(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
7. Juni 2007 (07.06.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/063085 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 33/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/069083

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. November 2006 (29.11.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 057 253
29. November 2005 (29.11.2005) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **UNIVERSITÄT BREMEN** [DE/DE]; Bibliothekstr. 1, 28359 Bremen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **YAMAGUCHI, Tomohiro** [JP/JP]; 3-2-19, Uematsu, Nagano 380-0802 (JP).

HOMMEL, Detlef [DE/DE]; Wilhelm-Wolters-Str. 122, 28309 Bremen (DE).

(74) Anwälte: **VON AHSEN, Erwin-Detlef** usw.; Von Ahsen, Nachtwey & Kollegen, Wilhelm-Herbst-Strasse 5, 28359 Bremen (DE).

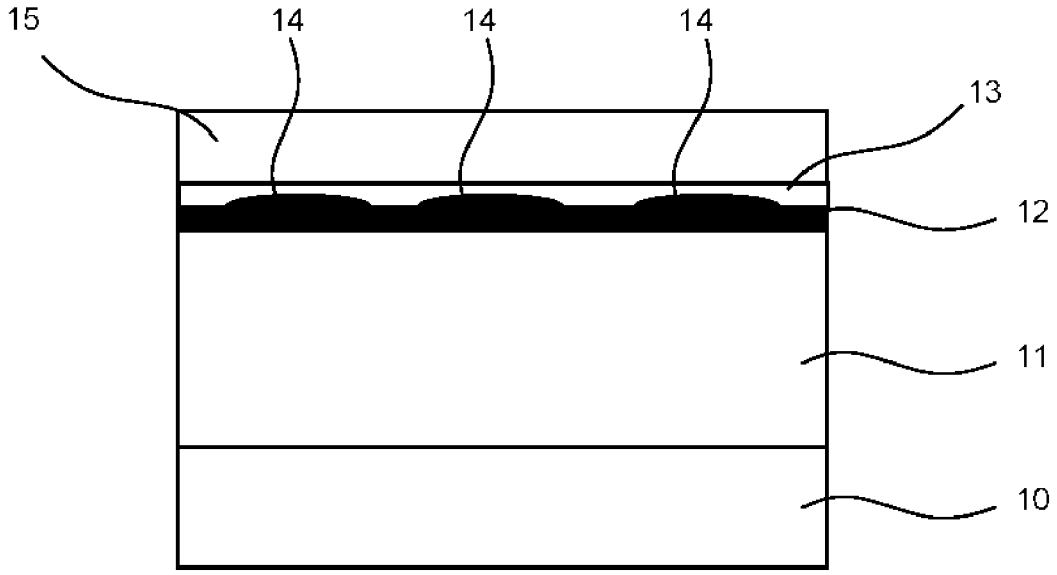
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A SEMICONDUCTOR COMPONENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES HALBLEITERBAUELEMENTES



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a semiconductor component, in particular a laser diode, in which method a second layer (12) is applied to a first layer (11) of a compound semiconductor comprising a first constituent and a second constituent. In addition to the first constituent and the second constituent, said second layer has a first fraction of a third constituent. A third layer (13) of the compound semiconductor is applied to the second layer (12). To prevent the uncontrolled covering over of an island structure in the second layer (12), for the production of the third layer (13) the compound semiconductor, in addition to the first constituent and the second constituent for producing the islands (14) in the second layer (12), has a second fraction of the third constituent, applied during the production of said third layer (13).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/063085 A1

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterbauelementes, insbesondere einer Laserdiode, bei dem auf eine erste Schicht (11) eines Verbindungshalbleiters mit einer ersten Komponente und einer zweiten Komponente eine zweite Schicht (12) des Verbindungshalbleiters aufgebracht wird, die außer der ersten Komponente und der zweiten Komponente einen ersten Anteil einer dritten Komponente aufweist, und bei dem auf die zweite Schicht (12) eine dritte Schicht (13) des Verbindungshalbleiters aufgebracht wird, läßt sich ein unkontrolliertes Zuschütten einer Inselstruktur der zweiten Schicht (12) dadurch vermeiden, daß der Verbindungshalbleiter für die dritte Schicht (13) außer der ersten Komponente und der zweiten Komponenten zum Erzeugen von Inseln (14) der zweiten Schicht (12) beim Aufbringen der dritten Schicht (13) einen zweiten Anteil der dritten Komponente aufweist.

Beschreibung

Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterbauelementes

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterbauelementes, insbesondere einer Laserdiode, bei dem auf eine erste Schicht eines Verbindungshalbleiters mit einer ersten Komponente und einer zweiten Komponente eine zweite Schicht des Verbindungshalbleiters aufgebracht wird, die außer der ersten Komponente und der zweiten Komponente einen ersten Anteil einer dritten Komponente aufweist, und bei dem auf die zweite Schicht eine dritte Schicht des Verbindungshalbleiters aufgebracht wird.

