



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 040 438.4**

(22) Anmeldetag: **07.09.2009**

(43) Offenlegungstag: **27.01.2011**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 5/34** (2006.01)
H01L 33/06 (2010.01)

(66) Innere Priorität:
10 2009 034 588.4 24.07.2009

(71) Anmelder:
**OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93055
Regensburg, DE**

(74) Vertreter:
**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

(72) Erfinder:
**Peter, Matthias, Dr., 93087 Alteglofsheim, DE;
Butendeich, Rainer, Dr., 93059 Regensburg, DE;
Taki, Tetsuya, Dr., 93049 Regensburg, DE; Off,
Jürgen, Dr., 93059 Regensburg, DE; Walter,
Alexander, 93164 Laaber, DE; Meyer, Tobias, 93346
Ihrlersstein, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

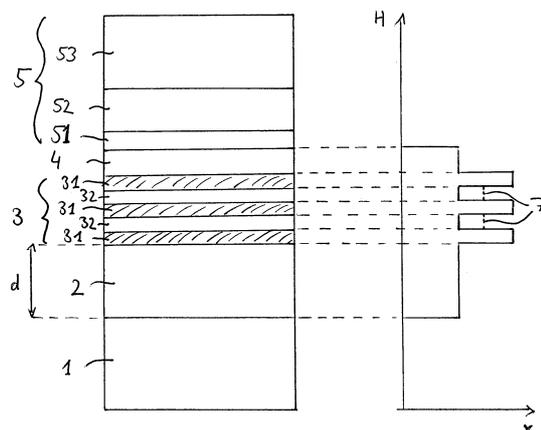
US 2009/00 57 688 A1
US 2007/00 09 000 A1
US 2006/00 97 242 A1
US 58 28 684 A
JP 2001-1 02 690 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Optoelektronischer Halbleiterkörper mit einer Quantentopfstruktur**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein optoelektronischer Halbleiterkörper angegeben, der ein Halbleitermaterial enthält, das aus einer ersten Komponente und einer von der ersten Komponente verschiedenen zweiten Komponente zusammengesetzt ist. Der Halbleiterkörper weist eine Quantentopfstruktur auf, die zwischen einer n-leitenden Schicht (1) und einer p-leitenden Schicht (5) angeordnet ist. Die Quantentopfstruktur besteht aus folgenden Elementen: einer einzelnen Quantentopfschicht (31) oder einem Schichtstapel (3), der aus einer Mehrzahl von Quantentopfschichten (31) und mindestens einer Barrierschicht (32) besteht, wobei zwischen jeweils zwei aufeinander folgenden Quantentopfschichten (31) eine Barrierschicht (32) angeordnet ist, die an beide Quantentopfschichten (31) angrenzt; einer n-seitigen Abschlusschicht (2), die an die n-leitende Schicht (1) und an die einzelne Quantentopfschicht (31) bzw. den Schichtstapel (3) angrenzt; und einer p-seitigen Abschlusschicht (4), die zwischen der p-leitenden Schicht (5) und der einzelnen Quantentopfschicht (31) bzw. dem Schichtstapel (3) angeordnet ist und an den Schichtstapel (3) bzw. die einzelne Quantentopfschicht (31) angrenzt. Der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial ist in jeder der Quantentopfschichten (31) größer als in der n-seitigen Abschlusschicht (2), in der p-seitigen Abschlusschicht (4) und ggf. in der mindestens einen Barrierschicht (32). Er ist in der n-seitigen Abschlusschicht (2) größer als in der ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Anmeldung betrifft einen optoelektronischen Halbleiterkörper mit einer Quantentopfstruktur.

[0002] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Anmeldung, einen optoelektronischen Halbleiterkörper anzugeben, der eine besonders geringe Vorwärtsspannung hat.

[0003] Diese Aufgabe wird durch einen optoelektronischen Halbleiterkörper gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Halbleiterkörpers sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Offenbarungsgehalt der Patentansprüche wird hiermit ausdrücklich durch Rückbezug in die Beschreibung mit aufgenommen.

[0004] Es wird ein optoelektronischer Halbleiterkörper angegeben. Beispielsweise handelt es sich bei dem optoelektronischen Halbleiterkörper um eine Leuchtdiode oder um eine Laserdioden. Der Halbleiterkörper weist eine n-leitende Schicht und eine p-leitende Schicht auf, zwischen denen eine Quantentopfstruktur angeordnet ist. Die Quantentopfstruktur ist zweckmäßigerweise zur Strahlungserzeugung und/oder zum Empfang von elektromagnetischer Strahlung vorgesehen, insbesondere im ultravioletten, sichtbaren und/oder infraroten Spektralbereich.

[0005] Bei der Quantentopfstruktur kann es sich um eine Einfachquantentopfstruktur oder um eine Mehrfachquantentopfstruktur handeln. Die Einfachquantentopfstruktur besteht insbesondere aus folgenden Elementen: einer einzelnen Quantentopfschicht, einer n-seitigen Abschlusschicht und einer p-seitigen Abschlusschicht. Die Mehrfachquantentopfstruktur besteht insbesondere aus folgenden Elementen: einem Schichtstapel, der aus einer Mehrzahl von Quantentopfschichten und mindestens einer Barrierschicht besteht, einer n-seitigen Abschlusschicht und einer p-seitigen Abschlusschicht.

