

(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
18. Juni 2020 (18.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/120735 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C30B 25/18 (2006.01) C30B 29/40 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/085073

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Dezember 2019 (13.12.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 132 263.1

14. Dezember 2018 (14.12.2018) DE

(71) Anmelder: AIXTRON SE [DE/DE]; Dornkaulstr. 2,
52134 Herzogenrath (DE).

(72) Erfinder: FAHLE, Dirk; Keplerstr. 112, 41236 Mönchen-
gladbach (DE). MARX, Matthias; Pfalzgrafenstr. 4, 52072
Aachen (DE).

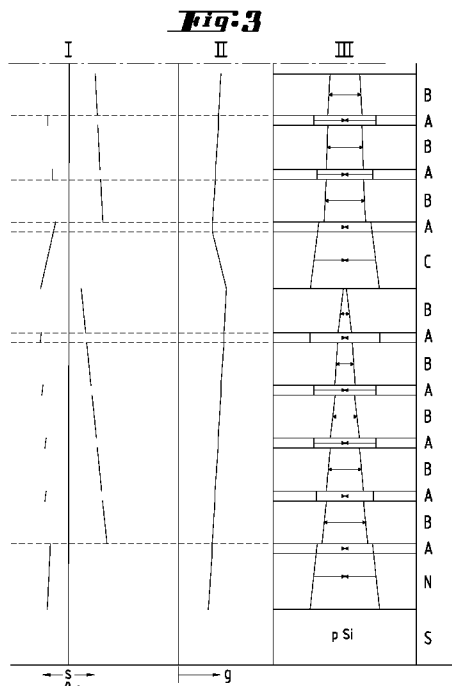
(74) Anwalt: GRUNDMANN, Dirk et al.; Rieder & Partner
mbB, Corneliusstraße 45, 42329 Wuppertal (DE).

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

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

(54) Title: METHOD FOR DEPOSITING A HETEROSTRUCTURE, AND HETEROSTRUCTURE DEPOSITED ACCORDING
TO THE METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ABSCHIEDEN EINER HETEROSTRUKTUR UND NACH DEM VERFAHREN
ABGESCHIEDENE HETEROSTRUKTUR



(57) Abstract: The invention relates to a method for depositing a heterostructure made of monocrystalline layers in particular. A plurality of layer pairs, which consist of a first layer (A) and an in particular thicker second layer (B) and which are strained laterally under tension or compression on the basis of different lattice constants of the first and second layer (A, B), are deposited onto a nucleation layer (N), in the form of a buffer layer, which is applied onto a substrate (S), such that the strain on the second layer (B) decreases as the number of layer pairs increases as a result of a relaxation. In order to counteract the relaxation of the second layer (B), an intermediate layer (C) which counter strains the second layer (B) is deposited after at least five layer pairs, wherein the intermediate layer is at least five times as thick as the first layer (A), and the strain on the intermediate layer decreases as the layer thickness increases as a result of a relaxation.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abscheiden einer Heterostruktur aus insbesondere einkristallinen Schichten, wobei auf eine auf einem Substrat (S) aufgebrachte Nukleationsschicht (N) als Bufferschicht eine Vielzahl von aus einer ersten Schicht (A) und einer insbesondere dickeren zweiten Schicht (B) bestehende, aufgrund unterschiedlicher Gitterkonstanten der ersten und zweiten Schichten (A, B) lateral zug- und druckverspannte Schichtenpaare derart abgeschieden werden, dass die Verspannung der zweiten Schicht (B) mit zunehmender Anzahl der Schichtenpaare als Folge einer Relaxation abnimmt. Um den Folgen der Relaxation der zweiten Schicht (B) entgegenzuwirken wird vorgeschlagen, dass nach zumindest fünf Schichtenpaaren eine der zweiten Schicht (B) entgegenverspannte Zwischenschicht (C) abgeschieden wird, die mindestens fünfmal so dick wie die erste Schicht (A) ist und deren Verspannung mit zunehmender Schichtdicke als Folge einer Relaxation abnimmt.

Veröffentlicht:

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

Beschreibung

Verfahren zum Abscheiden einer Heterostruktur und nach dem Verfahren abgeschiedene Heterostruktur

Gebiet der Technik

- [0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abscheiden einer Heterostruktur aus einkristallinen Schichten mit voneinander verschiedenen Gitterkonstanten, wobei auf einem Substrat eine Nukleationsschicht, auf die Nukleationsschicht eine aus einer Schichtenfolge bestehende Bufferschicht und auf die Bufferschicht mindestens eine aktive Schicht abgeschieden werden. Die Schichtenfolge weist hierbei eine Vielzahl von untereinander verspannten Schichtenpaare auf, bestehend aus einer ersten Schicht, die in einem unverspannten Kristall eine erste Gitterkonstante aufweist und als Schicht der Schichtenfolge eine laterale Zugspannung auf das Substrat ausübt, und eine zweite Schicht, die in einem unverspannten Kristall eine zweite Gitterkonstante aufweist, die größer ist als die erste Gitterkonstante, und als Schicht der Schichtenfolge eine laterale Druckspannung auf das Substrat ausübt.
- [0002] Die Erfindung betrifft darüber hinaus eine Heterostruktur aus einkristallinen Schichten mit voneinander verschiedenen Gitterkonstanten, wobei auf einem Substrat eine Nukleationsschicht, auf der Nukleationsschicht eine aus einer kohärenten Schichtenfolge bestehende Bufferschicht und auf der Bufferschicht mindestens eine aktive Schicht abgeschieden sind. Die Schichtenfolge ergibt sich aus einer Vielzahl von untereinander verspannten Schichtenpaare insbesondere bestehend aus einer ersten Schicht, die in einem unverspannten Kristall eine erste Gitterkonstante aufweist, und eine zweite Schicht, die in einem unverspannten Kristall eine zweite Gitterkonstante aufweist, die größer ist als die erste Gitterkonstante, wobei eine lokale Gitterkonstante der zweiten

Schicht unter Ausbildung von Gitterdefekten mit zunehmendem Abstand von der darunterliegenden ersten Schicht zunimmt.

[0003] Die Erfindung betrifft darüber hinaus ein elektronisches Bauelement, insbesondere HEMT mit einer Heterostruktur.

Stand der Technik

5 [0004] Heterostrukturen der vorbezeichneten Art und Verfahren zu deren Fertigung werden unter anderem in den US 2016/0190387 A1 und US 9,090,993 B2 beschrieben.

[0005] Die erste der zuvor beschriebenen Druckschriften beschreibt ein Schichtensystem, welches auf einem Siliziumsubstrat oder Silizium-Karbidsubstrat
10 abgeschieden wird. Dabei wird auf das Siliziumsubstrat zunächst eine Nukleationsschicht abgeschieden. Die Nukleationsschicht ist insbesondere deshalb von Bedeutung, weil die Gitterkonstante der auf die Nukleationsschicht abgeschiedenen Bufferschicht von der Gitterkonstante des Substrates abweicht. Ziel des Abscheidens einer Nukleationsschicht ist das Erreichen einer im Wesentlichen
15 einkristallinen Oberfläche, so dass auf dieser Oberfläche ein kohärentes/epitaktisches Schichtensystem (super lattice) abgeschieden werden kann. Das super lattice enthält im Wesentlichen Schichten aus AlN oder AlGa_{0.5}N. Wesentlich ist dabei, dass der Aluminiumgehalt möglichst hoch ist, da auf die Bufferschicht ein aktives Schichtensystem für einen high electron mobility transistor (HEMT) abgeschieden werden soll und eine hohe Aluminiumkonzentration
20 Voraussetzung für eine hohe elektrische Durchbruchspannung ist. Die aus mehreren übereinander angeordneten Schichtenpaaren aufgebaute Bufferschicht hat darüber hinaus die Aufgabe, die durch die Abscheidung der übrigen Schichten sowie aus der Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten der verwendeten Materialien resultierenden Verspannungszustände zu
25

kompensieren, so dass sich das Substrat nach dem Beschichten in einer Ebene erstreckt.

