsen der 2D-GaN-Schicht in Schritt d) nachfolgend eine

zweite Schichtenfolge, die Aluminium, Gallium und Stickstoff enthält, an einer der Silizium-Oberfläche abgewandten Seite der 2D-GaN-Schicht aufgewachsen. Eine der Silizium-Oberfläche abgewandte Deckfläche der zweiten Schichtenfolge kann als
5 Aufwachsfläche für funktionelle Schichten eines Halbleiterbauelements dienen. Die zweite Schichtenfolge umfasst eine relaxierte Schicht und eine pseudomorphe Schicht, wobei das Aufwachsen der relaxierten Schicht vor dem Aufwachsen der pseudomorphen Schicht erfolgt.

10

Unter einer relaxierten Schicht ist hierbei und im Folgenden eine Schicht gemeint sein, die Bereiche aufweist, deren Gitterkonstante im Rahmen der Herstellungstoleranzen der natürlichen Gitterkonstante des Materials, aus dem die
15 relaxierte Schicht besteht, entspricht. In den übrigen Bereichen kann die relaxierte Schicht eine Gitterkonstante aufweisen, die zwischen der natürlichen Gitterkonstante des Materials der relaxierten Schicht und der natürlichen Gitterkonstante des Materials der pseudomorphen Schicht
20 liegt. Für das Erreichen eines solchen teilweise relaxierten Wachstums werden die Wachstumsbedingungen während des Aufwachsens der relaxierten Schicht beispielsweise wie folgt verändert. Beispielsweise kann während des Wachstums der relaxierten Schicht eine geringe Reaktortemperatur
25 (sogenanntes kaltes Wachstum) und/oder ein hoher Aluminium-Anteil in der Reaktorkammer eingestellt werden. Zudem wird die relaxierte Schicht bevorzugt derart aufgewachsen, dass die Dicke der relaxierten Schicht entlang der Stapelrichtung eine kritische Schichtdicke übersteigt. Ab dieser kritischen
30 Schichtdicke kann eine Schicht relaxiert sein.

Die pseudomorphe Schicht kann eine zumindest teilweise pseudomorphe Kristallstruktur aufweisen, das heißt, die

pseudomorphe Schicht weist zumindest teilweise nicht ihre natürliche Gitterkonstante und/oder Kristallstruktur auf.

Bevorzugt ist die pseudomorphe Schicht beim Aufwachsen kompressiv verspannt. Die relaxierte Schicht kann einen

5 höheren Aluminium-Anteil als die pseudomorphe Schicht aufweisen. Bevorzugt ist die relaxierte Schicht in Stapelrichtung vor der pseudomorphen Schicht aufgewachsen und die Schichten grenzen direkt aneinander.

10 Bei dem pseudomorphen Wachstum werden die Wachstumsbedingungen derart eingestellt, dass die pseudomorphe Schicht die natürliche Gitterkonstante des Materials der zuvor aufgewachsenen relaxierten Schicht annimmt. Da die natürliche Gitterkonstante einer Schicht mit

15 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ mit sinkendem Aluminium-Anteil x wächst, ist die natürliche Gitterkonstante der relaxierten Schicht geringer als die natürliche Gitterkonstante der pseudomorphen Schicht.

Da die pseudomorphe Schicht die natürliche Gitterkonstante der relaxierten Schicht annimmt, kann es bevorzugt zu einer

20 kompressiven Verspannung der pseudomorphen Schicht kommen. Mit anderen Worten, die noch nicht abgekühlte Schichtstruktur weist spätestens nach dem Aufwachsen der zweiten

Schichtenfolge eine konvexe Krümmung auf. Pseudomorphe Wachstumsbedingungen können beispielsweise durch die

25 Verwendung von wenig Dotierstoff, wie Silizium, oder generell bei Wachstumsbedingungen wie die des zweidimensionalen Wachstums in Schritt d) des Verfahrens, erzeugt werden. Auch ein hohes V/III-Verhältnis kann hilfreich für das Einstellen pseudomorpher Wachstumsbedingungen sein.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens sind die mehrlagigen Inseln der 3D-GaN-Schicht und die 2D-GaN-Schicht vor der Abkühlung der Schichtstruktur jeweils kompressiv

verspannt. Dies bedeutet, dass bereits nach dem Aufwachsen der GaN-Schicht, die aus der 3D-GaN-Schicht und der 2D-GaN-Schicht gebildet ist, eine kompressive Verspannung in den aufgewachsenen Schichten vorhanden ist. Die kompressive

5 Verspannung kann beispielsweise ihren Ursprung in dem Aufwachsen der GaN-Schicht auf der Aluminiumnitrid-haltigen ersten Schichtenfolge haben. Aufgrund der unterschiedlichen natürlichen Gitterkonstanten der GaN-Schicht und der ersten Schichtenfolge kommt es zu einer kompressiven Verspannung der
10 GaN-Schicht. Hierbei ergibt sich ein wesentlicher Unterschied zu einer vergleichbaren Schichtstruktur, die eine Maskenschicht umfasst. Im Fall einer Maskenschicht wird die natürliche Gitterkonstante der GaN-Schicht durch die erste Schichtenfolge kaum beeinflusst. Bei der Abwesenheit einer
15 Maskenschicht erfolgt eine stärkere Beeinflussung der natürlichen Gitterkonstante, woraus eine zusätzliche kompressive Verspannung vor der Abkühlung resultiert. Hierdurch kann eine tensile Verspannung beim Abkühlen vermieden werden.

20 Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Schichtstruktur am Ende des Verfahrens abgekühlt, wobei die Krümmung der Schichtstruktur vor dem Abkühlen konvex ist. Der absolute Betrag der Krümmung kann - bei einer Höhe des
25 Trägers in Stapelrichtung von beispielsweise 1,2 mm und einer Höhe des Schichtenstapels in Stapelrichtung von beispielsweise 5 μm - beispielsweise wenigstens 75 km^{-1} betragen. Bei der Schichtstruktur bildet sich also aufgrund der kompressiven Verspannung der vorherigen Schichten eine
30 konvexe Krümmung aus, die wenigstens 75 km^{-1} beträgt. Bei der Abkühlung wird diese konvexe Krümmung in eine konkave Krümmung und/oder in eine weniger konvexe Krümmung geändert. Dadurch wird die kompressive Verspannung der Schichtstruktur

abgebaut. Insbesondere die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Trägers und der unterschiedlichen Galliumnitrid-haltigen Schichten führt hierbei zu einem Abbau der Krümmung, das heißt der kompressiven Verspannung, der Schichtstruktur. Das Material des Trägers kann hierbei einen geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten als das Material der auf den Träger aufgewachsenen Schichten aufweisen, wodurch es zu der unerwünschten tensilen Verspannung bei der Abkühlung kommen kann.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird das Einbringen von Silizium in die Schichtstruktur mit Ausnahme der Silizium-Oberfläche des Trägers gezielt vermieden.