[0002] Bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen, wie insbesondere Laserdioden, werden sogenannte Verbindungshalbleiter verwendet. Das sind Halbleiter, die im allgemeinen aus Komponenten der Elemente der III. und V. chemischen Hauptgruppe, sogenannte III-V-Halbleiter oder Komponenten der Elemente der II. und VI. chemischen Hauptgruppe, sogenannte II-VI-Halbleiter, sowie deren Mischkristallen bestehen. Zur Einstellung der gewünschten Eigenschaften, insbesondere zur Auswahl der von einer Leuchtdiode oder einer Laserdiode ausgesendeten Lichtfarbe werden häufig Mischkristalle verwendet, bei denen die erste Komponente und/oder die zweite Komponente aus mehreren Elementen der jeweiligen Hauptgruppen des Periodensystems bestehen. Beispielsweise ist bei dem Verbindungshalbleiter InGaN Indium Gallium Nitrit ein Teil der Galliumatome der Kristallstruktur durch Indiumatome ersetzt worden. Dies hat einerseits Einfluß auf die Gitterkonstante und andererseits auf die Größe der Energielücke zwischen dem Leitungsband und dem Valenzband des Verbindungshalbleiters, was wiederum die Lichtfarbe des emittierten Lichtes beeinflußt. Um der fortschreitenden Miniaturisierung in der Optoelektronik und der Nachrichtentechnik und dem Bedarf an steigender Speicherdichte Rechnung zu tragen, ist es wünschenswert, die Halbleiterbauelemente, insbesondere die Laserdioden immer weiter zu verkleinern. Zu diesem Zweck sind beispielsweise für im infraroten Spektralbereich emittierende Laserdioden sogenannte Quantenpunktstrukturen (Quantum Dot QD) vorgeschlagen worden. Bei diesen Quantenpunktstrukturen wird die Tatsache genutzt, daß Verbindungshalbleiter wie beispielsweise InGaN beim epitaktischen Schichtwachstum zur Inselbildung neigen. Wird beispielsweise auf eine Schicht GaN Galliumnitrit eine weitere Schicht InGaN Indiumgalliumnitrit, bei der ein Teil der Galliumatome durch Indiumatome ersetzt worden sind, aufgebracht, so lassen sich leicht inselartige Strukturen des InGaN

erzeugen. Deckt man diese inselartigen Strukturen anschließend mit einer sogenannten Cappingschicht aus GaN Galliumnitrit ab, so läßt sich der im Bereich dieser Inseln lokalisierte punktartige Potentialtopf vorteilhaft für Laserdioden verwenden. Problematisch bei diesem Verfahren ist, daß zum Gewährleisten guter Kristalleigenschaften das Aufbringen der Cappingschicht bei verhältnismäßig hohen Temperaturen erforderlich ist. Bei diesen hohen Temperaturen neigt das Indium auf den Inseln aber dazu, in die Cappingschicht zu diffundieren, was wiederum eine Rückbildung der Inseln zur Folge haben kann. Im Extremfall können vor Aufbringen der Cappingschicht vorhandene Inseln nach dem Abdecken mit der Cappingschicht vollständig verschwunden sein.

[0003] Das der Erfindung zugrunde liegende Problem ist es, ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterbauelementes anzugeben, mit dem sich Halbleiterbauelemente mit Quantenpunktstrukturen in hoher Qualität, zuverlässig, reproduzierbar und bei guten Kristalleigenschaften des Halbleiterbauelementes herstellen lassen.

[0004] Das Problem wird dadurch gelöst, daß bei einem Verfahren der eingangs genannten Art der Verbindungshalbleiter für die dritte Schicht außer der ersten Komponente und der zweiten Komponente zum Erzeugen von Inseln der zweiten Schicht beim Aufbringen der dritten Schicht einen zweiten Anteil der dritten Komponente aufweist.

[0005] Weil in diesem Fall auch die dritte Schicht einen Anteil der dritten Komponente enthält, kann bei verhältnismäßig hohen Temperaturen diese dritte Schicht aufgebracht werden, da aus den Inseln heraus diffundierende Atome der dritten Komponente durch aus der dritten Schicht in die Inseln hinein diffundierende Atome der dritten Komponente ausgeglichen werden können. Im Einzelnen können die Schichtdicke der zweiten Schicht, der erste Anteil und der zweite Anteil so gewählt werden, daß durch die Diffusion der Atome der dritten Komponente aus der dritten Schicht in die zweite Schicht die Inseln überhaupt erst entstehen. Weil bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Diffusion der Atome der dritten Komponente nicht unbedingt vermieden werden muß, lassen sich dadurch Kristalle mit guten Kristalleigenschaften erzeugen. Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich auch zur Erzeugung von Quantenpunktstrukturen bei Elementhalbleitern verwenden. In diesem Fall werden für die erste und dritte Schicht ein erster Halbleiter und für die zweite Schicht ein zweiter Halbleiter verwendet, wobei das Material zum Aufbringen der dritten Schicht neben dem ersten Halbleiter einen geringen Anteil des zweiten Halbleiters zum Erzeugen von Inseln der zweiten Schicht beim Aufbringen der dritten Schicht enthält. Anstelle des ersten Halbleiters kann für die erste Schicht auch eine andere geeignete Unterlage

verwendet werden. Wichtig ist ein gutes Wachstumsverhalten entsprechend der vorstehenden Erläuterungen.