[0006] Wie in der US 9,090,993 B2 und der US 2016/0190387 A1 ausgeführt wird, haben die beiden Schichten des Schichtenpaares, aus welchem das super
5 lattice der Bufferschicht aufgebaut ist, unterschiedliche Gitterkonstanten. Soweit es sich um dünne Schichten handelt, scheiden sich die Schichten in zusammenhängender Kristallstruktur ab, wie es in den Figuren 2A bis 2C der US 9,090,993 B2 anschaulich dargestellt ist. Da die erste Schicht, die AlN-Schicht, in einem unverspannten Zustand eine kleinere Gitterkonstante aufweist, als die
10 zweite Schicht, die AlGaIn-Schicht, entstehen diesseits und jenseits der Grenzschicht zwischen den beiden Schichten Spannungen in unterschiedlichen Richtungen. Im Bereich der ersten Schicht baut sich eine Zugspannung und im Bereich der zweiten Schicht eine dieser entgegengesetzte Druckspannung auf. Dies hat zur Folge, dass die Schichtenfolge zum Durchbiegen tendiert. Darüber
15 hinaus übt die unmittelbar auf das Substrat, beispielsweise auf ein Siliziumsubstrat, abgeschiedene Nukleationsschicht (AlN-Schicht) eine Zugspannung auf das Substrat aus. Diese Spannungen müssen so ausbalanciert werden, dass sie sich bei Raumtemperatur derart ausmitteln, dass das Substrat ungewölbt, also in einer Ebene, verläuft.

20 [0007] Beim oben genannten Stand der Technik werden auf die Nukleationsschicht eine Vielzahl von abwechselnd eine Zugspannung und eine Druckspannung auf das Substrat ausübende Schichten abgeschieden, wobei die Schichtdicke und die Schichtzusammensetzung nach Möglichkeit derart zu designen ist, dass sich die Spannungen in der gesamten Struktur ausgleichen, insbesondere auch die sich aus der Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten ergebenden.
25

[0008] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die eine laterale Druckspannung auf das Substrat ausübende zweite Schicht (AlGa_N-Schicht) mit zunehmendem Abstand von der darunterliegenden Schicht relaxiert. Die zweite Schicht besitzt eine Gitterkonstante, die größer ist, als die Gitterkonstante der darunterliegenden Schicht, so dass die unmittelbar auf die erste Schicht abgeschiedenen Monolagen der zweiten Schicht unter Druckspannung stehen. Diese Druckspannung führt dazu, dass sich mit zunehmendem Abstand zur Grenzschicht zur ersten Schicht Gitterfehlstellen ausbilden, die eine lokale Vergrößerung der Gitterkonstante zur Folge haben. Mit zunehmendem Abstand der Lagen der Schicht vergrößert sich somit die lokale Gitterkonstante, was zur Folge hat, dass sich die laterale Spannung innerhalb des Kristalls vermindert. Als Folge dessen sinkt die Druckspannung, die ansonsten die Zugspannung der darunterliegenden Schicht kompensiert. Die beobachtete rissfreie Relaxation der zweiten Schicht bewirkt in der auf die zweite Schicht abgeschiedenen ersten Schicht eines weiteren Schichtenpaares eine vergrößerte Zugspannung, da die Gitterkonstante der zweiten Schicht viel kleiner ist als die Gitterkonstante der relaxierten ersten Schicht. Da die erste Schicht erheblich dünner ist als die zweite Schicht, weist sie trotz einer inneren Verspannung nur eine geringe Relaxation und somit eine geringere Anzahl von Gitterdefekten auf. Insgesamt wurde beobachtet, dass sich die lokale Gitterkonstante beginnend mit der Nukleationsschicht durch die Vielzahl der Schichten der Schichtenfolge hindurch zunehmend vergrößert, was zur Folge hat, dass die von den zweiten Schichten aufgebauten Druckspannungen mit zunehmendem Abstand von der Nukleationsschicht kleiner und die von den ersten Schichten ausgeübten Zugspannungen mit zunehmendem Abstand von der Nukleationsschicht größer werden. Dies hat zur Folge, dass die gewünschte Kompensation von Wölbungskräften nur unzureichend oder sogar überhaupt nicht stattfindet.

Ein Verfahren der gattungsgemäßen Art wird in der DE 11 2014 003 533 T5 beschrieben. Auf ein Siliziumsubstrat wird zunächst eine Pufferschicht aus AlN mit einer Dicke von 150 nm abgeschieden. Auf diese AlN-Schicht werden dann

Schichtenpaare jeweils aus AlN und AlGa_N abgeschieden. Die AlN-Schicht soll 5 nm und die AlGa_N-Schicht 16 nm dick sein. 75 derartige Paare werden übereinander abgeschieden. Danach wird eine 70 nm dicke Zwischenschicht aus AlN abgeschieden. Die AlGa_N-Schicht ist hier nur etwa dreimal so dick wie die AlN-Schicht.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Maßnahmen anzugeben, mit denen sich eine aus einer großen Zahl von Schichten, insbesondere Schichtenpaaren bestehende Bufferschicht spannungsfrei aufbauen lässt und insbesondere es ermöglicht, dass der Aluminiumanteil der Bufferschicht möglichst hoch ist.

[0010] Gelöst wird die Aufgabe durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung, wobei die Unteransprüche nicht nur vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens beziehungsweise der Heterostruktur sind, sondern auch eigenständige Lösungen der Aufgabe darstellen.

[0011] Zunächst und im Wesentlichen wird vorgeschlagen, dass die zweite Schicht, die eine AlGa_N-Schicht sein kann, mindestens sechsmal so dick ist wie die erste Schicht, die eine AlN-Schicht sein kann. Als Folge dieser Bemessungsregel bildet sich eine stärker verspannte erste Schicht, insbesondere AlN-Schicht, aus, da die zweite Schicht aufgrund ihrer größeren Schichtdicke stärker relaxiert. Der Abstand zwischen zwei Zwischenschichten, also die Summe der Schichtdicken der zwischen zwei Zwischenschichten bzw. der Nukleations-schicht und einer ersten Zwischenschicht angeordneten Schichtenpaare, jeweils bestehend aus einer ersten und einer zweiten Schicht, liegt bevorzugt in einem Bereich zwischen 150 nm und 1 µm. Das bevorzugte Verfahren zum Abscheiden der erfindungsgemäßen Heterostruktur ist ein MOCVD-Verfahren, bei dem

gasförmige Ausgangsstoffe, die Aluminium, Gallium und Stickstoff enthalten, in eine Prozesskammer eines CVD-Reaktors eingespeist werden. Das Abscheiden der auf der ersten Schicht und der zweiten Schicht bestehenden Schichtenfolge erfolgt bevorzugt mit einem konstanten Fluss eines Aluminium enthal-