[0006] Bei dem Schichtstapel ist zwischen jeweils zwei aufeinander folgenden Quantentopfschichten eine Barrierschicht angeordnet, die an beide Quantentopfschichten angrenzt. Anders ausgedrückt stellt der Schichtstapel eine alternierende Folge von Quantentopfschichten und Barrierschichten dar, wobei der Stapel auf beiden Seiten von einer Quantentopfschicht abgeschlossen ist. Der Schichtstapel enthält somit n-Quantentopfschichten und n – 1 Barrierschichten, wobei n eine natürliche Zahl größer oder gleich 2 ist. Bei einer Weiterbildung ist die Anzahl n der Quantentopfschichten kleiner oder gleich 10.

[0007] Die jeweiligen Barrierschichten haben ins-

besondere eine einheitliche Materialzusammensetzung. Anders ausgedrückt bleibt die Materialzusammensetzung der jeweiligen Barrierschichten im Verlauf von einer der angrenzenden Quantentopfschichten zur anderen angrenzenden Quantentopfschicht insbesondere unverändert. Eine Barrierschicht mit einheitlicher Materialzusammensetzung enthält insbesondere keine Folge von Abschnitten unterschiedlicher Materialzusammensetzung.

[0008] Weist der Halbleiterkörper eine Mehrfachquantentopfstruktur auf, grenzt die n-seitige Abschlusschicht an den Schichtstapel und die n-leitende Schicht an. Die p-seitige Abschlusschicht, ist zwischen dem Schichtstapel und der p-leitenden Schicht angeordnet und grenzt an den Schichtstapel an. Vorzugsweise grenzt die p-seitige Abschlusschicht auch an die p-leitende Schicht an.

[0009] Anders ausgedrückt ist bei einem Halbleiterkörper mit einer Mehrfachquantentopfstruktur der Schichtstapel zwischen der n-seitigen Abschlusschicht und der p-seitigen Abschlusschicht derart angeordnet, dass in Richtung von der n-Seite des Halbleiterkörpers her gesehen die n-seitige Abschlusschicht an die erste Quantentopfschicht des Schichtstapels angrenzt und die p-seitige Abschlusschicht an die letzte Quantentopfschicht des Schichtstapels angrenzt.

[0010] Weist der Halbleiterkörper eine Einfachquantentopfstruktur auf, grenzt die n-seitige Abschlusschicht die einzelne Quantentopfschicht und die n-leitende Schicht an. Die p-seitige Abschlusschicht ist zwischen der einzelnen Quantentopfschicht und der p-leitenden Schicht angeordnet und grenzt an die einzelne Quantentopfschicht an. Vorzugsweise grenzt die p-seitige Abschlusschicht auch an die p-leitende Schicht an.

[0011] Der optoelektronische Halbleiterkörper, insbesondere zumindest die Quantentopfstruktur, die n-leitende Schicht und die p-leitende Schicht, enthält ein Halbleitermaterial, das aus einer ersten Komponente und einer von der ersten Komponente verschiedenen zweiten Komponente zusammengesetzt ist. Dabei müssen nicht alle Schichten des Halbleiterkörpers die erste Komponente des Halbleitermaterials enthalten. Vorzugsweise ist die erste Komponente jedoch zumindest in der/den Quantentopfschicht(en), gegebenenfalls in der/den Barrierschicht(en), der n-seitigen Abschlusschicht und der p-seitigen Abschlusschicht enthalten. Die Zusammensetzung der zweiten Komponente muss nicht in allen Schichten des Halbleiterkörpers gleich sein. Beispielsweise kann die zweite Komponente mehrere Elemente enthalten, deren Stoffmengenanteile an der zweiten Komponente in verschiedenen Schichten des Halbleiterkörpers unterschiedlich sind.

[0012] Das Halbleitermaterial ist beispielsweise ein hexagonales Verbindungshalbleitermaterial. Ein hexagonales Verbindungshalbleitermaterial weist eine hexagonale Gitterstruktur auf. Beispielsweise handelt es sich bei dem hexagonalen Verbindungshalbleitermaterial um eine binäre, ternäre und/oder quaternäre Verbindung von Elementen der zweiten und sechsten Hauptgruppe des Periodensystems der chemischen Elemente. Beispielsweise kann es sich um eine der folgenden Verbindungen handeln: ZnO, ZnMgO, CdS, ZnCdS, MgBeO. Alternativ kann es sich bei dem hexagonalen Verbindungshalbleitermaterial um eine binäre, ternäre und/oder quaternäre Verbindung von Elementen der dritten und fünften Hauptgruppe handeln, beispielsweise um ein Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial. Es kann sich zum Beispiel um eine der folgenden Halbleiterstrukturen handeln: Bn, AlGa_n, GaN, InAlGa_n.