[0006] Eine Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß der erste Anteil 10% bis 50%, vorzugsweise 20% bis 25% beträgt. Bei einem derartigen ersten Anteil ändert sich die Gitterkonstante des Verbindungshalbleiters von der ersten Schicht zur zweiten Schicht derart, daß die gewünschten Wachstumsbedingungen eingestellt werden können. Üblicherweise erfolgt das Wachstum der zweiten Schicht nach dem sogenannten Stransky-Kastranow-Modell, wobei zunächst ein lagenweises Wachstum erfolgt und nach einem Aufwachsen von etwa 2 bis 3 Monolagen aufgrund der größeren Gitterkonstante des Verbindungshalbleiters der zweiten Schicht gegenüber der ersten Schicht ein Inselwachstum einsetzt.

[0007] Eine andere Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß der zweite Anteil kleiner ist als der erste Anteil. Vorzugsweise beträgt der zweite Anteil 5% bis 10%. Mittels dieses geringeren zweiten Anteils ist die Gitterkonstante des Verbindungshalbleiters der dritten Schicht nach Diffusion der Atome der dritten Komponente aus der dritten Schicht an die zweite Schicht in etwa gleich der Gitterkonstante der ersten Schicht. Auf diese Weise lassen sich gute Kristalleigenschaften erzielen, wobei gleichzeitig die Diffusion der Atome der dritten Komponente zu der zweiten Schicht hin zur Inselbildung unterstützt wird.

[0008] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die zweite Schicht monolagenweise aufgebracht wird. Dadurch lassen sich besonders gute Kristalleigenschaften erzielen. Die Schichtdicke der zweiten Schicht kann dabei 1 bis 7 Monolagen, vorzugsweise 2 Monolagen betragen. Insbesondere bei dem auftretenden Wachstum befindet sich das System so am Übergang zwischen dem lagenweisen Wachstum und dem Inselwachstum, so daß weitere Atome der dritten Komponente aus der dritten Schicht beim Diffundieren zu der zweiten Schicht die gewünschten Inseln als Quantenpunktstrukturen produzieren.

[0009] Eine andere Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die zweite Schicht und/oder die dritte Schicht bei einer Temperatur von 600°C bis 820°C, vorzugsweise von 820°C aufgebracht wird. Bei diesen hohen Temperaturen lassen sich Schichten guter Qualität und Kristalle von guten Kristalleigenschaften erzeugen. Insbesondere bei 820°C treten nur sehr wenige Defekte in der Kristallstruktur auf.

[0010] Es ist weiter von Vorteil, wenn die zweite Schicht und/oder die dritte Schicht epitaktisch aufgebracht werden. Vorzugsweise kann dies mittels Metallorganischer Dampfphasenepitaxie (MOVPE), Molekularstrahlepitaxie (MBE) oder Hydrid-

Dampfphasen-Epitaxie (HVPE) erfolgen. Mittels dieser epitaktischen Verfahren lassen sich kontrollierbar Schichten hoher Qualität mit guter Ausbeute erzeugen.

[0011] Nach einem anderen Aspekt der Erfindung ist es von Vorteil, wenn die erste Schicht eine Schichtdicke von 2-3 Mikrometer insbesondere 2,3 Mikrometer aufweist. Wird die erste Schicht mit dieser Schichtdicke erzeugt, eignet sie sich gut als Trägermaterial und ist hinreichend robust für die weitere Bearbeitung.

[0012] Es ist außerdem von Vorteil, wenn die erste Schicht auf einem Substrat aufgebracht wird. Als Substrat eignet sich beispielsweise Saphir. Insbesondere kann eine Saphir (0001) Fläche verwendet werden. Dieses Saphir Substrat eignet sich gut als Trägermaterial für die Verbindungshalbleiter und hat andererseits die erforderlichen optischen Eigenschaften zum Herstellen beispielsweise einer Laserdiode. Auch SiC, Si, GaN und andere Trägermaterialien sind bei einem geeigneten Wachstumsverhalten der Schichten darauf als Substrate geeignet.

[0013] Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden beim Aufbringen der dritten Schicht die Inseln auf der zweiten Schicht mit einer Flächenanzahldichte von 10^8 bis 10^9 pro Quadratzentimeter erzeugt. Mit konventionellen Methoden zum Erzeugen dieser Quantenpunktstrukturen liegt die Flächenanzahldichte der Inseln nicht unter 10^{11}. Gerade zum Erzeugen von sogenannten Einzelphotonenemittern, mit denen sich gezielt einzelne Photonen emittieren lassen, ist eine Reduzierung der Flächenanzahldichte bei gleichzeitig hoher Qualität aber zwingend erforderlich. Mit diesen Einzelphotonenemittern lassen sich die Halbleiterbauelemente beispielsweise für die Nachrichtentechnik weiter deutlich miniaturisieren.

[0014] Eine andere Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß als Verbindungshalbleiter GaN mit Ga als erster Komponente und mit N als zweiter Komponente verwendet wird. Dieser GaN-Halbleiter eignet sich zum Herstellen von Laserdioden, die blaues Licht emittieren. Dieses blaue Licht hat wegen seiner geringen Wellenlänge den Vorteil, daß sich damit beispielsweise Leseköpfe für optische Speichermedien mit einer hohen Speicherdichte herstellen lassen. Vorzugsweise wird dabei als dritte Komponente Indium zum Erzeugen von InGaN als Verbindungshalbleiter verwendet. Hierdurch läßt sich eine Verschiebung des emittierten Lichtes in den grünen Spektralbereich erzeugen. Gleichzeitig bewirkt ein Zusetzen von Indium eine Vergrößerung der Gitterkonstante des Verbindungshalbleiterkristalls, so daß das gewünschte Insel-Wachstum erzielt werden kann.