5 tenden Prozessgases und eines Stickstoff enthaltenden Prozessgases. Beim Abscheiden dieser Schichtenfolge wird lediglich der Zufluss des Gallium enthaltenden Gases periodisch zu- bzw. abgeschaltet. Erfindungsgemäß wird insbesondere vorgeschlagen,, dass zwischen einer ersten Anzahl von Schichtenpaaren eine Zwischenschicht abgeschieden wird. Jedes Schichtenpaar besteht aus

10 einer Schicht, die in einem unverspannten Kristall eine kleine, erste Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist und einer zweiten Schicht, die in einem unverspannten Kristall eine zweite, größere Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist. Aufgrund der epitaktischen Korrelation zur Nukleationsschicht beziehungsweise den zuvor abgeschiedenen Schichten ist die erste Schicht zugverspannt

15 und die zweite druckverspannt. Die gegenseitige Verspannung hat zur Folge, dass der tatsächliche Gitterabstand in den beiden Schichten von den jeweiligen Gleichgewichtsgitterkonstanten abweicht. Sie wird nachfolgend als lokale Gitterkonstante bezeichnet. Die Vielzahl der sandwichartig übereinander aufgebauten Schichtenpaare haben somit abwechselnd eine Druckspannung und eine

20 Zugspannung aufweisende Schichten, wobei – wie oben ausgeführt – die Zugspannungen mit zunehmendem Abstand von der Nukleationsschicht ansteigen und die Druckspannungen als Folge einer Relaxation der zweiten Schicht abnehmen. Erfindungsgemäß wird spätestens dann, wenn die zweite Schicht nahezu vollständig relaxiert ist, also insbesondere bevorzugt nach dem Abscheiden von mindestens fünf gleichen Schichtenpaaren, bevorzugt nach mindestens

25 acht gleichen Schichtenpaaren, eine Zwischenschicht abgeschieden. Die Zwischenschicht besteht aus einem Kristall, der im unverspannten Zustand eine kleine Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist und insbesondere die der ersten Schicht. Die Zwischenschicht kann mit der ersten Schicht materialidentisch

30 sein. Die Zwischenschicht wird auf das Schichtenpaar-System mit einer derarti-

gen Schichtdicke abgeschieden, dass die im Interface eine starke Zugspannung ausübende Zwischenschicht mit zunehmendem Abstand von der darunterliegenden Schicht relaxiert. Die Relaxation erfolgt auch hier unter Ausbildung von Fehlstellen, aber rissfrei, wobei – anders als bei der Relaxation der zweiten

5 Schicht – sich die lokale Gitterkonstante aber nicht vergrößert, sondern abnimmt. Dies hat zur Folge, dass die von der Zwischenschicht aufgebaute Zugspannung innerhalb der Zwischenschicht mit zunehmendem Abstand von der darunterliegenden Schicht abnimmt. Nach dem Abscheiden der Zwischenschicht liegt bevorzugt eine Kristallschicht vor, die bevorzugt dieselbe lokale

10 Gitterkonstante aufweist, wie die Oberfläche der Nukleationsschicht vor dem Abscheiden der ersten Schicht. Auf die Zwischenschicht wird sodann zumindest eine weitere Schichtenfolge abgeschieden, die im Wesentlichen dieselben Eigenschaften aufweist, wie die zuvor beschriebene, unmittelbar auf die Nukleationsschicht abgeschiedene Schichtenfolge. Es können auch hier mindestens

15 fünf, bevorzugt mindestens acht gleich gestaltete Schichtenpaare abgeschieden werden. Auf diese weitere Schichtenfolge können dann die aktiven Schichten abgeschieden werden. Die mindestens eine aktive Schicht kann eine dotierte oder undotierte GaN-Schicht aufweisen. Alternativ können vor der Abscheidung der aktiven Schichten eine Vielzahl von jeweils von einer Zwischenschicht

20 getrennten Schichtenfolgen übereinander abgeschieden werden, wobei die Schichtenfolgen aus identischen, unmittelbar aufeinander abgeschiedenen Schichtenpaaren bestehen, die aus genau zwei Schichten bestehen. Die erste Schicht besteht bevorzugt aus AlN, die zweite Schicht bevorzugt aus AlGaN, wobei der Aluminiumnitridbestandteil mindestens 25, bevorzugt mindestens

25 27 Prozent beträgt. In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung liegt die Schichtdicke der ersten Schicht im Bereich zwischen 2 und 10 nm und bevorzugt im Bereich zwischen 3 und 5 nm. Die Schichtdicke der zweiten Schicht ist um mindestens einen Faktor 5 größer als die Schichtdicke der ersten Schicht. Ihre Schichtdicke kann im Bereich zwischen 20 und 40 nm liegen. Die Schicht-

30 dicke der Zwischenschicht ist um einen Faktor 5, bevorzugt einen Faktor 8 und

- besonders bevorzugt einen Faktor 10 größer als die Schichtdicke der ersten Schicht. Sie ist bevorzugt auch größer als die Schichtdicke der zweiten Schicht. Sie kann im Bereich zwischen 30 und 50 nm liegen und liegt bevorzugt bei etwa 40 nm. Die Zwischenschicht besteht bevorzugt aus AlN. Die gesamte aus gleichen Paaren bestehende Schichtenfolge kann eine Schichtdicke im Bereich zwischen 150 nm und 1 μ m aufweisen. Sie kann aber auch eine Schichtdicke von 2 bis 3 μ m aufweisen. Auf bevorzugt acht Schichtenfolgen, die jeweils von einer Zwischenschicht voneinander getrennt sind und die jeweils bevorzugt acht Schichtenpaare aufweisen, kann eine HEMT-Struktur abgeschieden werden, die aus einer undotierten GaN-, einer AlN- sowie einer AlGaN-Schicht besteht. Ein mit einer erfindungsgemäßen Heterostruktur hergestelltes Bauelement weist zusätzlich elektrische Kontakte auf. In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Anzahl der zwischen zwei Zwischenschichten angeordneten Schichtenpaare nicht jeweils gleich ist, sondern mit zunehmendem Abstand vom Substrat ansteigt. Der Anstieg der Anzahl der Zwischenschichten kann linear sein. Der Anstieg der Zwischenschichten kann aber auch sublinear oder superlinear und insbesondere exponentiell erfolgen. Ein diesbezüglicher Faktor kann zwischen 1,1 und 2 und bevorzugt bei 1,5 liegen, so dass beispielsweise zwischen Nukleationsschicht und erster Zwischenschicht acht Schichtenpaare, zwischen erster Zwischenschicht und zweiter Zwischenschicht zwölf Schichtenpaare und zwischen zweiter Zwischenschicht und dritter Zwischenschicht achtzehn Schichtenpaare angeordnet sind. Eine derartige sukzessive Erhöhung der Anzahl der Schichtenpaare verbessert die Qualität der Oberfläche der obersten Schicht.
- [0012] Epitaktische Verfahren zum Herstellen der zuvor genannten Schichten werden beschrieben in den DE 102 06 750 A1, DE 10 2014 109 335 A1, der US 9,090,993 B2 und der US 2016/0190387 A1. Das Abscheiden erfolgt in einem MOCVD-Reaktor, wobei als Ausgangsstoffe TMAI, TMGa und NH_3 verwendet werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0013] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand von beigefügten Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Schichtenfolge, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren abgeschieden ist,

5 Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel der Schichtenfolge

Fig. 3 eine Erläuterung der technischen Wirkung des erfindungsgemäßen Schichtaufbaus und