Insbesondere kann die Schichtstruktur frei von einer Silizium-haltigen Maskenschicht sein. Es soll mitunter vermieden werden, dass Silizium als Dotierstoff in die Galliumnitrid-Schichten eingebaut wird. Hierdurch ist es möglich, Leckströme durch die Schichtstruktur, und somit eine unerwünschte Querleitfähigkeit der Schichtstruktur, zu vermeiden.

Es wird ferner eine Schichtstruktur als Pufferschicht eines Halbleiterbauelements angegeben. Die Schichtstruktur ist vorzugsweise mittels eines der hier beschriebenen Verfahren herstellbar, das heißt sämtliche für das Verfahren offenbarten Merkmale sind auch für die Schichtstruktur offenbart und umgekehrt.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur beinhaltet diese den Träger mit der Silizium-Oberfläche und einen Schichtenstapel, der in Stapelrichtung auf der Silizium-Oberfläche des Trägers angeordnet ist. Der

Schichtenstapel weist die erste Schichtenfolge mit der Ankeimschicht, die Aluminium und Stickstoff enthält, auf. Zudem umfasst der Schichtenstapel eine GaN-Schicht, die mit Galliumnitrid gebildet ist oder aus diesem besteht. Die

5 Dichte von Versetzungen in der Kristallstruktur, insbesondere von Stufenversetzungen, Schraubenversetzungen und/oder Versetzungen, die einen Stufenversetzungs-Anteil beinhalten, in dem Schichtenstapel nimmt entlang der Stapelrichtung ab. Zudem ist es möglich, dass die Dichte von Kristalldefekten in

10 dem Schichtenstapel entlang der Stapelrichtung abnimmt. Mit andere Worten, die Kristallqualität des Schichtenstapels nimmt entlang der Stapelrichtung zu.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur ist

15 der Schichtenstapel frei von einer Maskenschicht, die Silizium umfasst. Insbesondere ist der Schichtenstapel frei von einem Silizium-Dotierstoff. Dies bedeutet, dass - mit Ausnahme des Trägers mit der Silizium-Oberfläche - lediglich ungewollte Silizium-Verunreinigungen, die durch die

20 Herstellungstoleranzen bedingt sind, in der Schichtstruktur vorhanden sind. Dementsprechend ist der Begriff „frei von Silizium“ im Rahmen der Herstellungs-Verunreinigungen, die beim Aufwachsen von Halbleiterschichten in die Halbleiterschicht eingebracht werden können, zu verstehen.

25

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur umfasst die GaN-Schicht eine 3D-GaN-Schicht und eine 2D-GaN-Schicht. Die Abnahme der Versetzungsdichte erfolgt hierbei in einem Übergangsbereich zwischen der 3D-GaN-Schicht und der

30 2D-GaN-Schicht. Die Reduktion der Versetzungsdichte erfolgt innerhalb eines kleinen Bereiches innerhalb der GaN-Schicht entlang der Stapelrichtung des Schichtenstapels. Diese rapide

Reduktion der Versetzungsdichte resultiert aus dem Übergang von der 3D-GaN-Schicht zur 2D-GaN-Schicht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur
5 verlaufen Versetzungslinien im Übergangsbereich zwischen der 3D-GaN-Schicht und der 2D-GaN-Schicht stellenweise quer zur Stapelrichtung. Beispielsweise verlaufen Versetzungslinien im Bereich der ersten Schichtenfolge im Wesentlichen entlang der Stapelrichtung. Im Bereich der 3D-GaN-Schicht knicken besagte
10 Versetzungslinien zur Seite hin ab. Mit anderen Worten, die Versetzungen verlaufen zunehmend schräg zur Stapelrichtung. Dies ermöglicht das Zusammenwachsen der Versetzungslinien und damit die Annihilation der Versetzung. Diese Annihilation kann beispielsweise mit einem Tunnelelektronenmikroskop
15 nachgewiesen werden. In dem Bereich der 3D-GaN-Schicht verlaufen also Versetzungslinien zumindest stellenweise quer zur Stapelrichtung.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur
20 nimmt die Versetzungsdichte innerhalb eines Bereiches, dessen Höhe maximal $1/5$ der gemeinsamen Höhe der ersten Schichtenfolge, der 3D-GaN-Schicht und der 2D-GaN-Schicht in Stapelrichtung entspricht, auf einen Wert von höchstens $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ ab. Die Versetzungsdichte nimmt also insbesondere in
25 einem kleinen Bereich des Schichtenstapels ab. Beispielsweise beträgt die Höhe der 3D-GaN-Schicht wenigstens 200 nm und höchstens 300 nm. Die Höhe der ersten Schichtenfolge insgesamt kann beispielsweise wenigstens 1600 nm und höchstens 1800 nm betragen.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur beinhaltet die erste Schichtenfolge die Gradientenschicht, die $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ umfasst, wobei der Aluminium-Anteil x der

Gradientenschicht entlang der Stapelrichtung abnimmt und wobei der Gallium-Anteil y der Gradientenschicht entlang der Stapelrichtung zunimmt. Der Aluminium-Anteil in der Gradientenschicht sinkt somit mit steigendem Abstand zur Silizium-Oberfläche des Trägers.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur umfasst der Schichtenstapel eine zweite Schichtenfolge, die der GaN-Schicht in Stapelrichtung nachfolgt. Hierbei beträgt die Höhe der zweiten Schichtenfolge in Stapelrichtung wenigstens die Hälfte der Höhe des Schichtenstapels in Stapelrichtung. Beispielsweise kann die Höhe des Schichtenstapels wenigstens 5 und höchstens 6 μm betragen, während die Höhe der zweiten Schichtenfolge wenigstens 4 und höchstens 5 μm beträgt. Die zweite Schichtenfolge bildet somit einen großen Teil der Schichtstruktur.

Die zweite Schichtenfolge enthält Aluminium, Gallium und Stickstoff. Die zweite Schichtenfolge kann ferner Indium enthalten. Es ist insbesondere möglich, dass die zweite Schichtenfolge eine relaxierte Schicht und eine pseudomorphe Schicht aufweist, wobei die relaxierte Schicht mehr Aluminium enthält als die pseudomorphe Schicht. Insbesondere kann die pseudomorphe Schicht im Rahmen der Herstellungstoleranzen kein Aluminium aufweisen. Bevorzugt befindet sich die relaxierte Schicht entlang der Stapelrichtung näher an der Silizium-Oberfläche als die pseudomorphe Schicht. Die relaxierte Schicht ist der pseudomorphen Schicht somit in Stapelrichtung nachgeordnet.