[0015] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement, hergestellt nach dem erfindungsgemäßen Verfahren. Bei dem Halbleiterbauelement kann es sich beispielsweise um eine Laserdiode handeln. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Einzelphotonenemitter.

[0016] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0017] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausgangsproduktes für die Herstellung eines Halbleiterbauelementes nach einem ersten Produktionsschritt,

[0018] Fig. 2 den Halbleiterbauelementrohling von Fig. 1 nach einem zweiten Produktionsschritt,

[0019] Fig. 3 den Halbleiterbauelementrohling nach einem dritten Produktionsschritt,

[0020] Fig. 4 den Halbleiterbauelementrohling nach Aufbringen einer Cappingschicht, und

[0021] Fig. 5 ein Flußdiagramm zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0022] Fig. 1 zeigt einen Rohling für ein Halbleiterbauelement nach einem ersten Produktionsschritt. Wie sich der Figur entnehmen läßt, weist der Rohling ein Substrat 10 auf, auf dem als erste Schicht eine Unterlage 11 angeordnet ist. Bei dem Substrat handelt es sich bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel um Saphir (0001). Die darauf angeordnete erste Schicht 11, die nachfolgend als Unterlage 11 bezeichnet wird, ist bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel aus einem Verbindungshalbleitermaterial ausgebildet. Im Einzelnen besteht die Unterlage 11 aus GaN, das bei guten Kristalleigenschaften auf das Substrat 10 aufgebracht worden ist. Im Einzelnen ist die Unterlage 11 bei einer Aufwachstemperatur von 820°C mittels Metallorganischer Dampfphasen-Epitaxie auf das Substrat 10 aufgewachsen worden. Bei dieser Temperatur bildet sich eine gute einkristaline Struktur des GaN Verbindungshalbleitermaterials auf dem Substrat 10 aus, da Defekte und Versetzungen gut ausheilen können.

[0023] Fig. 2 zeigt den Halbleiterbauelementrohling von Fig. 1 nach einem zweiten Produktionsschritt. Im Einzelnen ist in dem abgebildeten Zustand eine Nukleationsschicht 12 auf der Unterlage 11 angeordnet. Zum Herstellen der Nukleationsschicht ist bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ein Verbindungshalbleitermaterial InGaN, bei dem 20% bis 25% der Galliumatome durch Indiumatome ausgetauscht worden sind, epitaktisch mittels Metalloxiddampfphasen Epitaxie auf der Unterlage 11 aufgewachsen worden. Im Einzelnen ist bei InGaN eine größere Gitterkonstante gegeben als bei GaN, so daß beim epitaktischen Aufwachsen

von InGaN auf GaN das sogenannte Stransky-Kastranow-Wachstum zu beobachten ist. Im Einzelnen wächst dabei das InGaN auf dem GaN der Unterlage 11 zunächst in Form von geordneten Monolagen auf. Erst nach Überschreiten einer kritischen Dicke von 2 bis 3 Monolagen beginnt das InGaN bei weiterem Schichtauftrag in Form eines Inselwachstums zu wachsen, bei dem nicht flächig lagenweise ein Schichtauftrag erfolgt, sondern einzelne Inseln in die Höhe wachsen, ohne daß die darunter liegenden Schichten aufgefüllt werden. Wie sich der Figur entnehmen läßt, ist die Nukleationsschicht 12 mit einer Dicke von 2 bis 3 Monolagen aufgewachsen worden, so daß hier zunächst ein lagenweises Wachstum erfolgt ist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt die Schichtdicke 2 Monolagen, so daß eine Inselbildung noch nicht eingesetzt hat.

[0024] Fig. 3 zeigt den Halbleiterbauelementrohling nach einem dritten Produktionsschritt. Wie sich der Figur entnehmen läßt, ist auf die Nukleationsschicht 12 eine Formationsschicht 13 aufgebracht worden. Die Formationsschicht 13 besteht bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ebenfalls aus einem Verbindungshalbleiter, nämlich InGaN, wobei hier ebenfalls ein Anteil Galliumatome durch Indiumatome ausgetauscht worden ist. Im Einzelnen ist der Anteil der Indiumatome des Verbindungshalbleiters für die Formationsschicht 13 geringer gewählt als für die Nukleationsschicht 12. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind für das Aufdampfen der Formationsschicht 13 5% bis 10% der Galliumatome durch Indiumatome ausgetauscht worden. Das Aufwachsen der Formationsschicht wie auch das Aufwachsen der Nukleationsschicht erfolgt bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel bei einer Temperatur von 820°C, so daß sich gute Kristalleigenschaften für die Nukleationsschicht 12 wie auch für die Formationsschicht 13 ergeben. Durch die verhältnismäßig hohen Aufwachstemperaturen können sich die Indiumatome, die in geringer Konzentration in der Formationsschicht 13 enthalten sind, durch die Formationsschicht 13 mittels Diffusion bewegen. Die Indiumatome der Formationsschicht 13 reichern sich dabei im Bereich der Grenzfläche zu der Nukleationsschicht 12 an, wodurch Inseln 14 auf der Nukleationsschicht 12 entstehen. Im Einzelnen ist die Gitterkonstante des InGaN der Nukleationsschicht 12 größer als die des GaN der Unterlage 11, während die Gitterkonstante des InGaN der Formationsschicht 13 kleiner ist als die der Nukleationsschicht 12 und größer als die der Unterlage 11. Durch die Anlagerung der Indiumatome an die Grenzschicht der Nukleationsschicht 12 entmischt sich gleichsam das InGaN der Formationsschicht 13, wodurch im wesentlichen GaN als Verbindungshalbleitermaterial der

Formationsschicht 13 überbleibt.