Fig. 4 schematisch ein elektronisches Bauelement.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0014] Die Figur 1 zeigt eine in einem MOCVD-Reaktor abgeschiedene Schichtenfolge auf einem p-Si (1 1 1)-Substrat mit einer Substratstärke von 725 μm . Auf das Substrat ist zunächst eine 150 nm dicke AlN-Nukleationsschicht N abgeschieden worden. Auf diese Nukleationsschicht N ist eine Schichtenfolge in Form von acht Schichtenpaaren abgeschieden worden, die aus einer ersten Schicht A und einer zweiten Schicht B bestehen, wobei die erste Schicht A eine 4 nm dicke AlN und die zweite Schicht B eine 30 nm dicke AlGa_{0,27}N Schicht ist. Auf diese erste Schichtenfolge wurde sodann eine Zwischenschicht C aus 40 nm AlN abgeschieden. Dieses Schichtensystem aus acht gleich gestalteten Schichtenpaaren und einer darauf abgeschiedenen Zwischenschicht C wurde achtmal übereinander abgeschieden. Komplementiert wird diese Bufferschicht durch eine weitere Schichtenfolge AB, einer 300 nm GaN-Schicht D und einer 700 nm GaN:C-Schicht E. Zur Herstellung einer HEMT-Struktur werden im Anschluss eine 300 nm dicke GaN-Schicht F, eine AlN-Zwischenschicht sowie

eine 25nm AlGaN-Barriere abgeschieden. Die Schichten A, B, C sind hinsichtlich ihrer Schichtdicken derart gewählt, dass sie bei Raumtemperatur in der Summe keine laterale Spannung auf das Substrat ausüben, so dass sich das Substrat in einer Ebene erstreckt.

- 5 [0015] Die Figur 2 zeigt etwas allgemeiner den erfindungsgemäßen Schichtaufbau, bei dem zunächst eine Nukleationsschicht N auf ein Substrat abgeschieden wird. Auf die Nukleationsschicht N werden dann in n-facher Folge jeweils ein Schichtenpaar abgeschieden, wobei das Schichtenpaar aus einer ersten Schicht A mit einer ersten Gleichgewichtsgitterkonstanten und einer zweiten Schicht B mit einer zweiten, anderen Gitterkonstanten besteht. Auf diese n-fache Schichtenfolge wird eine Zwischenschicht C abgeschieden, die eine andere Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist als die zweite Schicht B. Dieses, aus der Zwischenschicht C und den n-Schichtenpaaren bestehende Schichtensystem wird mehrfach übereinander abgeschieden. In der Figur 2 sind zwei Folgeschichtensysteme abgeschieden, auf welche dann wiederum ein System aus aktiven Schichten D, E, F abgeschieden worden ist. Die Gleichgewichtsgitterkonstante der Zwischenschicht C kann der ersten Gleichgewichtsgitterkonstante entsprechen. Da die zweite Schicht B dicker ist als die erste Schicht A, nähert sich ihre lokale Gitterkonstante mit zunehmendem Abstand von der darunter liegenden Schicht der Gleichgewichtsgitterkonstante an. Die lokale Gitterkonstante der ersten Schicht A ändert sich nur geringfügig. Die Zwischenschicht C, die mit einer lokalen Gitterkonstanten der darunter liegenden zweiten Schicht B auf die zweite Schicht B abgeschieden ist, ändert ihre lokale Gitterkonstante mit zunehmendem Abstand von der darunterliegenden Schicht in Richtung auf die Gleichgewichtsgitterkonstante der Zwischenschicht C.

[0016] Die Figur 3 verdeutlicht unter III den in den Figuren 1 und 2 dargestellten Schichtaufbau. Zur Vereinfachung sind hier nur fünf Schichtenpaare jeweils

aus einer ersten Schicht A und einer zweiten Schicht B auf einer Nukleations-
schicht N abgeschieden. Auf eine Zwischenschicht C sind wiederum mehrere
erste und zweite Schichten A, B jeweils in Form von Schichtenpaaren abge-
schieden. Die schräg nach oben weisenden Linien verdeutlichen die Abnahme
5 von Zugspannungen beziehungsweise Druckspannungen in den Schichten. Die
Zugspannungen sind durch zwei aufeinander zu weisende Pfeile und die
Druckspannungen durch zwei voneinander weg weisende Pfeile verdeutlicht.

[0017] II verdeutlicht den Verlauf der lokalen Gitterkonstante g .

[0018] I verdeutlicht die Größe der Zugspannung S (links -) beziehungsweise
10 die Druckspannungen (rechts +) ähnlich wie in III die nach oben weisenden
Linien.

[0019] Die auf das Substrat abgeschiedene Nukleationsschicht N besitzt in ei-
nem entspannten Kristall eine erste Gleichgewichtsgitterkonstante, die derjeni-
gen von AlN entspricht. Diese ist verschieden zu der Gleichgewichtsgitterkon-
stanten des Substrates S, so dass die Nukleationsschicht N eine Zugspannung
15 auf das Substrat ausübt, die als Folge der Relaxation der Nukleationsschicht N
mit zunehmendem Abstand vom Substrat abnimmt.

[0020] Auf die Nukleationsschicht N ist eine erste Schicht A abgeschieden, die
beim Ausführungsbeispiel ebenfalls aus AlN besteht und die eine Zugspan-
20 nung ausübt.

[0021] Die zweite Schicht B ist eine AlGaIn-Schicht, die eine zweite Gleichge-
wichtsgitterkonstante aufweist, die größer ist als die erste Gleichgewichtsgitter-
konstante. Als Folge dessen übt die zweite Schicht B eine Druckspannung auf
das Substrat S aus.

[0022] II ist zu entnehmen, dass sich die lokale Gitterkonstante in der zweiten Schicht B mit zunehmendem Abstand vom Substrat vergrößert. Diese Relaxation hat zur Folge, dass die in I gezeigte Zugspannung mit zunehmendem Abstand von der ersten Schicht A abnimmt.

5 [0023] III und II zeigen, dass sich die lokale Gitterkonstante durch die mehreren übereinander abgeschiedenen Schichtenpaare zunehmend vergrößert, was zur Folge hat, dass die von den Schichten A aufgebrachten Zugspannungen mit zunehmendem Abstand vom Substrat größer werden, die von den Schichten B ausgeübten Druckkräfte aber mit zunehmendem Abstand geringer werden. Um
10 die Verspannungen der übrigen Schichten insbesondere aber auch die Zugverspannungen aufgrund verschiedener thermischer Ausdehnungskoeffizienten von Substrat und abgeschiedener Schichten ausgleichen zu können, werden die druckverspannten Schichten B erheblich dicker ausgelegt als die zugverspannten Schichten A und so kompensierende Druckverspannungen eingebracht.

15 [0024] Bevor der Kristall der zweiten Schicht B vollständig relaxiert ist, also an der oberen Grenzfläche eine lokale Gitterkonstante aufweist, die der Gleichgewichtsgitterkonstante entspricht, wird auf die Schichtenfolge eine Zwischenschicht C aus AlN oder AlGa_N abgeschieden. Das Material der Zwischenschicht C hat eine Gleichgewichtsgitterkonstante, die erheblich kleiner ist, als
20 die lokale Gitterkonstante der obersten zweiten Schicht B an der Grenzfläche zur Zwischenschicht C. Als Folge dessen baut sich im Bereich der Grenzfläche eine Zugspannung auf, die aufgrund einer Relaxation mit zunehmendem Abstand vom Substrat S abnimmt. Die damit einhergehende Verminderung der lokalen Gitterkonstante zeigt II.

25 [0025] Die Figur 3 zeigt, dass unmittelbar auf die Nukleationsschicht N eine erste Schicht A folgt. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass auf die Nukleati-

onsschicht N unmittelbar die zweite Schicht B folgt, wenn die erste Schicht A materialidentisch mit der Nukleationsschicht N ist.