30

Die relaxierte Schicht weist bevorzugt Risse auf. Mit anderen Worten, die relaxierte Schicht beinhaltet Stellen, an welchen die relaxierte Schicht durchtrennt ist. Zumindest eine

Schnittebene durch die relaxierte Schicht entlang der Haupterstreckungsebene ist somit nicht einfach zusammenhängend. An diesen Stellen kann beispielsweise die pseudomorphe Schicht in die relaxierte Schicht eindringen. Es ist zudem möglich, dass die Risse der relaxierten Schicht Hohlräume in der Schichtstruktur sind. Die Hohlräume können beispielsweise mit einem Gas wie Luft gefüllt sein. Die Risse sind insbesondere durch das relaxierte Wachstum der Schicht bedingt.

10

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur weist die GaN-Schicht in den Bereichen der 3D-GaN-Schicht eine höhere Volumenkonzentration an Kohlenstoff-Fremdatomen auf als in den Bereichen der 2D-GaN-Schicht. Die höhere Volumenkonzentration an Kohlenstoff-Fremdatomen ist insbesondere durch die speziell gewählten Wachstumsbedingungen der 3D-GaN-Schicht bedingt. So wird für das Wachstum der 3D-GaN-Schicht ein sehr niedriges V/III-Verhältnis zur Verfügung gestellt. Dies hat mitunter zur Folge, dass ein hoher Kohlenstoff-Anteil in die Schicht eingebaut wird.

15

20

25

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Schichtstruktur ist die Schichtstruktur in Stapelrichtung nach einem Abkühlvorgang konvex gekrümmt. Die Krümmung kann insbesondere sehr gering sein.

30

Im Folgenden werden das hier beschriebene Verfahren sowie die hier beschriebene Schichtstruktur anhand von Ausführungsbeispielen und den dazugehörigen Figuren näher erläutert.

Die Figuren 1 und 2 zeigen Ausführungsbeispiele eines hier beschriebenen Verfahrens und einer hier beschriebenen Schichtstruktur anhand schematischer Schnittdarstellungen.

5

Die Figur 3 zeigt Krümmungsmessungen und Halbwertsbreiten von Röntgenbeugungsmessungen einer hier beschriebenen Schichtstruktur.

- 10 Gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Figuren und die Größenverhältnisse der in den Figuren dargestellten Elemente untereinander sind nicht maßstäblich zu betrachten. Vielmehr können einzelne Elemente zur besseren
- 15 Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

Anhand der schematischen Schnittdarstellung der Figur 1A ist ein erster Verfahrensschritt eines hier beschriebenen

- 20 Verfahrens zur Herstellung einer Schichtstruktur 10 näher erläutert. Bei dem Verfahren wird zunächst ein Träger 1 mit einer Silizium-Oberfläche 1a bereitgestellt. Der Träger dient als Aufwachssubstrat für die nachfolgenden Schichten.

- 25 Auf der Silizium-Oberfläche 1a des Trägers 1 wird entlang einer Stapelrichtung H eine erste Schichtenfolge 2 aufgewachsen, die eine Ankeimschicht 21, eine Pufferschicht 22 umfasst. Zusätzlich ist in der Figur 1A die optionale Gradientenschicht 23 dargestellt. Die erste Schichtenfolge 2
- 30 kann hierbei Aluminium, Sauerstoff, Stickstoff und Gallium umfassen. Beispielsweise kann der Aluminium-Anteil in der Ankeimschicht 21 höher sein als in der Gradientenschicht 23. Insbesondere kann der Aluminium-Anteil in den Bereichen der

ersten Schichtenfolge 2, welche näher an der Silizium-Oberfläche 1a liegen, höher sein als in den Bereichen, welche in Stapelrichtung H weiter entfernt von der Silizium-Oberfläche 1a liegen. Es ist ferner möglich, dass die

5 Pufferschicht 22 aus demselben Material wie die Ankeimschicht 21 gebildet ist.

Auf einer der Silizium-Oberfläche 1a abgewandten Deckfläche 2a der ersten Schichtenfolge 2 wird nun eine 3D-GaN-Schicht 3

10 dreidimensional aufgewachsen. Durch das dreidimensionale Wachstum der 3D-GaN-Schicht 3 bilden sich Inseln 31 aus, die in Stapelrichtung H eine Höhe aufweisen. Hierbei ergibt sich eine unvollständige Bedeckung der Deckfläche 2a der ersten Schichtenfolge 2 mit der Vielzahl mehrlagiger Inseln 31. Es

15 ist hierbei möglich, dass wenige Inseln 31 teilweise lateral überlappen.

Die Figur 1B zeigt einen weiteren Verfahrensschritt eines Verfahrens zur Herstellung einer Schichtstruktur 10. Auf die

20 der Silizium-Oberfläche 1a abgewandten Außenflächen 3a der 3D-GaN-Schicht 3 wird nun eine 2D-GaN-Schicht 4, die ebenfalls Galliumnitrid enthält, zweidimensional aufgewachsen. Hierbei füllt die 2D-GaN-Schicht 4 die Bereiche zwischen den Inseln 31 auf. Die 3D-GaN-Schicht 3 wird somit

25 mittels der 2D-GaN-Schicht koalesziert. Die 2D-GaN-Schicht 4 wächst also zunächst bevorzugt in den Bereichen zwischen den Inseln 31 der 3D-GaN-Schicht 3. Sobald die 2D-GaN-Schicht 4 die Höhe der Inseln 31 der 3D-GaN-Schicht 3 überragt, wächst die 2D-GaN-Schicht 4 auch zweidimensional zusammen. Hierdurch

30 bildet sich eine zusammenhängende GaN-Schicht 3, 4.

Auf die Deckfläche 4a der 2D-GaN-Schicht 4 wird eine zweite Schichtenfolge 5 aufgewachsen. Die zweite Schichtenfolge 5

beinhaltet eine relaxierte Schicht 51 und eine pseudomorphe Schicht 52. Die relaxierte Schicht 51 kann hierbei einen höheren Aluminium-Anteil als die pseudomorphe Schicht 52 aufweisen. Es ist jedoch auch möglich - anders als in den
5 Figuren gezeigt - dass keine zweite Schichtenfolge 5 aufgewachsen wird.