[0025] Fig. 4 zeigt den Halbleiterbauelementrohling mit aufgebrachter Cappingschicht 15. Wie sich der Figur entnehmen läßt, ist eine Cappingschicht 15 auf die Formationsschicht 13 aufgebracht worden. Die Cappingschicht 15 besteht aus einem Verbindungshalbleiter, nämlich GaN. Die Cappingschicht 15 kann ebenfalls bei hoher Temperatur, nämlich bei 820°C auf die Formationsschicht 13 aufgebracht werden, so daß sich gute Kristallstrukturen ergeben.

[0026] Fig. 5 zeigt ein Flußdiagramm des Verfahrens mit den Erfindungsmerkmalen. Im Schritt S10 wird das Verfahren begonnen. Zunächst erfolgt dann im Schritt S11 das Herstellen einer Unterlage. Als Unterlage im Sinne des Schrittes S11 kann sowohl das Substrat 10 wie auch die Unterlage 11 von Fig. 3 hergestellt werden.

[0027] Als nächstes folgt der Schritt S12. In Schritt S12 wird die Nukleationsschicht 12 auf der Unterlage aufgebracht. Dies erfolgt, wie vorstehend zu den Fig. 1 bis 4 bereits erläutert, mittels Aufwachsen des Verbindungshalbleiters im Bereich lagenweisen Wachstums. Dabei wird die Schichtdicke so gewählt, daß die kritische Dicke zum Übergang des Wachstums zu dreidimensionalem Inselwachstum unterschritten wird.

[0028] Es folgt der Schritt S13. Im Schritt S13 wird die Formationsschicht 13 auf die Nukleationsschicht 12 aufgewachsen. Dies geschieht wiederum epitaktisch bei hoher Temperatur zum Erzeugen einer guten Kristallstruktur. Bei dem Aufwachsen dieser Formationsschicht, bei der ein geringerer Anteil an Indiumatomen in dem Verbindungshalbleiter vorhanden ist, entstehen die Inseln 14 durch Diffusion der Indiumatome an die Grenzfläche zu der Nukleationsschicht 12. Gleichzeitig werden die Inseln 14 aber durch die verbleibende GaN-Schicht der Formationsschicht 13 abgedeckt und somit geschützt.

[0029] Im nachfolgenden Schritt S14 wird sodann die Cappingschicht 15 auf der Formationsschicht 13 aufgewachsen, wodurch die Inselstruktur geschützt und fertig zur weiteren Verwendung ist. Anschließend wird das Verfahren im Schritt S15 beendet.

[0030] Zur Herstellung der erforderlichen und gewünschten Bauelemente kann das erfindungsgemäße Verfahren lagenweise aufeinander folgend so oft wiederholt werden, wie es den Anforderungen entspricht. Beispielsweise genügt für einen Einzelphotonenemitter eine Lage Quantenpunkte, während für Laserdioden Stapel mit drei bis zwölf Lagen erforderlich sind.

[0031] Mit dem vorstehend beschriebenen Verfahren läßt sich das aktive Gebiet einer Lichtemitterstruktur für Halbleiterbauelemente herstellen, bei denen in Form der Inseln

14 Quantenpunktstrukturen für Halbleiterbauelemente wie beispielsweise Laserdioden geschaffen werden. Diese Quantenpunktstrukturen lassen sich mit dem beschriebenen Verfahren mit einer Flächendichte von 10^8 bis 10^9 pro Quadratzentimeter erzeugen. Diese verhältnismäßig geringe Flächenanzahldichte ermöglicht es, auf diese Weise Einzelphotonenemitter herzustellen.

[0032] Bezugszeichenliste:

[0033] 10 Substrat

[0034] 11 Unterlage

[0035] 12 Nukleationsschicht

[0036] 13 Formationsschicht

[0037] 14 Insel

[0038] 15 Cappingschicht

Ansprüche

[0001] Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterbauelementes, insbesondere einer Laserdiode, bei dem auf eine erste Schicht (11) eine zweite Schicht (12) eines Halbleiters aufgebracht wird, und bei dem auf die zweite Schicht (12) eine dritte Schicht (13) aufgebracht wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Material zum Aufbringen der dritten Schicht (13) einen Anteil des Halbleiters zum Erzeugen von Inseln (14) der zweiten Schicht (12) beim Aufbringen der dritten Schicht (13) enthält.

[0002] Verfahren nach Anspruch 1 zum Herstellen eines Halbleiterbauelementes, insbesondere einer Laserdiode, bei dem auf eine erste Schicht (11) eines Verbindungshalbleiters mit einer ersten Komponente und einer zweiten Komponente eine zweite Schicht (12) des Verbindungshalbleiters aufgebracht wird, die außer der ersten Komponente und der zweiten Komponente einen ersten Anteil einer dritten Komponente aufweist, und bei dem auf die zweite Schicht (12) eine dritte Schicht (13) des Verbindungshalbleiters aufgebracht wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Verbindungshalbleiter für die dritte Schicht (13) außer der ersten Komponente und der zweiten Komponente zum Erzeugen von Inseln (14) der zweiten Schicht (12) beim Aufbringen der dritten Schicht (13) einen zweiten Anteil der dritten Komponente aufweist.