[0013] Dabei muss das Halbleitermaterial nicht zwingend eine mathematisch exakte Zusammensetzung nach einer der obigen Formeln aufweisen. Vielmehr kann es einen oder mehrere Dotierstoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen. Der Einfachheit halber beinhalten obige Formeln jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters, auch wenn diese teilweise durch geringere Mengen weiterer Stoffe ersetzt sein können.

[0014] Der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial ist in jeder der Quantentopfschichten größer als in der n-seitigen Abschlusschicht, in der p-seitigen Abschlusschicht und gegebenenfalls in der Barrierschicht beziehungsweise in den Barrierschichten des Schichtstapels. Auf diese Weise ist insbesondere eine Bandstruktur der Quantentopfstruktur erzielt, bei der die Quantentopfstruktur im Bereich der Quantentopfschichten eine geringere Bandlücke hat als im Bereich der n-seitigen Abschlusschicht, der p-seitigen Abschlusschicht und gegebenenfalls der Barrierschicht(en). Bei einer Ausgestaltung ist der Stoffmengenanteil der ersten Komponente in allen Quantentopfschichten gleich groß.

[0015] Der Stoffmengenanteil der ersten Komponente ist in der n-seitigen Abschlusschicht größer als in der n-leitenden Schicht. In der p-seitigen Abschlusschicht ist der Stoffmengenanteil der ersten Komponente vorzugsweise größer als in der p-leitenden Schicht.

[0016] Beispielsweise bei einem Halbleiterkörper, der ein hexagonales Verbindungshalbleitermaterial enthält – etwa bei einem auf dem III/V-Halbleitermaterialsystem InAlGa_n, also In_xAl_yGa_{1-x-y}N mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$, basierenden Halbleiterkörper – treten in der Quantentopfstruktur piezoelektrische Felder auf. Die piezoelektrischen Felder stellen energetische Barrieren für die in der Quantentopf-

struktur wandernden Ladungsträger dar.

[0017] Diese Ladungsträgerbarrieren entstehen, insbesondere aufgrund der polaren Wurtzit-Kristallstruktur, wenn sich bei Änderungen des Stoffmengenanteils der ersten Komponente – d. h. in diesem Fall bei Änderung des In-Anteils – Verspannungen in dem Halbleitermaterial bilden.

[0018] Die Erfinder haben festgestellt, dass bei dem Halbleiterkörper gemäß der vorliegenden Anmeldung diese Barrieren besonders klein sind, so dass der Halbleiterkörper eine besonders geringe Vorwärtsspannung hat. Beispielsweise ist die Vorwärtsspannung gegenüber Halbleiterkörpern verringert, bei denen die n-seitige Abschlusschicht und/oder die p-seitige Abschlusschicht frei von der ersten Komponente des Halbleiterkörpers sind. Auch gegenüber einem Halbleiterkörper, bei dem beispielsweise zwischen der n-seitigen Abschlusschicht und der ersten Quantentopfschicht des Schichtstapels – beziehungsweise der einzelnen Quantentopfschicht – eine weitere Schicht angeordnet ist, welche die erste Komponente des Halbleitermaterials in einem geringeren Stoffmengenanteil enthält als die n-seitige Abschlusschicht, ist die Vorwärtsspannung mit Vorteil verringert.

[0019] Der Halbleiterkörper hat bei einer Ausgestaltung ein Emissionsmaximum bei einer Wellenlänge von größer oder gleich 440 nm, vorzugsweise von größer oder gleich 460 nm, besonders bevorzugt von größer oder gleich 480 nm hat. Beispielsweise liegt das Emissionsmaximum im grünen Spektralbereich. Bei einer Ausgestaltung ist die Wellenlänge des Emissionsmaximums kleiner oder gleich 1400 nm.

[0020] Mit zunehmender Wellenlänge des Emissionsmaximums nimmt die Bandlücke der Quantentopfschicht(en) ab, wodurch grundsätzlich auch die Vorwärtsspannung sinken sollte. Um die Bandlücke zu verkleinern wird jedoch der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in den Quantentopfschichten bzw. in der einzelnen Quantentopfschicht erhöht. Bei konventionellen Leuchtdioden aus InAlGa_n führt dies zu einer derartigen Erhöhung der Ladungsträgerbarrieren, dass die Vorwärtsspannung nahezu unabhängig von der Emissionswellenlänge ist.

[0021] Dagegen wirkt sich die Aufteilung der Ladungsträgerbarrieren auf den Übergang zwischen der n-leitenden Schicht und der n-seitigen Abschlusschicht und den Übergang zwischen der n-seitigen Abschlusschicht und der einzelnen Quantentopfschicht bzw. der ersten Quantentopfschicht bei dem Halbleiterkörper gemäß der vorliegenden Anmeldung besonders vorteilhaft aus, wenn der Stoffmengenanteil der ersten Komponente in der/den Quantentopfschicht(en) groß ist. Die mit dem Halblei-

terkörper gemäß der vorliegenden Anmeldung erzielbare Reduzierung der Vorwärtsspannung ist daher bei größeren Wellenlängen besonders ausgeprägt.