[0026] In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass die Anzahl der Schichtenpaare, die sich zwischen Nukleationsschicht und erster
5 Zwischenschicht C oder zwischen den darauf folgenden Zwischenschichten C befinden, sukzessive ansteigt, beispielsweise mit einem Faktor 1,2 oder 1,5.

[0027] Im Idealfall besitzt die Grenzfläche der Zwischenschicht C zur nächsten, darauf abgeschiedenen ersten Schicht A einer weiteren Schichtenfolge etwa den Wert, den die lokale Gitterkonstante der Nukleationsschicht N an der
10 Grenzschicht zur ersten Schicht A besitzt. Es können somit quasi beliebig viele Schichtenfolgen, jeweils bestehend aus mehreren Schichtenpaaren und einer Zwischenschicht C abgeschieden werden, um eine möglichst Aluminium-reiche Bufferschicht für eine HEMT-Struktur auszubilden.

[0028] Die Erfindung hat darüber hinaus folgende Vorteile: Durch die Möglichkeit, dass strain engineering auch bei hohen Temperaturen eingesetzt werden kann, ist es möglich, den intrinsischen Kohlenstoff-Level im super lattice zu reduzieren und den Kohlenstoffeinbau durch einen Dotierstoff, beispielsweise Ethen, Propan gezielt einzustellen, wodurch sowohl die Durchbruchspannung, als auch das dynamische Verhalten des Buffers verbessert werden kann. In dem
20 Schichtensystem baut sich eine relativ große Druckverspannung auf. Durch die Dicke und die Lage der insbesondere aus AlN bestehenden Zwischenschicht C in der Bufferschicht lässt sich die Verspannung sehr gezielt einstellen und damit auch die Verbiegung des Substrates während und nach einem Abscheidprozess der Schichten. Dieser „interlayer-Ansatz“ ermöglicht es, einen super
25 lattice-Buffer bei Temperaturen unter 1.000°C, beispielsweise 940°C, aber auch über 1.000°C, zum Beispiel bei 1.050°C abzuschneiden. Die Wachstumstempera-

tur der Zwischenschicht C entspricht dabei der Wachstumstemperatur des super lattice-Buffers. Bei den angegebenen Prozessparametern lässt sich eine crack-freie relaxierte Zwischenschicht C abscheiden.

[0029] Die Figur 4 zeigt schematisch ein HEMT mit zwei elektrischen Kontak-
5 ten K auf der aktiven Schichtenfolge D, E, F.

[0030] Die vorstehenden Ausführungen dienen der Erläuterung der von der Anmeldung insgesamt erfassten Erfindungen, die den Stand der Technik zu-
mindest durch die folgenden Merkmalskombinationen jeweils auch eigenstän-
dig weiterbilden, wobei zwei, mehrere oder alle dieser Merkmalskombinationen
10 auch kombiniert sein können, nämlich:

[0031] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass nach zumindest fünf Schichtenpaaren eine der zweiten Schicht B entgegenverspannte Zwischenschicht C abgeschieden wird, die mindestens fünfmal so dick wie die erste Schicht A ist und deren Verspannung mit zunehmender Schichtdicke als Folge
15 einer Relaxation abnimmt.

[0032] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die kristalline Verbindung der ersten Schicht A in einem unverspannten Kristall eine erste Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist, die kleiner ist, als eine zweite Gleichgewichtsgitterkonstante, die die die kristalline Verbindung der zweiten Schicht
20 B in einem unverspannten Kristall aufweist, so dass die erste Schicht A eine laterale Zugspannung ausübt und die zweite Schicht eine laterale Druckspannung ausübt.

[0033] Eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet ist, dass ein oder mehrfach auf jeweils mindestens fünf gleichartige, insbesondere gleiche Schich-

tenpaare eine Zwischenschicht C folgt, die in einem unverspannten Kristall eine andere, insbesondere kleinere Gleichgewichtsgitterkonstante als die zweite Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist und deren Schichtdicke mindestens dem Fünffachen der ersten Schichtdicke beträgt.

- 5 [0034] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sich eine lokale Gitterkonstante der zweiten Schicht B unter Ausbildung von Gitterdefekten mit zunehmendem Abstand von der darunterliegenden ersten Schicht A hin zur zweiten Gleichgewichtsgitterkonstante ändert und die Schichtdicke der Zwischenschicht C derart groß ist, dass sich eine lokale
- 10 Gitterkonstante der Zwischenschicht C unter Ausbildung von Gitterdefekten mit zunehmendem Abstand von der darunter liegenden Schicht hin zur ersten Gleichgewichtsgitterkonstante ändert.

- [0035] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass das Substrat S aus Silizium, die Nukleationsschicht aus AlN, die erste
- 15 Schicht A aus AlN, die zweite Schicht B aus AlGaN und die Zwischenschicht C aus AlN besteht.

- [0036] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass auf der Bufferschicht mindestens eine aktive Schicht oder Schichtenfolge D, E, F abgeschieden wird/ist, die insbesondere eine dotierte oder undotierte GaN-Schicht, AlGaN-Schicht und/oder AlN-Schicht umfasst.
- 20

- [0037] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass der Abstand zweier Zwischenschichten C 250nm bis 1µm beträgt.

[0038] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Zwischenschicht C mindestens achtmal so dick ist wie die erste Schicht A.

[0039] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die zweite Schicht B mindestens sechsmal so dick ist wie die erste Schicht A.

[0040] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Heterostruktur die Basisstruktur für einen HEMT-Transistor ist.

[0041] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass der Aluminiumnitridanteil der AlGa_N-Schicht mindestens 25 Prozent, bevorzugt mindestens 27 Prozent beträgt.

[0042] Ein Verfahren oder eine Heterostruktur, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Anzahl der insbesondere gleichen Schichtenpaare A, B zwischen Nukleationsschicht N und erster Zwischenschicht C und zwischen weiteren Zwischenschichten mit zunehmendem Abstand vom Substrat S zunimmt, wobei die Zunahme bevorzugt gemäß einem festen Faktor erfolgt.

[0043] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die erste Schicht A unter Verwendung von TMAI, NH₃ bei einem Totaldruck in einem Bereich von 25 bis 100 mbar, insbesondere bei 50 mbar und/oder bei einer Temperatur in einem Bereich von 900 bis 1.000 C, insbesondere bei 1.050 C und/oder mit einer Wachstumsrate in einem Bereich von 2 bis 12 nm/min, insbesondere mit 8 nm/min abgeschieden wird; und/oder, dass die zweite Schicht B unter Verwendung von TMAI, TMGa, NH₃ bei einem Totaldruck in einem Bereich von 25 bis 100 mbar, insbesondere bei 50 mbar und/oder bei einer Temperatur in ei-

5 nem Bereich von 900 bis 1.100 C, insbesondere bei 1.050 C und/oder mit einer Wachstumsrate in einem Bereich von 10 bis 40 nm/min, insbesondere mit 28 nm/min abgeschieden wird; und/oder, dass die Zwischenschicht C unter Verwendung von TMAI, TMGa, NH₃ bei einem Totaldruck in einem Bereich von 25 bis 100 mbar, insbesondere bei 500 mbar und/oder bei einer Temperatur in einem Bereich von 900 bis 1.100 C, insbesondere bei 1.050 C und/oder mit einer Wachstumsrate in einem Bereich von 2 bis 12 nm/min, insbesondere mit 8 nm/min abgeschieden wird.