[0003] Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Anteil 10% bis 50%, vorzugsweise 20% bis 25% beträgt.

[0004] Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Anteil kleiner ist als der erste Anteil.

[0005] Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Anteil 5% bis 10% beträgt.

[0006] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schicht (12) monolagenweise aufgebracht wird.

[0007] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke der zweiten Schicht (12) eine bis sieben Monolagen, vorzugsweise zwei Monolagen beträgt.

[0008] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schicht (12) und/oder die dritte Schicht (13) bei einer Temperatur von 600°C bis 820°C, vorzugsweise von 820°C aufgebracht wird.

[0009] Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schicht

(12) und/oder die dritte Schicht (13) bei einer Temperatur von 600°C bis 700°C aufgebracht wird, und daß die vierte Schicht bei einer Temperatur größer als 800°C aufgebracht wird.

[0010] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schicht (12) und/oder die dritte Schicht (13) epitaktisch, vorzugsweise mittels Metallorganische Dampfphasen-Epitaxie (MOVPE), Molekularstrahlepitaxie (MBE) oder Hydrid-Dampfphasen Epitaxie (HVPE) aufgebracht wird.

[0011] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (11) mit einer Schichtdicke von 2 bis 3 Mikrometer, insbesondere 2,3 Mikrometer, erzeugt wird.

[0012] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (11) auf ein Substrat (10) aufgebracht wird.

[0013] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat (10) Saphir, insbesondere eine Saphir (0001) Fläche, verwendet wird.

[0014] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Aufbringen der dritten Schicht (13) die Inseln (14) auf der zweiten Schicht (12) mit einer Flächenanzahldichte von 10^8 bis 10^9 pro Quadratzentimeter erzeugt werden.

[0015] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Verbindungshalbleiter GaN mit Ga als erste Komponente und N als zweite Komponente verwendet wird.

[0016] Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß als dritte Komponente Indium zum Erzeugen von InGaN als Verbindungshalbleiter verwendet wird.

[0017] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte des Aufbringens der zweiten Schicht (12) und der dritten Schicht (13) zum Erzeugen von Inseln (14) der zweiten Schicht (12) mehrfach aufeinander folgend ausgeführt werden.

[0018] Halbleiterbauelement, hergestellt nach dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

[0019] Halbleiterbauelement nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Laserdiode ist.

[0020] Halbleiterbauelement nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß

es ein Einzelphotonenemitter ist.

[0021] Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 18 bis 20, gekennzeichnet durch eine Inselflächenanzahldichte von 10^8 bis 10^9 pro Quadratzentimeter.