[0022] Gemäß einer anderen Ausgestaltung ist der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der Barrierschicht beziehungsweise in den Barrierschichten mindestens so groß wie in der n-seitigen Abschlusschicht. Gemäß einer Weiterbildung ist alternativ oder zusätzlich der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der Barrierschicht beziehungsweise in den Barrierschichten mindestens so groß wie in der p-seitigen Abschlusschicht.

[0023] Der Stoffmengenanteil der ersten Komponente kann in der n-seitigen Abschlusschicht und in der p-seitigen Abschlusschicht gleich groß sein. Es ist auch denkbar, dass der Stoffmengenanteil der ersten Komponente in der n-seitigen Abschlusschicht einen anderen Wert hat als in der p-seitigen Abschlusschicht. Der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der/den Barrierschicht(en) ist vorzugsweise mindestens so groß wie der größere der Stoffmengenanteile der ersten Komponente in der n-seitigen Abschlusschicht und in der p-seitigen Abschlusschicht.

[0024] Beispielsweise hat der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der Barrierschicht beziehungsweise den Barrierschichten einen Wert, der zwischen dem Stoffmengenanteil der ersten Komponente in den Quantentopfschichten und dem größeren der Stoffmengenanteile der ersten Komponente in der n-seitigen Abschlusschicht und in der p-seitigen Abschlusschicht liegt. Bei einer anderen Ausgestaltung ist der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der n-seitigen Abschlusschicht, in der Barrierschicht beziehungsweise den Barrierschichten und in der p-seitigen Abschlusschicht gleich groß.

[0025] Im vorliegenden Zusammenhang wird unter einem "gleich großen Stoffmengenanteil" der ersten Komponente in zwei Schichten verstanden, dass sich der Stoffmengenanteil – insbesondere der über die Dicke der jeweiligen Schicht gemittelte Stoffmengenanteil – der ersten Komponente zwischen den Schichten um 5% oder weniger unterscheidet. Anders ausgedrückt liegt der Stoffmengenanteil in der zweiten der zwei Schichten in einem Bereich zwischen dem 0,95-fachen des Stoffmengenanteils in der ersten der zwei Schichten und dem 1,05-fachen des Stoffmengenanteils in der ersten Schicht. Vorzugsweise unterscheidet sich der Stoffmengenanteil um 1% oder weniger, besonders bevorzugt um 0,5% oder weniger.

[0026] Vorteilhafterweise kann die Vorwärtsspan-

nung auf diese Weise weiter verringert werden. Beispielsweise kann die Vorwärtsspannung gegenüber einem Halbleiterkörper verringert sein, bei dem die Barrierschicht(en) frei von der ersten Komponente des Halbleiterkörpers sind oder der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Quantentopfschichten eine Mehrzahl von Barrierschichten mit unterschiedlichem Anteil der ersten Komponente aufweist.

[0027] Gemäß einer Ausgestaltung weist die n-leitende Schicht einen p-seitigen Randbereich auf und die n-seitige Abschlusschicht weist einen n-seitigen Randbereich auf. Der p-seitige Randbereich der n-leitenden Schicht und der n-seitige Randbereich der n-seitigen Abschlusschicht grenzen aneinander an. Insbesondere haben sie eine gemeinsame Grenzfläche. Der p-seitige Randbereich der n-leitenden Schicht und der n-seitige Randbereich der n-seitigen Abschlusschicht sind beispielsweise mit einem n-Dotierstoff dotiert. Beispielsweise handelt es sich bei dem n-Dotierstoff um Silizium. Der n-Dotierstoff liegt in dem p-seitigen Randbereich der n-leitenden Schicht unter dem n-seitigen Randbereich der n-seitigen Abschlusschicht beispielsweise in einer Konzentration von größer oder gleich 5×10^{18} Atome/cm³ vor. Beispielsweise beträgt die Konzentration des n-Dotierstoffs zwischen 5×10^{18} Atome/cm³ und 5×10^{19} Atome/cm³, wobei die Grenzen eingeschlossen sind. Mittels des n-Dotierstoffs ist insbesondere die piezoelektrische Barriere, die sich zwischen der n-leitenden Schicht und der n-seitigen Abschlusschicht ausbildet, mit Vorteil reduziert, so dass die Vorwärtsspannung des Halbleiterkörpers weiter verringert ist.

[0028] Bei einer weiteren Ausgestaltung weist die n-seitige Abschlusschicht einen p-seitigen Randbereich auf, der an die einzelne Quantentopfschicht beziehungsweise an den Schichtstapel angrenzt – insbesondere eine gemeinsame Grenzfläche mit der ersten Quantentopfschicht hat – und der nominell undotiert ist. Auf diese Weise ist die Gefahr verringert, dass der n-Dotierstoff die Emissionseigenschaften und/oder Strahlungsempfangs-Eigenschaften der Quantentopfstruktur beeinträchtigt.