10 [0044] Ein Bauelement, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Heterostruktur gemäß einem der Ansprüche 3 bis 10 ausgebildet ist.

[0045] Alle offenbarten Merkmale sind (für sich, aber auch in Kombination untereinander) erfindungswesentlich. In die Offenbarung der Anmeldung wird hiermit auch der Offenbarungsinhalt der zugehörigen/beigefügten Prioritätsunterlagen (Abschrift der Voranmeldung) vollinhaltlich mit einbezogen, auch
15 zu dem Zweck, Merkmale dieser Unterlagen in Ansprüche vorliegender Anmeldung mit aufzunehmen. Die Unteransprüche charakterisieren, auch ohne die Merkmale eines in Bezug genommenen Anspruchs, mit ihren Merkmalen eigenständige erfinderische Weiterbildungen des Standes der Technik, insbesondere um auf Basis dieser Ansprüche Teilanmeldungen vorzunehmen. Die in
20 jedem Anspruch angegebene Erfindung kann zusätzlich ein oder mehrere der in der vorstehenden Beschreibung, insbesondere mit Bezugsziffern versehene und/oder in der Bezugsziffernliste angegebene Merkmale aufweisen. Die Erfindung betrifft auch Gestaltungsformen, bei denen einzelne der in der vorstehenden Beschreibung genannten Merkmale nicht verwirklicht sind, insbesondere soweit sie erkennbar für den jeweiligen Verwendungszweck entbehrlich
25 sind oder durch andere technisch gleichwirkende Mittel ersetzt werden können.

Liste der Bezugszeichen

- A erste Schicht
- B zweite Schicht
- C Zwischenschicht
- D aktive Schicht
- E aktive Schicht
- F aktive Schicht
- H aktive Schicht
- K Kontakt
- N Nukleationsschicht
- S Substrat

- g lokale Gitterkonstante

Ansprüche

1. Verfahren zum Abscheiden einer Heterostruktur aus insbesondere einkristallinen Schichten, wobei auf eine auf einem Substrat (S) aufgebrachte Nukleationsschicht (N) als Bufferschicht eine Vielzahl von aus einer ersten Schicht (A) und einer dickeren zweiten Schicht (B) bestehende, aufgrund unterschiedlicher Gitterkonstanten der ersten und zweiten Schichten (A, B) lateral zug- und druckverspannte Schichtenpaare derart abgeschieden werden, dass die Verspannung der zweiten Schicht (B) mit zunehmender Anzahl der Schichtenpaare als Folge einer Relaxation abnimmt, wobei nach zumindest fünf Schichtenpaaren eine der zweiten Schicht (B) entgegenverspannte Zwischenschicht (C) abgeschieden wird, die mindestens fünfmal so dick wie die erste Schicht (A) ist, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (B) mindestens sechsmal so dick ist wie die erste Schicht (A).

5

10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die kristalline Verbindung der ersten Schicht (A) in einem unverspannten Kristall eine erste Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist, die kleiner ist, als eine zweite Gleichgewichtsgitterkonstante, die die kristalline Verbindung der zweiten Schicht (B) in einem unverspannten Kristall aufweist, so dass die erste Schicht (A) eine laterale Zugspannung ausübt und die zweite Schicht eine laterale Druckspannung ausübt.

15

20
3. Heterostruktur aus einkristallinen Schichten mit voneinander verschiedenen Gitterkonstanten, wobei auf einem Substrat (S) eine Nukleationsschicht (N), und auf der Nukleationsschicht (N) eine aus einer kohärenten Schichtenfolge bestehende Bufferschicht abgeschieden sind, wobei die Schichtenfolge eine Vielzahl von Schichtenpaare jeweils bestehend aus einer ersten Schicht (A), mit einer kristallinen Verbindung, die in einem un-

25

- verspannten Kristall eine erste Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist, und einer zweiten Schicht (B), die insbesondere dicker ist als die erste Schicht (A) und deren kristalline Verbindung in einem unverspannten Kristall eine zweite Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist, die verschieden, insbesondere größer ist als die erste Gleichgewichtsgitterkonstante, wobei ein oder mehrfach auf jeweils mindestens fünf gleichartige, insbesondere gleiche Schichtenpaare eine Zwischen-schicht (C) folgt, die in einem unverspannten Kristall eine andere, insbesondere kleinere Gleichgewichtsgitterkonstante als die zweite Gleichgewichtsgitterkonstante aufweist und deren Schichtdicke mindestens dem Fünffachen der ersten Schichtdicke beträgt, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (B) mindestens sechsmal so dick ist wie die erste Schicht (A).
- 5
- 10
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 oder Heterostruktur nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Schichtenpaare (A, B) zwischen Nukleationsschicht (N) und zweiter Zwischenschicht (C) und zwischen weiteren Zwischenschichten mit zunehmendem Abstand vom Substrat zunimmt.
- 15
5. Verfahren nach Anspruch 4 oder Heterostruktur nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zunahme mit einem festen oder variablen Faktor erfolgt und/oder dass die Zunahme mit einem schrittweise sich erhöhenden Faktor erfolgt.
- 20
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 4 oder 5 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidung derart durchgeführt wird, dass die Verspannung der ersten Schicht (A) mit zunehmender Schichtdicke als Folge einer Relaxation abnimmt.
- 25

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidung der ersten und zweiten Schichten (A, B) mit einem kontinuierlichen Zufluss eines gasförmigen, Aluminium enthaltenden Ausgangsstoff und einem periodischen Zu- und Abschalten eines Gallium enthaltenden gasförmigen Ausgangsstoffs in eine Prozesskammer eines CVD-Reaktors erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 4 bis 7 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass sich eine lokale Gitterkonstante der zweiten Schicht (B) unter Ausbildung von Gitterdefekten mit zunehmendem Abstand von der darunterliegenden ersten Schicht (A) hin zur zweiten Gleichgewichtsgitterkonstante ändert und die Schichtdicke der Zwischenschicht (C) derart groß ist, dass sich eine lokale Gitterkonstante der Zwischenschicht (C) unter Ausbildung von Gitterdefekten mit zunehmendem Abstand von der darunter liegenden Schicht hin zur ersten Gleichgewichtsgitterkonstante ändert.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 4 bis 8 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 6 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (S) aus Silizium, die Nukleationsschicht aus AlN, die erste Schicht (A) aus AlN, die zweite Schicht (B) aus AlGaN und die Zwischenschicht (C) aus AlN besteht.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1, 2 oder 4 bis 9 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 6 oder 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Bufferschicht mindestens eine aktive Schicht oder Schichtenfolge (D, E, F) abgeschieden wird/ist, die insbesondere eine dotierte oder undotierte GaN-Schicht, AlGaN-Schicht und/oder AlN-Schicht umfasst.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1, 2 oder 4 bis 10 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 6 oder 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zweiter Zwischenschichten (C) 150 nm bis 1 μm oder 2 μm bis 3 μm beträgt.
- 5 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3 bis 11 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 6 oder 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenschicht (C) mindestens achtmal so dick ist wie erste Schicht (A).
- 10 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3 bis 13 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 6 oder 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminiumnitridanteil der AlGa_N-Schicht mindestens 25 Prozent, bevorzugt mindestens 27 Prozent beträgt.
- 15 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3 bis 14 oder Heterostruktur nach einem der Ansprüche 3 bis 6 oder 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht (A), die zweite Schicht (B) und/oder die Zwischenschicht (C) eine ternäre oder quaternäre Schicht ist.
- 20 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 6 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht (A) unter Verwendung von TMAI, NH₃ bei einem Totaldruck in einem Bereich von 25 bis 100 mbar, insbesondere bei 50 mbar und/oder bei einer Temperatur in einem Bereich von 900 bis 1.100 C, insbesondere bei 1.050 C und/oder mit einer Wachstumsrate in einem Bereich von 2 bis 12 nm/min, insbesondere mit 8 nm/min abgeschieden wird;
- 25 und/oder,