Fig. 1

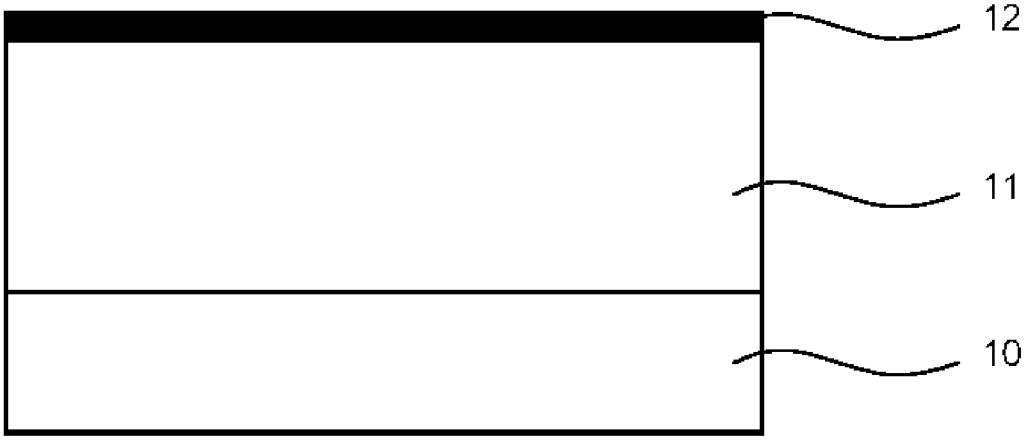


Fig. 2

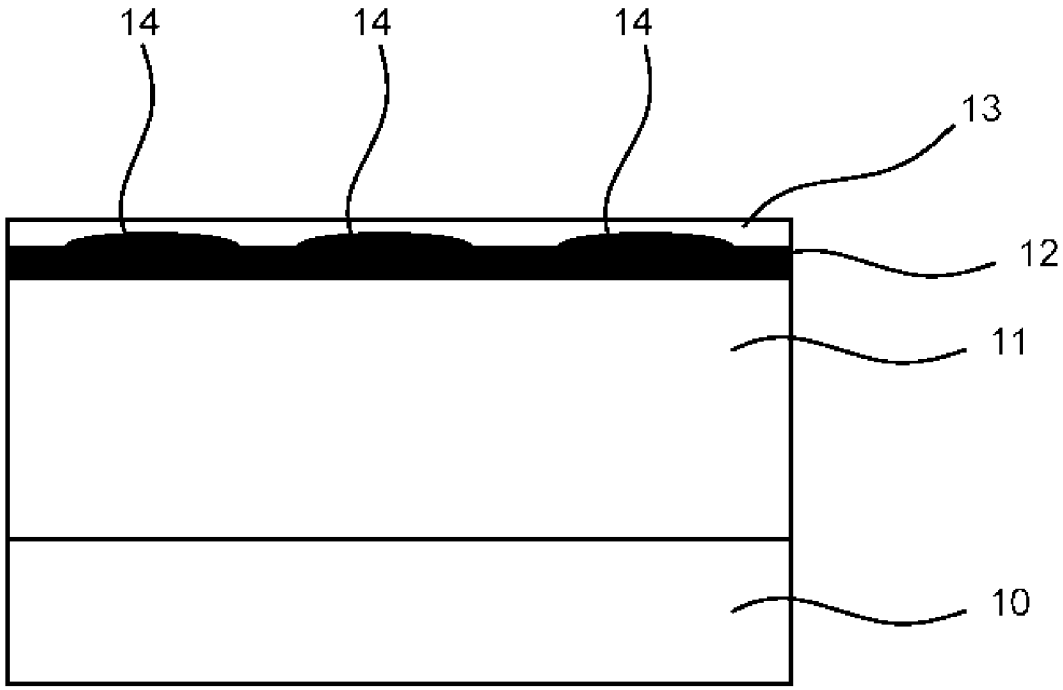


Fig. 3

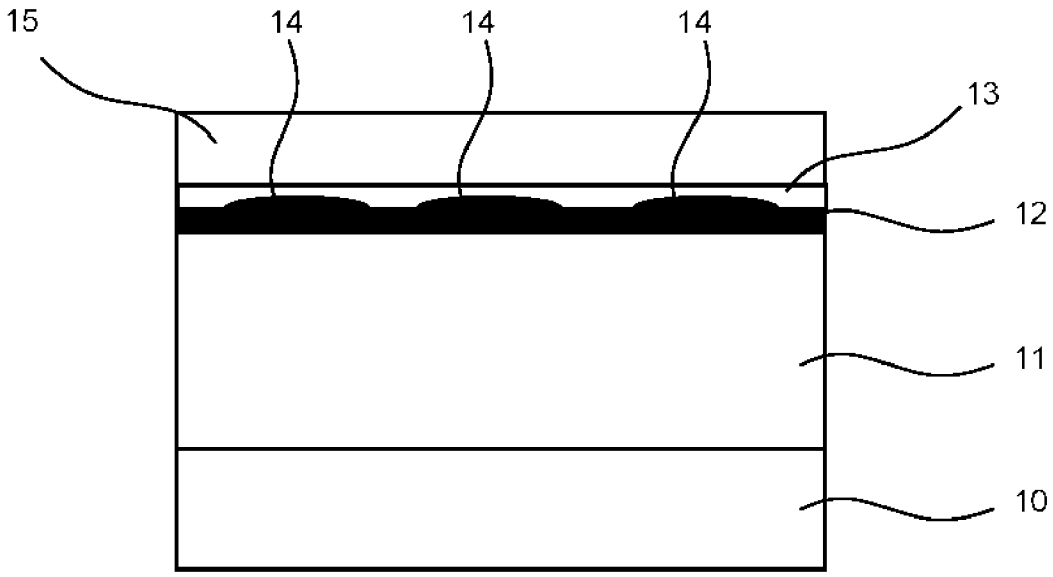


Fig. 4

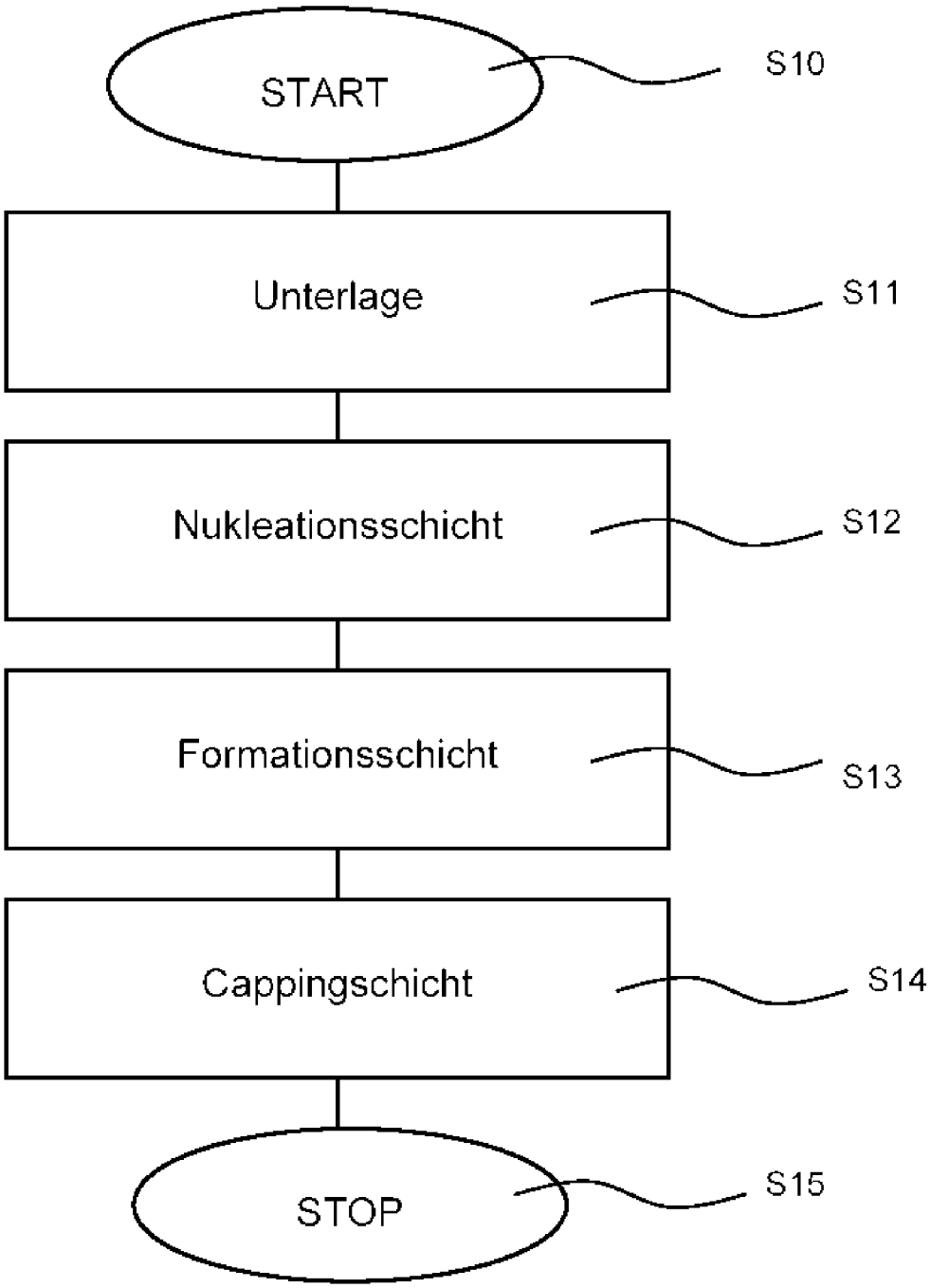

START
S10
Unterlage
S11
Nukleationsschicht
S12
Formationsschicht
S13
Cappingschicht
S14
STOP
S15

Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/069083

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L33/00

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 H01S

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 practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	YASUHIKO ARAKAWA: "Progress in GaN-Based Quantum Dots for Optoelectronics Applications" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 8, no. 4, July 2002 (2002-07), XP011066167 ISSN: 1077-260X	1-19,21
Y	the whole document	20

-/--

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

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 March 2007	05/04/2007

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	RODRIGUEZ-GIRONES, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/069083

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JEAN-MICHEL GERARD ET AL: "Strong Purcell Effect for InAs Quantum Boxes in Three-Dimensional Solid-State Microcavities" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, XX, XX, vol. 17, no. 11, November 1999 (1999-11), XP011029561 ISSN: 0733-8724 abstract	20
X	DE 197 34 034 A1 (SHOWA DENKO KK [JP]) 12 February 1998 (1998-02-12) column 1, line 34 - column 2, line 59 column 3, lines 31-41 column 4, line 25 - column 9, line 6	1-13,15, 16,18,19
X	US 2003/059971 A1 (CHUA SOO JIN [SG] ET AL) 27 March 2003 (2003-03-27) paragraphs [0006] - [0014] paragraphs [0021] - [0027] paragraphs [0028] - [0030]	1-13,15, 16,18,19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2006/069083

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19734034 A1	12-02-1998	GB 2316226 A	18-02-1998