[0029] Darunter, dass der Randbereich „nominell undotiert“ ist, wird im vorliegenden Zusammenhang, verstanden, dass der Randbereich undotiert oder gering n-dotiert ist. „Gering n-dotiert“ bedeutet dabei, dass die Konzentration des n-Dotierstoffs höchstens 0,1-mal so groß, vorzugsweise höchstens 0,05-mal so groß und insbesondere höchstens 0,01-mal so groß ist, wie die Konzentration des n-Dotierstoffs in einem n-dotierten Bereich, insbesondere in dem n-dotierten Randbereich der n-seitigen Abschlusschicht. Beispielsweise ist die Konzentration des n-Dotierstoffs in dem nominell undotierten Bereich kleiner oder gleich 1×10^{18} Atome/cm³, vorzugsweise kleiner oder gleich 5×10^{17} Atome/cm³, insbesondere ist sie kleiner oder gleich 1×10^{17} Atome/cm³.

[0030] Die n-seitige Abschlusschicht hat bei einer Ausgestaltung eine Schichtdicke von größer oder gleich 10 nm, beispielsweise von größer oder gleich 50 nm. Bei einer Weiterbildung hat der p-seitige Randbereich eine Schichtdicke von größer oder gleich 10 nm, vorzugsweise von größer oder gleich 50 nm. Derartige Schichtdicken sind besonders vorteilhaft für die Reduzierung der Vorwärtsspannung.

[0031] Bei einer Weiterbildung hat die n-seitige Abschlusschicht eine Schichtdicke von kleiner oder gleich 120 nm. Bei größeren Schichtdicken der n-seitigen Abschlusschicht ist die Gefahr erhöht, dass bei der Herstellung der Quantentopfstruktur keine zufriedenstellende Kristallqualität erzielt wird.

[0032] Bei einer Ausgestaltung wird die erste Komponente des Halbleitermaterials von In gebildet. Die zweite Komponente des Halbleitermaterials wird beispielsweise von Stickstoff und mindestens einem Material der aus Al und Ga bestehenden Gruppe gebildet. Beispielsweise handelt es sich bei dem Halbleitermaterial um $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$. Die von In gebildete erste Komponente hat beispielsweise in der n-seitigen Abschlusschicht einen Anteil $x \geq 0,05$. Der Anteil x entspricht insbesondere dem Stoffmengenanteil von In oder ist zumindest proportional zu diesem.

[0033] Die n-leitende Schicht ist bei einer Ausgestaltung frei von der ersten Komponente des Halbleitermaterials. Bei einer weiteren Ausgestaltung ist die p-leitende Schicht frei von der ersten Komponente des Halbleitermaterials. Insbesondere bestehen bei diesen Ausgestaltungen die n-leitende Schicht und/oder die p-leitende Schicht aus der zweiten Komponente des Halbleitermaterials.

[0034] Bei einer weiteren Ausgestaltung steigt der Stoffmengenanteil der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in Richtung von der n-leitenden Schicht zu dem Schichtstapel – beziehungsweise, im Fall einer Einfachquantentopfstruktur, zu der einzelnen Quantentopfschicht – hin innerhalb des n-seitigen Randbereichs der n-seitigen Abschlusschicht kontinuierlich oder in mehreren Stufen an. Die Piezobarriere ist auf diese Weise besonders schwach ausgebildet, so dass die erzielbare Vorwärtsspannung besonders gering ist.

[0035] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des optoelektronischen Halbleiterkörpers ergeben sich aus den folgenden, in Zusammenhang mit den Figuren dar gestellten Ausführungsbeispiel.

[0036] Es zeigen:

[0037] [Fig. 1A](#), einen schematischen Querschnitt durch einen optoelektronischen Halbleiterkörper gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

[0038] [Fig. 1B](#), eine schematische Darstellung des Anteils der ersten Komponente des Halbleitermaterials in dem Halbleiterkörper gemäß dem Ausführungsbeispiel der [Fig. 1A](#),

[0039] [Fig. 2A](#), einen schematischen Querschnitt durch einen optoelektronischen Halbleiterkörper gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, und

[0040] [Fig. 2B](#), eine schematische Darstellung des Anteils der ersten Komponente des Halbleitermaterials in dem optoelektronischen Halbleiterkörper gemäß der [Fig. 2B](#), und

[0041] [Fig. 3](#), die Vorwärtsspannung des optoelektronischen Halbleiterkörpers gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel in Abhängigkeit von der Schichtdicke der n-seitigen Abschlusschicht.

[0042] In den Ausführungsbeispielen und Figuren sind gleiche oder ähnliche Elemente sowie ähnlich wirkende Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die Figuren sind nicht als maßstäblich zu betrachten. Vielmehr können einzelne Elemente wie zum Beispiel Schichten übertrieben groß, insbesondere übertrieben dick dargestellt sein, um die Verständlichkeit und/oder die Darstellbarkeit zu erleichtern.

[0043] [Fig. 1A](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen optoelektronischen Halbleiterkörper gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel.