Nach dem Aufwachsen der zweiten Schichtenfolge 5 ist somit der Schichtenstapel 11 der Schichtstruktur 10 erzeugt. Der
10 Schichtenstapel 11 beinhaltet die erste Schichtenfolge 2, die 3D-GaN-Schicht 3, die 2D-GaN-Schicht 4 und die zweite Schichtenfolge 5. Die 3D-GaN-Schicht 3 und die 2D-GaN-Schicht 4 können insbesondere aus demselben Material bestehen. Nach dem Aufwachsen bilden die 3D-GaN-Schicht 3 und die 2D-GaN-
15 Schicht 4 somit gemeinsam die GaN-Schicht 3, 4. Im Bereich der 3D-GaN-Schicht 3 kann der Schichtenstapel 11 eine höhere Versetzungsdichte und/oder einen höheren Anteil an Kohlenstoff-Fremdatomen aufweisen. Dies ermöglicht eine Unterscheidung der 3D-GaN-Schicht 3 und der 2D-GaN-Schicht 4
20 auch am fertigen Gegenstand.

Gemäß der Figuren 2A und 2B ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer hier beschriebenen Schichtstruktur näher erläutert. Die Figuren 2A und 2B zeigen jeweils eine
25 vergrößerte Ansicht zweier Inseln 31 der 3D-GaN-Schicht 3 einer Schichtstruktur 10. In der Figur 2A wird mit dem Aufwachsen der 2D-GaN-Schicht 4' begonnen, wobei die Koaleszenz der Inseln 31 noch nicht vollständig beendet ist. Die 2D-GaN-Schicht 4' bedeckt zunächst bevorzugt die
30 Seitenflächen 31b der mehrlagigen Inseln 31. Dementsprechend ist die Deckfläche 2a der ersten Schichtenfolge 2 noch nicht vollständig bedeckt. Die Deckflächen 31a der mehrlagigen Inseln 31 können in dem in der Figur 2A gezeigten

Verfahrensstadium zumindest teilweise von der 2D-GaN-Schicht 4' bedeckt sein.

Aus der ersten Schichtenfolge 2 erstreckt sich eine
5 Versetzung 6 im Wesentlichen entlang der Stapelrichtung H in Richtung der Deckfläche 2a der ersten Schichtenfolge 2. Im Bereich der Inseln der 3D-GaN-Schicht 3 erfolgt das Wachstum der Versetzung schräg zur Deckfläche 2a der ersten
10 Schichtenfolge 2. Der schräge Verlauf der Versetzungen 6 kann seinen Ursprung beispielsweise in einer Änderung der Orientierung der Kristallebenen innerhalb der 3D-GaN-Schicht haben. Das Abknicken der Versetzungen 6 kann also zum einen mit der Änderung der bevorzugten Wachstumsrichtung im Kristall zusammenhängen. Zum anderen ist es möglich, dass die
15 Versetzung 6 in Richtung der freiliegenden Seitenfläche 31b der jeweiligen Insel 31 strebt, falls die Versetzung 6 keinen allzu großen Abstand zu der Seitenfläche 31b aufweist.

Bei der Koaleszenz treffen zwei zuvor abgelenkte bzw. schräg
20 verlaufende Versetzungen 6 zusammen. Dies ermöglicht, dass sich zwei Versetzungen 6 in dem Zwischenbereich zwischen den Inseln 31 der 3D-GaN-Schicht 3 gegenseitig annihilieren. Eine solche Annihilation der Versetzungen 6 kann an der fertigen Schichtstruktur 10 nachgewiesen werden.

25

Gemäß der schematischen Schnittdarstellung der Figur 2C ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer hier beschriebenen Schichtstruktur 10 näher erläutert. Figur 2C zeigt hierbei eine Schichtstruktur 10 vor dem Auskühlen der Schichtstruktur
30 10. Die Schichtstruktur 10 ist vor dem Auskühlen konvex gekrümmt. Die Figur 2D zeigt eine Schichtstruktur 10 nach dem Auskühlen. Hierbei ist die Schichtstruktur 10 nicht mehr konvex gekrümmt und verläuft im Wesentlichen planar

beziehungsweise weist nur eine leicht konvexe oder konkave Krümmung auf. Der Rückgang der konvexen Krümmung durch das Auskühlen der Schichtstruktur 10 ist auf die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Schichten der Schichtstruktur 10 zurückzuführen. Insbesondere ist der thermische Ausdehnungskoeffizient des Materials des Trägers 1 geringer als der thermische Ausdehnungskoeffizient des Materials des Schichtenstapels 11.

10 Gemäß der beispielhaften Krümmungsmessung der Figur 3A ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines hier beschriebenen Verfahrens zur Herstellung einer Schichtstruktur 10 näher erläutert. Die Figur 3A zeigt eine erste Messkurve K1, eine zweite Messkurve K2 und eine dritte Messkurve K3, welche
15 jeweils die Krümmung K einer Schichtstruktur als Funktion der Prozessdauer t zeigen. Die Prozessdauer ist hierbei in willkürlichen Einheiten (a.u.) angegeben. Zunächst wird der Träger 1 für etwa 2000 s aufgeheizt. Anschließend beginnt der Prozess bei einer Zeit von etwa 2000 s. Die Messkurven K1, K2, K3 sind nur bis zu einer Prozessdauer von 10000 s
20 aufgetragen. Zu diesem Zeitpunkt ist die Schichtstruktur 10 bereits fertig gestellt. Anschließend, ab einem Zeitpunkt > 10000 s, wird die Schichtstruktur 10 abgekühlt.

25 Die erste Messkurve K1 zeigt die Krümmung einer Schichtstruktur 10, die mit einem hier beschriebenen Verfahren hergestellt wurde, wobei die Ankeimschicht 21 mittels PVD aufgebracht wird. Die zweite Messkurve K2 zeigt die Krümmung einer Schichtstruktur 10, die ebenfalls mit
30 einem hier beschriebenen Verfahren hergestellt wurde, wobei die Ankeimschicht 21 mittels MOCVD aufgebracht wird. Die dritte Messkurve K3 zeigt die Krümmung einer ansonsten baugleichen Schichtstruktur, welche eine Siliziumnitrid-

Maskenschicht anstelle einer 3D-GaN-Schicht 3 umfasst, wobei die Ankeimschicht 21 der Schichtstruktur mit MOVPE aufgebracht wird. Dementsprechend können die Messkurven K2 und K3 direkt miteinander verglichen werden.

5

Der hohe Peak der dritten Messkurve K3 bei einer Zeit von etwa 2200 s ist ein Messartefakt. Der erste, zweite und dritte Startpunkt K11, K21, K31 markieren jeweils den Zeitpunkt, zu dem mit dem Aufbringen der 3D-GaN-Schicht 3, beziehungsweise im Fall der Messkurve K3 der Siliziumnitrid-Maskenschicht, begonnen wird. Der erste, zweite und dritte Zwischenpunkt K12, K22, K32 markieren jeweils den Zeitpunkt, zu dem mit dem Aufbringen der pseudomorphen Schicht 52 begonnen wird.