		JP 3090057 B2	18-09-2000
		JP 10056202 A	24-02-1998
		US 5886367 A	23-03-1999
US 2003059971 A1	27-03-2003	US 2004023427 A1	05-02-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2006/069083

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L33/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L H01S

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

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	YASUHIKO ARAKAWA: "Progress in GaN-Based Quantum Dots for Optoelectronics Applications" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 8, Nr. 4, Juli 2002 (2002-07), XP011066167 ISSN: 1077-260X	1-19,21
Y	das ganze Dokument	20

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
27. März 2007	05/04/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	RODRIGUEZ-GIRONES, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2006/069083

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JEAN-MICHEL GERARD ET AL: "Strong Purcell Effect for InAs Quantum Boxes in Three-Dimensional Solid-State Microcavities" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, XX, XX, Bd. 17, Nr. 11, November 1999 (1999-11), XP011029561 ISSN: 0733-8724 Zusammenfassung	20
X	DE 197 34 034 A1 (SHOWA DENKO KK [JP]) 12. Februar 1998 (1998-02-12) Spalte 1, Zeile 34 - Spalte 2, Zeile 59 Spalte 3, Zeilen 31-41 Spalte 4, Zeile 25 - Spalte 9, Zeile 6	1-13,15, 16,18,19
X	US 2003/059971 A1 (CHUA SOO JIN [SG] ET AL) 27. März 2003 (2003-03-27) Absätze [0006] - [0014] Absätze [0021] - [0027] Absätze [0028] - [0030]	1-13,15, 16,18,19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2006/069083

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19734034 A1	12-02-1998	GB 2316226 A	18-02-1998
		JP 3090057 B2	18-09-2000
		JP 10056202 A	24-02-1998
		US 5886367 A	23-03-1999
US 2003059971 A1	27-03-2003	US 2004023427 A1	05-02-2004