[0044] Der optoelektronische Halbleiterkörper besteht aus dem Halbleitermaterial $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$. Er enthält eine n-leitende Schicht **1**, bei der es sich vorliegend um eine mit Silizium als n-Dotierstoff dotierte GaN-Schicht handelt. Auf der der n-leitenden Schicht **1** gegenüberliegenden Seite weist der Halbleiterkörper eine p-leitende Schicht **5** auf.

[0045] Die p-leitende Schicht **5** hat bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Mehrschichtstruktur. In Richtung von der n-leitenden Schicht **1** weg weist sie zunächst eine undotierte GaN-Schicht **51** auf. An diese grenzt eine p-dotierte AlGaIn-Schicht **52** an. Auf die von der n-leitenden Schicht **1** abgewandte Seite der p-dotierten AlGaIn-Schicht **52** ist eine p-dotierte GaN-Schicht **53** aufgebracht. Die p-dotierte AlGaIn-Schicht **52** und/oder die p-dotierte GaN-Schicht **53** sind beispielsweise mit Magnesium als p-Dotierstoff dotiert. Der Aufbau der n-leitenden Schicht **5** ist jedoch nicht auf diese Mehrschichtstruktur beschränkt.

[0046] Zwischen der n-leitenden Schicht **1** und der p-leitenden Schicht **5** ist eine Mehrfachquantentopfstruktur angeordnet. Diese besteht aus einer n-seitigen Abschlusschicht **2**, einem Schichtstapel **3** und einer p-seitigen Abschlusschicht **4**.

[0047] Die n-seitige Abschlusschicht **2** grenzt an der vom Schichtstapel **3** abgewandten Seite an die n-leitende Schicht **1** an. Die p-seitige Abschlusschicht **4** grenzt an der vom Schichtstapel **3** abgewandten Seite an die n-leitende Schicht **5**, vorliegend an die GaN-Schicht **51**, an.

[0048] Der Schichtstapel **3** besteht vorliegend aus drei Quantentopfschichten **31** und zwei Barrierschichten **32**. Der Schichtstapel kann aber auch eine andere Anzahl n , d. h. $n = 2$ oder $n \geq 4$, von Quantentopfschichten **31** enthalten. Dann enthält er $n - 1$ Barrierschichten **32**.

[0049] In Richtung von der n-leitenden Schicht **1** zur p-leitenden Schicht **5** folgen jeweils eine Quantentopfschicht **31** und eine Barrierschicht **32** abwechselnd aufeinander. Der Schichtstapel **3** wird in Richtung zur n-leitenden Schicht **1** hin und in Richtung zur p-leitenden Schicht **5** hin jeweils von einer Quantentopfschicht **31** abgeschlossen.

[0050] Auf diese Weise ist zwischen jeweils zwei aufeinander folgenden Quantentopfschichten **31** genau eine Barrierschicht **32** angeordnet. Diese Barrierschicht **32** grenzt n-seitig, das heißt in Richtung zur n-leitenden Schicht **1** hin, an die erste der beiden aufeinander folgenden Quantentopfschichten **31** an. P-seitig, das heißt in Richtung zur p-leitenden Schicht **5** hin, grenzt diese Barrierschicht **32** an die zweite der beiden aufeinander folgenden Quantentopfschichten **31** an.

[0051] Die n-seitige Abschlusschicht **2** grenzt p-seitig an eine erste Quantentopfschicht **31** des Schichtstapels **3** an. Die p-seitige Abschlusschicht **4** grenzt n-seitig an eine letzte Quantentopfschicht **31** des Schichtstapels **3** an.

[0052] Es ist auch denkbar, dass der optoelektronische Halbleiterkörper anstelle des Schichtstapels **3** eine einzelne Quantentopfschicht **31** enthält. In diesem Fall hat die einzelne Quantentopfschicht beispielsweise eine Schichtdicke von 5 nm oder mehr, vorzugsweise von 10 nm oder mehr. Enthält der Halbleiterkörper eine einzelne Quantentopfschicht **31**, grenzen insbesondere die n-seitige Abschlusschicht **2** p-seitig und die p-seitige Abschlusschicht **4** n-seitig an die einzelne Quantentopfschicht **31** an. Der Halbleiterkörper enthält in diesem Fall insbesondere keine Barrierschichten **32** zwischen den Abschlusschichten **2**, **4** und der einzelnen Quantentopfschicht **31**.

[0053] [Fig. 1B](#) zeigt den Anteil x der von In gebildeten ersten Komponente des Halbleitermaterials des Halbleiterkörpers in Abhängigkeit von der Position H im Halbleiterkörper. Die Position H gibt dabei insbesondere den Abstand von der n-seitigen Hauptfläche der n-leitenden Schicht **1**, in Richtung von der n-lei-

tenden Schicht **1** zur p-leitenden Schicht **5** gesehen, an. Die [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) sind bezüglich der Position H gleich skaliert, so dass jede Position auf der H -Achse in [Fig. 1B](#) einer waagrechten Ebene in dem Schichtaufbau der [Fig. 1A](#) in gleicher Höhe entspricht.