15

Die erste und die zweite Messkurve K1, K2 weisen eine ähnliche Steigung beim Aufwachsen der zweiten Schichtenfolge 5 auf. Die erste und zweite Messkurve K1, K2 weisen zudem eine höhere Steigung als die dritte Messkurve K3 auf. Mit anderen Worten, die Krümmung der ersten und der zweiten Messkurve K1, K2 nimmt schneller zu als die Krümmung der dritten Messkurve K3. Die Steigung der Krümmung entspricht im Wesentlichen der Verspannung der Schichtstruktur 10. Eine positive Steigung ist hierbei mit einer Änderung der Krümmung in eine konvexe Krümmung kompressiver Verspannung gleichzusetzen. Je größer die Steigung einer Krümmungskurve ist, desto größer kann das Maß für die Annahme der natürlichen Gitterkonstante der darunterliegenden Schicht im Fall der zweiten Schichtenfolge sein. Mit anderen Worten, bei einer höheren Steigung in der Krümmungsmessung kann der Anteil der natürlichen Gitterkonstanten der unter der jeweiligen Schicht mit entsprechend hoher Steigung liegenden Schicht ebenfalls höher sein.

Die Schichtstrukturen 10, die mit einem hier beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden, weisen somit vor dem Abkühlen eine höhere kompressive Verspannung auf.

5 Insbesondere eine Schichtstruktur 10, welche eine Ankeimschicht 21, die mit einem PVD-Verfahren aufgebracht wird, umfasst, zeigt hierbei eine hohe kompressive Verspannung. Dadurch kann einer tensilen Verspannung nach dem Abkühlen entgegengewirkt werden.

10

Gemäß der Halbwertsbreiten (FWHM) der Figur 3B ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer hier beschriebenen Schichtstruktur 10 näher erläutert. Die Halbwertsbreiten gehen aus Röntgenbeugungsmessungen hervor. Die Figur 3B zeigt

15

eine erste Halbwertsbreite K2A und eine zweite Halbwertsbreite K3A der mittels Röntgenbeugung gemessenen Winkelverteilungen. Eine höhere Kristallqualität führt hierbei zu einer schmaleren Winkelverteilung und damit zu einer geringeren Halbwertsbreite. Insbesondere eine

20

reduzierte Anzahl an Defekten und Versetzungen in dem Kristallgitter der Schichtstruktur würde zu einer Reduktion der Streuung einer Röntgenstrahlung und damit zu einer Reduktion der Halbwertsbreite der Röntgenbeugungsmessung führen. Die Halbwertsbreiten K2A, K3A sind jeweils in

25

Bogensekunden angegeben.

Die erste Halbwertsbreite K2A wurde mit einer Schichtstruktur 10, die mittels eines hier beschriebenen Verfahrens hergestellt wurde, gemessen. Die zweite Halbwertsbreite K3A wurde mit einer ansonsten baugleichen Schichtstruktur, die eine Maskenschicht mit Siliziumnitrid umfasst, gemessen. Die

30 erste Halbwertsbreite K2A ist geringer als die zweite Halbwertsbreite K3A. Eine hier beschriebene Schichtstruktur

10 weist dementsprechend weniger Defekte als eine ansonsten baugleiche Schichtstruktur, die eine Maskenschicht mit Siliziumnitrid beinhaltet, auf.

5 Das hier beschriebene Verfahren zur Herstellung einer Schichtstruktur 10 beziehungsweise die hier beschriebene Schichtstruktur 10 weist einige Vorteile auf. So ist die Schichtstruktur 10 frei von einer Maskenschicht mit Silizium. Insbesondere für den Bau von Elektronik-Bauelementen könnte
10 eine solche Silizium-Schicht in dem Schichtenstapel 11, insbesondere in der GaN-Schicht 3, 4, zu einer unerwünschten Querleitfähigkeit auf der n-Seite des auf die Schichtstruktur des Halbleiterbauelements führen. Weiterhin erfolgt die kompressive Verspannung der Schichten bereits zu einem sehr
15 frühen Verfahrensschritt. Dies führt insbesondere zu besseren Verspannungswerten, wodurch Risse in der Schichtstruktur, die die elektrischen und optoelektrischen Schichten nicht durchdringen, jedoch die oberflächlichen Schichten zerstören, vermieden werden können.

20 Insbesondere die kristalline Qualität der hier beschriebenen Schichtstruktur ist mindestens genauso gut wie die kristalline Qualität einer ansonsten baugleichen Schichtstruktur, welche eine Maskenschicht mit Silizium
25 umfasst.

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Anmeldung DE 10 2014 105 303.6, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

30 Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von

Merkmale, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Schichtstruktur (10) als
Pufferschicht eines Halbleiterbauelements mit den
5 folgenden Schritten:

a) Bereitstellen eines Trägers (1), der eine Silizium-
Oberfläche (1a) aufweist,

b) Abscheiden einer ersten Schichtenfolge (2), die eine
Ankeimschicht (21), die Aluminium, Sauerstoff und
10 Stickstoff enthält, umfasst, auf der Silizium-Oberfläche
(1a) des Trägers (1) entlang einer Stapelrichtung (H),
die senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene des
Trägers (1) verläuft,

c) dreidimensionales Wachstum einer 3D-GaN-Schicht (3),
15 die mit Galliumnitrid gebildet ist, auf eine der
Silizium-Oberfläche (1a) abgewandte Deckfläche (2a) der
ersten Schichtenfolge (2),

d) zweidimensionales Wachstum einer 2D-GaN-Schicht (4),
die mit Galliumnitrid gebildet ist, auf den der
20 Silizium-Oberfläche (1a) abgewandten Außenflächen (3a)
der 3D-GaN-Schicht (3).

2. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch,
wobei

25 - in Schritt c) die 3D-GaN-Schicht (3) eine Vielzahl
mehrlagiger Inseln aufweist, die sich entlang der
Stapelrichtung (H) erstrecken, und sich eine
unvollständige Bedeckung der Deckfläche (2a) der ersten
Schichtenfolge (2) mit der Vielzahl mehrlagiger Inseln
30 ergibt, und

- in Schritt d) die Vielzahl mehrlagiger Inseln mittels
der 2D-GaN-Schicht (4) koalesziert, wobei die 2D-GaN-
Schicht (4) stellenweise an Seitenflächen (31b) der

mehrlagigen Inseln grenzt, die schräg zur Deckfläche (2a) der ersten Schichtenfolge (2) verlaufen, wodurch sich eine vollständige Bedeckung der Deckfläche (2a) der ersten Schichtenfolge (2) ergibt.