- dass die zweite Schicht (B) unter Verwendung von TMAI, TMGa, NH_3 bei einem Totaldruck in einem Bereich von 25 bis 100 mbar, insbesondere bei 50 mbar und/oder bei einer Temperatur in einem Bereich von 900 bis 1.100 C, insbesondere bei 1.050 C und/oder mit einer Wachstumsrate in einem Bereich von 10 bis 40 nm/min, insbesondere mit 28 nm/min abgeschieden wird;
und/oder,
dass die Zwischenschicht (C) unter Verwendung von TMAI, TMGa, NH_3 bei einem Totaldruck in einem Bereich von 25 bis 100 mbar, insbesondere bei 50 mbar und/oder bei einer Temperatur in einem Bereich von 900 bis 1.100 C, insbesondere bei 1.050 C und/oder mit einer Wachstumsrate in einem Bereich von 2 bis 12 nm/min, insbesondere mit 8 nm/min abgeschieden wird.
- 5
- 10
16. Elektronisches Bauelement, insbesondere HEMT, bei dem ein Substrat eine Nukleationsschicht (N), eine aus einer Schichtenfolge bestehende Bufferschicht und eine auf der Bufferschicht abgeschiedene aktive Schichtstruktur mit zumindest einer aktiven Schicht (D, E, F) aufweist, wobei die zumindest eine aktive Schicht oder Schichtenfolge (D, E, F) elektrische Kontakte aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Heterostruktur gemäß einem der Ansprüche 3 bis 6 oder 8 bis 15 ausgebildet ist.
- 15
- 20
17. Verfahren oder Heterostruktur oder Bauelement, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der kennzeichnenden Merkmale eines der vorhergehenden Ansprüche.

Fig. 1

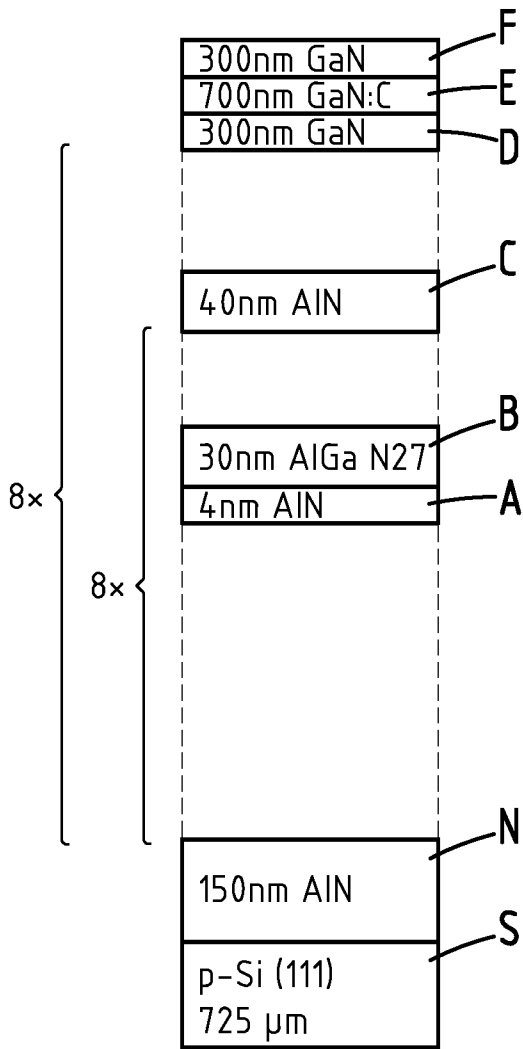
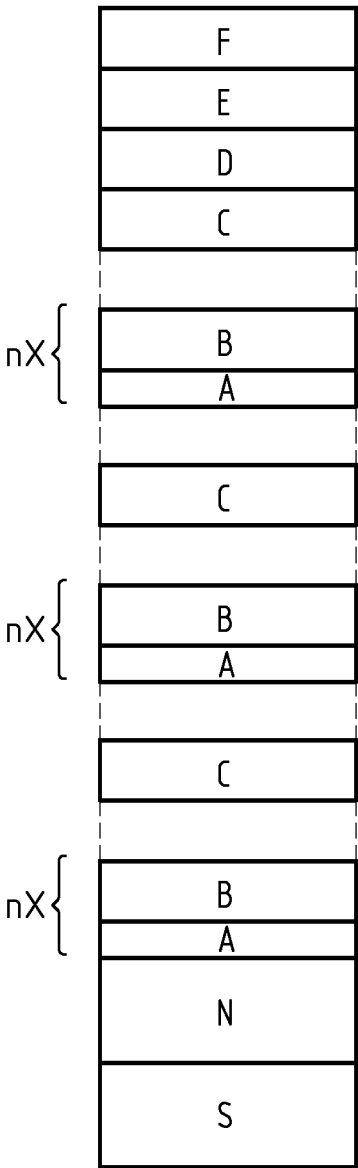