[0054] Der Anteil x der von In gebildeten ersten Komponente des Halbleitermaterials ist in den Quantentopfschichten **31** größer als in den Barrierschichten **32**, der n-seitigen Abschlusschicht **2** und der p-seitigen Abschlusschicht **4**. Die n-leitende Schicht **1** und die p-leitende Schicht **5** enthalten vorliegend – zumindest nominell – kein Indium.

[0055] Der Anteil x der von In gebildeten ersten Komponente des Halbleitermaterials ist in der n-seitigen Abschlusschicht **2**, in den Barrierschichten **32** und in der p-seitigen Abschlusschicht **4** gleich hoch. Beispielsweise beträgt er $0,05 \leq x \leq 0,25$, beispielsweise $x = 0,05$.

[0056] Die Veränderung des Indium-Anteils x an der Grenzfläche zwischen n-leitender Schicht **1** und n-seitiger Abschlusschicht **2** bewirkt dort eine erste energetische Ladungsträgerbarriere aufgrund von piezoelektrischen Feldern. An der Grenzfläche zwischen der n-seitigen Abschlusschicht **2** und der ersten Quantentopfschicht **31** entsteht auf diese Weise eine zweite energetische Barriere.

[0057] Im Gegensatz zu fachüblichen optoelektronischen Halbleiterkörpern ist mittels der n-seitigen Abschlusschicht der Indium-Anteil bereits n-seitig von der ersten Quantentopfschicht **31** erhöht. Er wird zwischen der n-seitigen Abschlusschicht **32** und der ersten Quantentopfschicht auch nicht wieder abgesenkt. Somit ist zwischen der n-seitigen Abschlusschicht **2** und der ersten Quantentopfschicht **31** des Schichtstapels **3** der Sprung im Indiumanteil x bei dem vorliegenden Halbleiterkörper vergleichsweise gering.

[0058] Die gesamte von den Ladungsträgern von der n-leitenden Schicht **1** bis zur ersten Quantentopfschicht **31** hin zu überwindende Barriere ist aufgrund der räumlichen Trennung zwischen der ersten Barriere an der Grenzfläche zwischen n-leitender Schicht **1** und n-seitiger Abschlusschicht **2** sowie der zweiten Barriere an der Grenzfläche zwischen n-seitiger Abschlusschicht **2** und erster Quantentopfschicht **31** besonders gering. Analog gilt dies auch für die Ladungsträgerbarrieren an der p-Seite des Schichtstapels **3** zwischen der letzten Quantentopfschicht **31**, die an die p-seitige Abschlusschicht **4** angrenzt und der Grenzfläche zwischen der p-seitigen Abschlusschicht **4** und der p-leitenden Schicht **5**.

[0059] Bei einer Variante dieses Ausführungsbeispiels ist der Anteil x in den Barrierschichten **32** grö-

ßer als in der n-seitigen Abschlusschicht **2** und als in der p-seitigen Abschlusschicht **4**. Dies ist in [Fig. 1B](#) mit den gestrichelten Linien **7** angedeutet. Auf diese Weise kann eine besonders vorteilhafte, insbesondere eine besonders homogene, Ladungsträgerverteilung auf die einzelnen Quantentopfschichten **31** erzielt werden. Insbesondere können besonders kleine Piezo-Barrieren zwischen den einzelnen Quantentopfschichten **31** erzielt werden.

[0060] Die Erfinder haben festgestellt, dass die erzielbare Vorwärtsspannung besonders klein ist, wenn der Indium-Anteil x in den Barrierschichten **32** mindestens so groß ist wie in der n-seitigen Abschlusschicht **2** und in der p-leitenden Abschlusschicht **4**, beispielsweise wenn der Indium-Anteil x in der n-seitigen Abschlusschicht **2**, in der p-leitenden Abschlusschicht **4** und in den Barrierschichten **32** gleich groß ist. Zusätzliche Barrierschichten zwischen aufeinander folgenden Quantentopfschichten **31**, die beispielsweise einen geringeren Indium-Gehalt oder kein Indium aufweisen, würden die Vorwärtsspannung des Halbleiterkörpers nachteilig erhöhen.

[0061] Die Erfinder haben festgestellt, dass die Vorwärtsspannung U_f mit zunehmender Dicke d der n-seitigen Abschlusschicht **2** abnimmt. Dies ist für einen optoelektronischen Halbleiterkörper, der elektromagnetische Strahlung mit einem Emissionsmaximum bei einer Wellenlänge von 480 nm emittiert, in [Fig. 3](#) exemplarisch dargestellt.

[0062] Die Vorwärtsspannung U_f nimmt von 2,88 V bei einer Schichtdicke d der n-seitigen Abschlusschicht **2** von 20 nm bis zu einer Vorwärtsspannung U_f von 2,80 V bei einer Schichtdicke d von etwa 115 nm ab. Konventionelle InAlGaN-Halbleiterkörper mit der gleichen Wellenlänge des Emissionsmaximums haben eine Vorwärtsspannung von etwa 3,0 V bis 3,3 V.