5

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei bei dem dreidimensionalen Wachstum in Schritt c) im Vergleich zu dem zweidimensionalen Wachstum in Schritt d) mindestens eine der Wachstumsbedingungen wie folgt geändert wird:

10

- Reduktion der Reaktortemperatur,
- Erhöhung des Reaktordruckes, und/oder
- Reduktion des V/III-Verhältnisses.

15

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Abscheiden der ersten Schichtenfolge (2) in Schritt b) die folgenden Schritte beinhaltet:

20

- Aufwachsen der Ankeimschicht (21) auf die Silizium-Oberfläche (1a) des Trägers (1),
- Aufwachsen einer Pufferschicht (22), die Aluminium und Stickstoff umfasst, an einer der Silizium-Oberfläche (1a) abgewandte Seite der Ankeimschicht (21).

25

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Abscheiden der ersten Schichtenfolge (2) in Schritt b) zusätzlich den folgenden Schritt beinhaltet:

30

- Aufwachsen einer Gradientenschicht (23), die mit $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ gebildet ist, an einer der Silizium-Oberfläche (1a) abgewandte Seite der Pufferschicht (22), wobei der Konzentrationsanteil der Aluminium-Atome x entlang der Stapelrichtung (H) abnimmt und wobei der Konzentrationsanteil der Gallium-Atome y entlang der Stapelrichtung (H) zunimmt.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei dem Aufwachsen der 2D-GaN-Schicht (4) in Schritt
d) nachfolgend eine zweite Schichtenfolge (5) an einer
5 der Silizium-Oberfläche (1a) abgewandte Seite der 2D-
GaN-Schicht (4) aufgewachsen wird, wobei die zweite
Schichtenfolge (5)
- Aluminium, Gallium und Stickstoff enthält,
- eine relaxierte Schicht (51) und eine pseudomorphe
10 Schicht (52) umfasst, wobei
- die relaxierte Schicht (51) einen höheren Aluminium-
Anteil aufweist als die pseudomorphe Schicht (52),
- das Aufwachsen der relaxierten Schicht (51) vor dem
Aufwachsen der pseudomorphen Schicht (52) durchgeführt
15 wird, und
- die pseudomorphe Schicht (52) kompressiv verspannt
ist.
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
20 wobei die Schichtstruktur (10) am Ende des Verfahrens
abgekühlt wird, wobei die Krümmung der Schichtstruktur
(10) in Stapelrichtung (H) vor dem Abkühlen (10) konvex
ist.
- 25 8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die 3D-GaN-Schicht (3) und die 2D-GaN-Schicht (2)
vor dem Abkühlen jeweils kompressiv verspannt sind.
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
30 wobei das Einbringen von Silizium in die Schichtstruktur
(10), mit Ausnahme der Silizium-Oberfläche (1a) des
Trägers (1), gezielt vermieden wird.

10. Schichtstruktur (10) als Pufferschicht eines Halbleiterbauelements, aufweisend
- einen Träger (1) mit einer Silizium-Oberfläche (1a),
 - einen Schichtenstapel (11), der in Stapelrichtung (H) auf der Silizium-Oberfläche (1a) des Trägers (1) angeordnet ist, aufweisend
 - eine erste Schichtenfolge (2) mit einer Ankeimschicht (21), die Aluminium und Stickstoff enthält,
 - eine GaN-Schicht (3, 4), wobei
 - die Dichte der Versetzungen (6) in dem Schichtenstapel (11) entlang der Stapelrichtung (H) abnimmt.
11. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,
- bei der der Schichtenstapel (11) frei von einer Maskenschicht ist, die Silizium umfasst.
12. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,
- bei der die erste Schichtenfolge (2) und die GaN-Schicht (3, 4) frei von einem Silizium-Dotierstoff ist.
13. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,
- bei der die GaN-Schicht (3, 4) eine 3D-GaN-Schicht (3) und eine 2D-GaN-Schicht (4) umfasst, wobei die Abnahme der Versetzungsdichte in einem Übergangsbereich zwischen der 3D-GaN-Schicht (3) und der 2D-GaN-Schicht (4) erfolgt.
14. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,

bei der im Übergangsbereich zwischen der 3D-GaN-Schicht (3) und der 2D-GaN-Schicht (4) Versetzungslinien (6) stellenweise quer zur Stapelrichtung (H) verlaufen.

- 5 15. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,
bei der die Versetzungsdichte innerhalb eines Bereiches, dessen Höhe maximal $1/5$ der gemeinsamen Höhe der ersten Schichtenfolge (2) und der GaN-Schicht (3, 4) in
10 Stapelrichtung (H) entspricht, auf einen Wert von höchstens $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ abnimmt.
16. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,
15 bei der die erste Schichtenfolge eine Gradientenschicht (23) beinhaltet, die mit $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ gebildet ist, wobei $0 \leq x \leq 1$ und $0 \leq y \leq 1$ der Konzentrationsanteil der Aluminium-Atome x in der Gradientenschicht (23) entlang der Stapelrichtung (H) abnimmt und wobei der
20 Konzentrationsanteil der Gallium-Atome y in der Gradientenschicht (23) entlang der Stapelrichtung (H) zunimmt.
17. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen
25 Ansprüche,
bei der der Schichtenstapel (11) eine zweite Schichtenfolge (5) umfasst, die der GaN-Schicht in Stapelrichtung (H) nachfolgt, wobei
- die Höhe der zweiten Schichtenfolge (5) in
30 Stapelrichtung (H) wenigstens die Hälfte der Höhe des Schichtenstapels (11) in Stapelrichtung (H) beträgt
- die zweite Schichtenfolge (5) Aluminium, Gallium und Stickstoff enthält, und

- die zweite Schichtenfolge (5) eine relaxierte Schicht (51) und eine pseudomorphe Schicht (52) umfasst, wobei
 - die relaxierte Schicht (51) einen höheren Aluminium-Anteil aufweist als die pseudomorphe Schicht (52),
 - die relaxierte Schicht (51) in Stapelrichtung (H) vor der pseudomorphen Schicht (52) angeordnet ist und
 - die relaxierte Schicht (51) Risse aufweist.

18. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,

bei der die GaN-Schicht (3, 4) in den Bereichen der 3D-GaN-Schicht (3) eine höhere Volumen-Konzentration an Kohlenstoff-Fremdatomen aufweist als in den Bereichen der 2D-GaN-Schicht (4).

19. Schichtstruktur (10) nach einem der vorherigen Ansprüche,

bei der die Schichtstruktur (10) vor dem Abkühlen in Stapelrichtung (H) konvex gekrümmt ist.