Fig. 2



2/3
Fig. 3

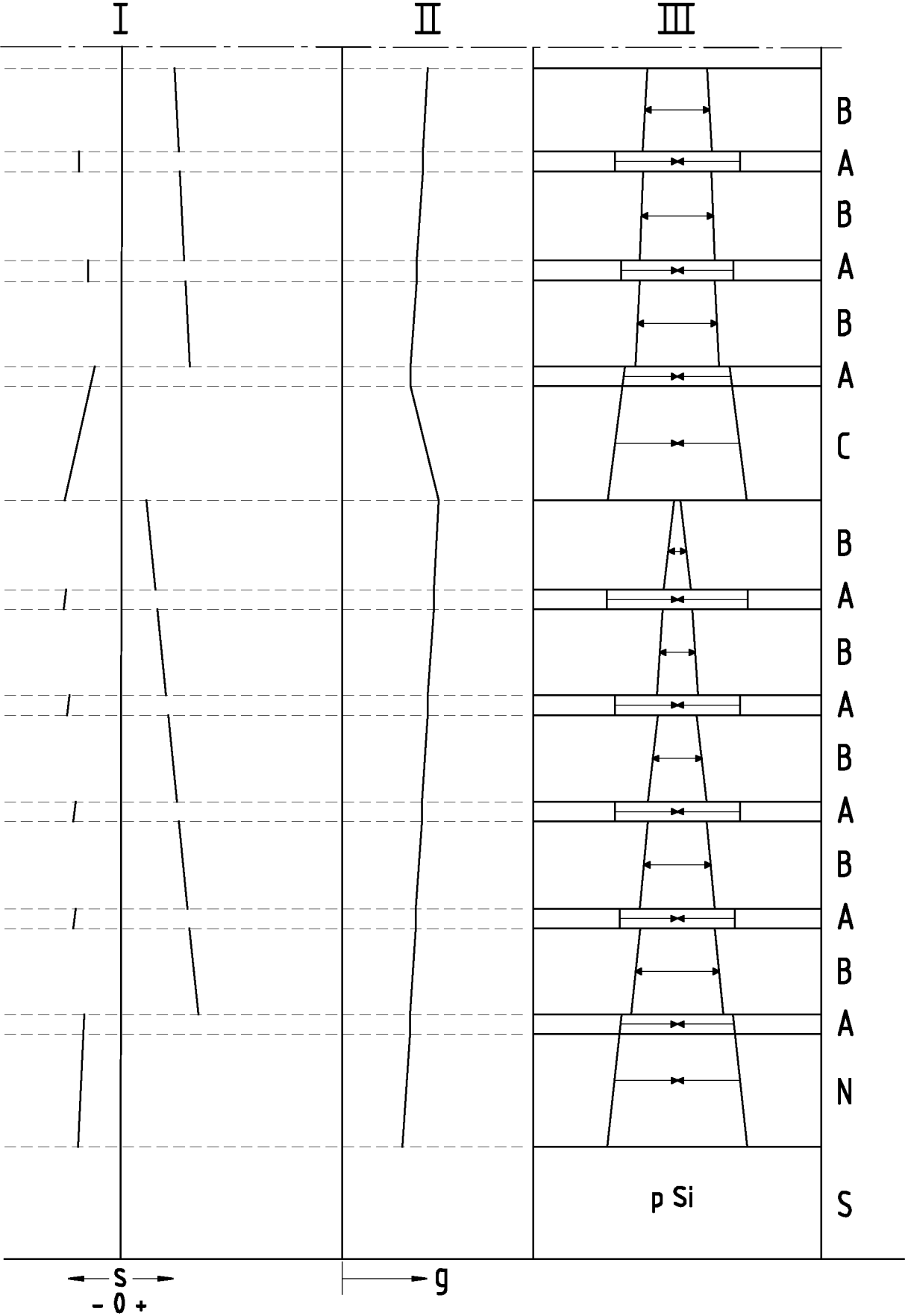
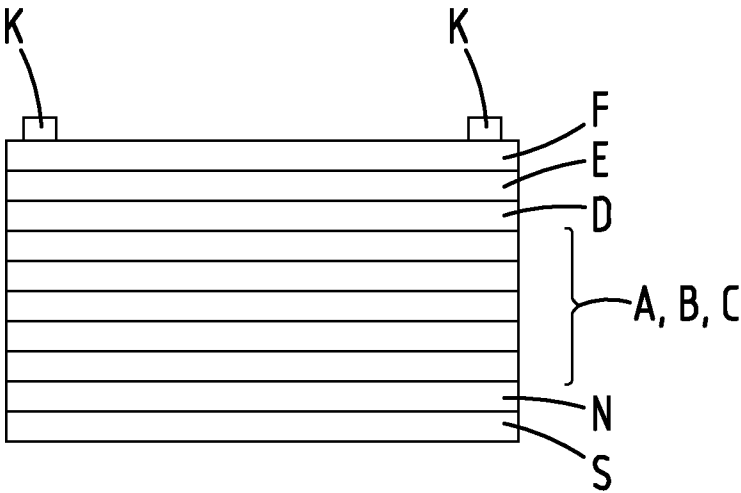


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/085073**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****C30B 25/18**(2006.01)i; **C30B 29/40**(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C30B

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

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

EPO-Internal, IBM-TDB, 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	US 2013075786 A1 (ISHIGURO TETSURO [JP]) 28 March 2013 (2013-03-28) paragraph [0044] - paragraph [0046]; claims 1-6; figures 5,7	1-17
X	JP 2009188252 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 20 August 2009 (2009-08-20) abstract	1-17
X	US 2013026486 A1 (MIYOSHI MAKOTO [JP] ET AL) 31 January 2013 (2013-01-31) paragraph [0088] - paragraph [0105]; figure 1; tables 1,2	1-17
A	US 2004232440 A1 (OHTSUKA KOJI [JP] ET AL) 25 November 2004 (2004-11-25) claims 1-4; figure 4	1-17
A	US 2011272665 A1 (YAMAGUCHI ATSUSHI [JP] ET AL) 10 November 2011 (2011-11-10) figure 4; example 1	1-17



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

23 March 2020

Date of mailing of the international search report

02 April 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Lavéant, Pierre

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/085073

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2013075786	A1	28 March 2013	CN	103035698	A	10 April 2013
				JP	5987288	B2	07 September 2016
				JP	2013074211	A	22 April 2013
				KR	20130034582	A	05 April 2013
				TW	201314889	A	01 April 2013
				US	2013075786	A1	28 March 2013
				US	2015034967	A1	05 February 2015
JP	2009188252	A	20 August 2009	JP	5100427	B2	19 December 2012
				JP	2009188252	A	20 August 2009
US	2013026486	A1	31 January 2013	CN	102870195	A	09 January 2013
				EP	2565906	A1	06 March 2013
				JP	WO2011135963	A1	18 July 2013
				US	2013026486	A1	31 January 2013
				WO	2011135963	A1	03 November 2011
US	2004232440	A1	25 November 2004	JP	3760997	B2	29 March 2006
				JP	2004349387	A	09 December 2004
				US	2004232440	A1	25 November 2004
US	2011272665	A1	10 November 2011	CN	102237403	A	09 November 2011
				DE	102011100241	A1	01 December 2011
				JP	5706102	B2	22 April 2015
				JP	2011238685	A	24 November 2011
				US	2011272665	A1	10 November 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C30B25/18 C30B29/40
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C30B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

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

EPO-Internal, IBM-TDB, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2013/075786 A1 (ISHIGURO TETSURO [JP]) 28. März 2013 (2013-03-28) Absatz [0044] - Absatz [0046]; Ansprüche 1-6; Abbildungen 5,7 -----	1-17
X	JP 2009 188252 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 20. August 2009 (2009-08-20) Zusammenfassung -----	1-17
X	US 2013/026486 A1 (MIYOSHI MAKOTO [JP] ET AL) 31. Januar 2013 (2013-01-31) Absatz [0088] - Absatz [0105]; Abbildung 1; Tabellen 1,2 -----	1-17
A	US 2004/232440 A1 (OHTSUKA KOJI [JP] ET AL) 25. November 2004 (2004-11-25) Ansprüche 1-4; Abbildung 4 ----- -/-	1-17

☒ 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 er-
scheinen 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

23. März 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

02/04/2020

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

Lavéant, Pierre

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2011/272665 A1 (YAMAGUCHI ATSUSHI [JP] ET AL) 10. November 2011 (2011-11-10) Abbildung 4; Beispiel 1 -----	1-17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/085073

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2013075786	A1	28-03-2013	CN	103035698 A	10-04-2013
			JP	5987288 B2	07-09-2016
			JP	2013074211 A	22-04-2013
			KR	20130034582 A	05-04-2013
			TW	201314889 A	01-04-2013
			US	2013075786 A1	28-03-2013
			US	2015034967 A1	05-02-2015

JP 2009188252	A	20-08-2009	JP	5100427 B2	19-12-2012
			JP	2009188252 A	20-08-2009

US 2013026486	A1	31-01-2013	CN	102870195 A	09-01-2013
			EP	2565906 A1	06-03-2013
			JP	W02011135963 A1	18-07-2013
			US	2013026486 A1	31-01-2013
			WO	2011135963 A1	03-11-2011

US 2004232440	A1	25-11-2004	JP	3760997 B2	29-03-2006
			JP	2004349387 A	09-12-2004
			US	2004232440 A1	25-11-2004

US 2011272665	A1	10-11-2011	CN	102237403 A	09-11-2011
			DE	102011100241 A1	01-12-2011
			JP	5706102 B2	22-04-2015
			JP	2011238685 A	24-11-2011
			US	2011272665 A1	10-11-2011