FIG 1A

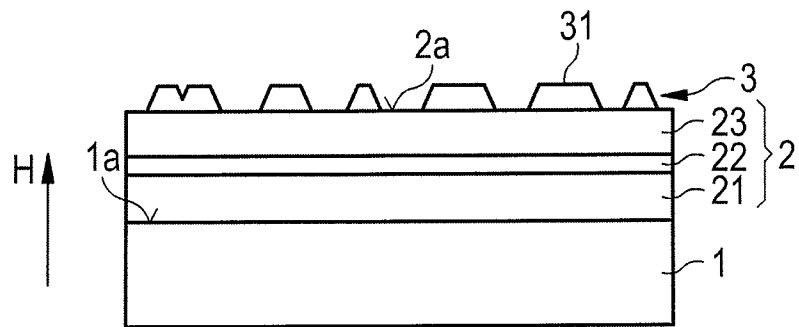


FIG 1B

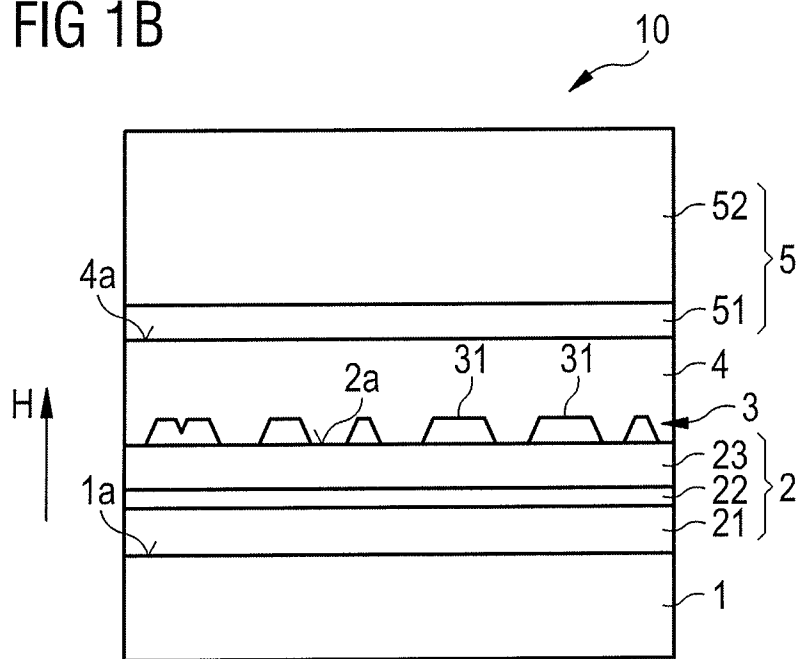


FIG 2A

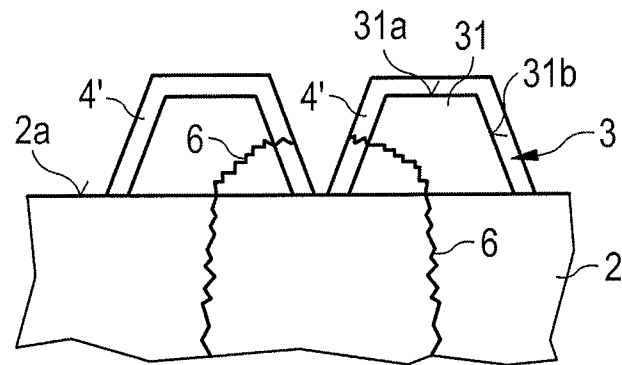


FIG 2B

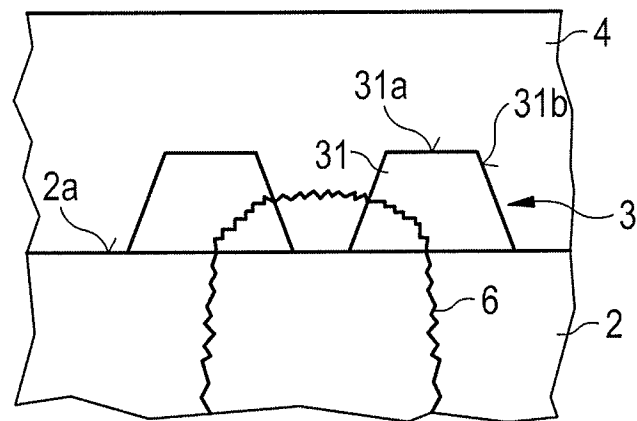


FIG 2C

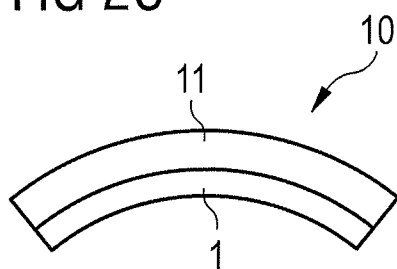
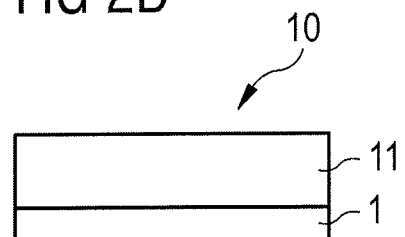


FIG 2D



3/3

FIG 3A

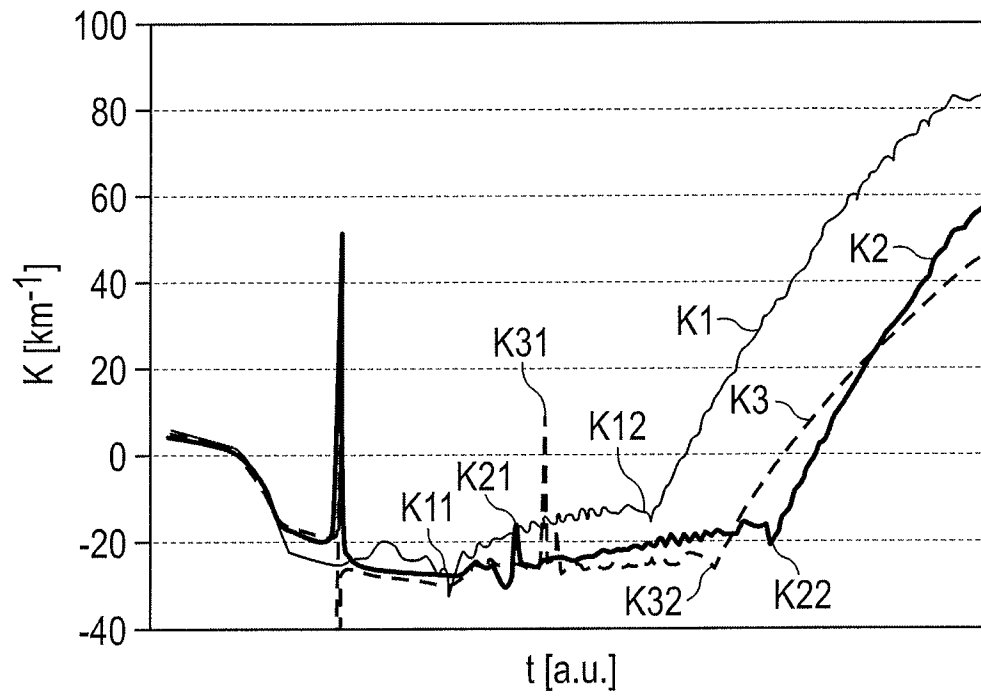
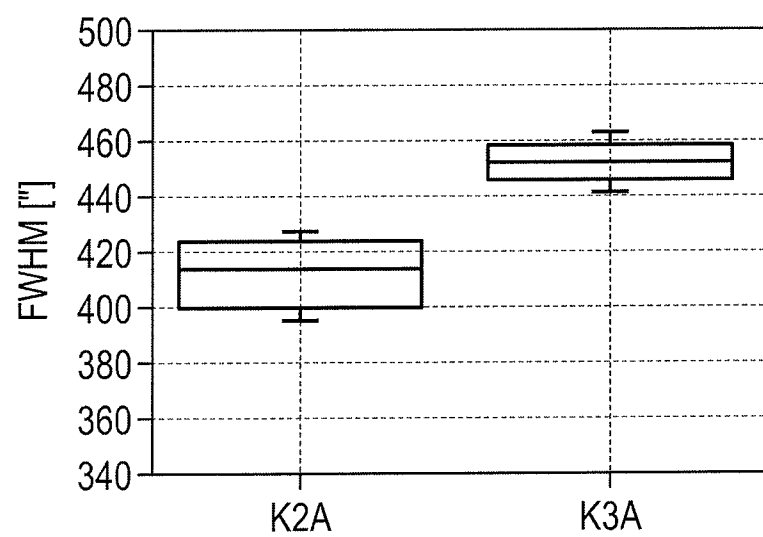


FIG 3B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/057972

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. 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 H01K

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	WO 2014/053831 A1 (CAMBRIDGE ENTPR LTD [GB]) 10 April 2014 (2014-04-10)	10-16, 18,19
Y	page 3, line 13 - page 9, line 21 page 12, line 16 - page 16, line 5 figures 1, 2, 4, 5, 6	1-5,7-9
X	US 2013/270575 A1 (HUMPHREYS COLIN [GB] ET AL) 17 October 2013 (2013-10-17)	10, 12-16, 18,19
Y	paragraph [0022] paragraph [0033] - paragraph [0038] paragraph [0055] - paragraph [0058] paragraph [0066] - paragraph [0068] paragraph [0077] paragraph [0081] paragraph [0085] figures 1-3	1-5,7-9
	----- -/-	



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

24 June 2015

Date of mailing of the international search report

07/07/2015

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/EP2015/057972

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2013/045355 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]; STAUSS PETER [DE]; DRECHSEL PHILI) 4 April 2013 (2013-04-04) page 3, line 4 - page 5, line 33 page 8, line 8 - page 10, line 3 page 11, line 19 - page 16, line 32 figures 1-8 -----	1,4-10, 12-17,19
Y	DE 100 34 263 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 31 January 2002 (2002-01-31) the whole document -----	1-5,7-9
A	Pierre Gibart, Bernard Beaumont, Philippe Vennéguès: "Epitaxial Lateral Overgrowth of GaN" In: Ruterana, Albrecht, Neugebauer: "Nitride Semiconductors: Handbook on Materials and Devices", 2006, Wiley, XP009184891, ISBN: 3-527-40387-6 pages 45-106, the whole document -----	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/057972

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014053831	A1	10-04-2014	NONE
US 2013270575	A1	17-10-2013	CN 103348447 A 09-10-2013
		EP 2641267 A1 25-09-2013	
		GB 2485418 A 16-05-2012	
		US 2013270575 A1 17-10-2013	
		WO 2012066269 A1 24-05-2012	
WO 2013045355	A1	04-04-2013	DE 102011114665 A1 04-04-2013
		KR 20140080525 A 30-06-2014	
		TW 201320399 A 16-05-2013	
		US 2014302665 A1 09-10-2014	
		WO 2013045355 A1 04-04-2013	
DE 10034263	A1	31-01-2002	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L21/02
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L H01K

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, 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	WO 2014/053831 A1 (CAMBRIDGE ENTPR LTD [GB]) 10. April 2014 (2014-04-10)	10-16, 18,19
Y	Seite 3, Zeile 13 - Seite 9, Zeile 21 Seite 12, Zeile 16 - Seite 16, Zeile 5 Abbildungen 1, 2, 4, 5, 6	1-5,7-9

X	US 2013/270575 A1 (HUMPHREYS COLIN [GB] ET AL) 17. Oktober 2013 (2013-10-17)	10, 12-16, 18,19
Y	Absatz [0022] Absatz [0033] - Absatz [0038] Absatz [0055] - Absatz [0058] Absatz [0066] - Absatz [0068] Absatz [0077] Absatz [0081] Absatz [0085] Abbildungen 1-3	1-5,7-9
	----- -/-	

☒ 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

24. Juni 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/07/2015

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

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2013/045355 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]; STAUSS PETER [DE]; DRECHSEL PHILI) 4. April 2013 (2013-04-04) Seite 3, Zeile 4 - Seite 5, Zeile 33 Seite 8, Zeile 8 - Seite 10, Zeile 3 Seite 11, Zeile 19 - Seite 16, Zeile 32 Abbildungen 1-8 -----	1,4-10, 12-17,19
Y	DE 100 34 263 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 31. Januar 2002 (2002-01-31) das ganze Dokument -----	1-5,7-9
A	Pierre Gibart, Bernard Beaumont, Philippe Vennéguès: "Epitaxial Lateral Overgrowth of GaN" In: Ruterana, Albrecht, Neugebauer: "Nitride Semiconductors: Handbook on Materials and Devices", 2006, Wiley, XP009184891, ISBN: 3-527-40387-6 Seiten 45-106, das ganze Dokument -----	1-19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/057972

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2014053831 A1	10-04-2014	KEINE	
US 2013270575 A1	17-10-2013	CN 103348447 A	09-10-2013
		EP 2641267 A1	25-09-2013
		GB 2485418 A	16-05-2012
		US 2013270575 A1	17-10-2013
		WO 2012066269 A1	24-05-2012
WO 2013045355 A1	04-04-2013	DE 102011114665 A1	04-04-2013
		KR 20140080525 A	30-06-2014
		TW 201320399 A	16-05-2013
		US 2014302665 A1	09-10-2014
		WO 2013045355 A1	04-04-2013
DE 10034263 A1	31-01-2002	KEINE	