[0063] Die Schichtdicke d ist vorzugsweise kleiner oder gleich 120 nm, vorzugsweise kleiner oder gleich 100 nm. Die Erfinder haben festgestellt, dass bei größeren Schichtdicken d der n-seitigen Abschlusschicht **2** die Gefahr steigt, dass die Kristallqualität der Mehrfachquantentopfstruktur beeinträchtigt ist.

[0064] Die [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) zeigen einen schematischen Querschnitt durch einen optoelektronischen Halbleiterkörper gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel und den Indium-Anteil x in Abhängigkeit von der Position H im Halbleiterkörper, analog zur Darstellung des ersten Ausführungsbeispiels in den [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#).

[0065] Der Halbleiterkörper gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel unterscheidet sich dadurch vom Halbleiterkörper des ersten Ausführungsbeispiels,

dass die n-seitige Abschlusschicht **2** einen n-seitigen Randbereich **22** aufweist, der mit einem n-Dotierstoff wie Silizium dotiert ist und einen p-seitigen Randbereich **21** aufweist, der nominell undotiert ist.

[0066] Der nominell undotierte p-seitige Randbereich **21** grenzt an die erste Quantentopfschicht **31** des Schichtstapels **3** an. Der n-seitige Randbereich **22** ist auf der von dem Schichtstapel **3** abgewandten Seite der n-seitigen Abschlusschicht **2** angeordnet und grenzt an einen p-seitigen Randbereich **11** der n-leitenden Schicht **1** an.

[0067] Der p-seitige Randbereich **11** der n-leitenden Schicht **2** ist ebenfalls mit dem n-Dotierstoff, zum Beispiel Silizium, n-dotiert. Vorliegend ist – wie beim ersten Ausführungsbeispiel – die gesamte n-leitende Schicht **1** mit Silizium als n-Dotierstoff dotiert.

[0068] In dem p-seitigen Randbereich **11** der n-leitenden Schicht **1** und dem n-seitigen Randbereich **22** der n-seitigen Abschlusschicht **2** liegt der n-Dotierstoff in einer Konzentration zwischen 5×10^{18} Atome/cm³ und 5×10^{19} Atome/cm³ vor, wobei die Grenzen eingeschlossen sind.

[0069] Die Erfinder haben festgestellt, dass mittels einer n-Dotierung des n-seitigen Randbereichs **22** der n-seitigen Abschlusschicht **2** die energetische Ladungsträgerbarriere an der Grenzfläche zwischen der n-leitenden Schicht **1** und der n-seitigen Abschlusschicht **2**, das heißt vorliegend an der Grenzfläche zwischen dem p-seitigen Randbereich **11** der n-leitenden Schicht **1** und dem n-seitigen Randbereich **22** der n-seitigen Abschlusschicht **2** mit Vorteil weiter verringert werden kann. Zum Beispiel bei einem optoelektronischen Halbleiterkörper, bei dem die n-seitige Abschlusschicht **2** eine Schichtdicke von $d = 20$ nm hat, und der ein Emissionsmaximum bei einer Wellenlänge von 480 nm hat – entsprechend einer Energielücke von 2,58 Elektronenvolt – kann gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel die Vorwärtsspannung U_f von 2,88 V auf beispielsweise 2,83 V verringert werden.

[0070] Bei einer Variante dieses Ausführungsbeispiels steigt innerhalb des n-dotierten, n-seitigen Randbereichs **22** der n-seitigen Abschlusschicht **2** der Indium-Anteil x in Richtung von der n-leitenden Schicht **1** zum Schichtstapel **3** hin kontinuierlich an, wie in [Fig. 2B](#) durch die gepunktete Linie **6** angedeutet. Auf diese Weise kann die energetische Ladungsträgerbarriere weiter verringert werden.

[0071] Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst sie jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination in den Ausführungsbeispielen oder Patentansprüchen nicht ex-

plizit angegeben ist.

Patentansprüche

1. Optoelektronischer Halbleiterkörper, der ein Halbleitermaterial enthält, das aus einer ersten Komponente und einer von der ersten Komponente verschiedenen zweiten Komponente zusammengesetzt ist, und der eine zwischen einer n-leitenden Schicht (1) und einer p-leitenden Schicht (5) angeordnete Mehrfachquantentopfstruktur aufweist, die Mehrfachquantentopfstruktur bestehend aus

- einem Schichtstapel (3), der aus einer Mehrzahl von Quantentopfschichten (31) und mindestens einer Barrierschicht (32) besteht, wobei zwischen jeweils zwei aufeinander folgenden Quantentopfschichten (31) eine Barrierschicht (32) angeordnet ist, die an beide Quantentopfschichten (31) angrenzt;
- einer n-seitigen Abschlusschicht (2), die an den Schichtstapel (3) und die n-leitende Schicht (1) angrenzt; und
- einer p-seitigen Abschlusschicht (4), die zwischen dem Schichtstapel (3) und der p-leitenden Schicht (4) angeordnet ist und an den Schichtstapel (3) angrenzt, wobei der Stoffmengenanteil (x) der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial
- in jeder der Quantentopfschichten (31) größer ist als in der n-seitigen Abschlusschicht (2), in der mindestens einen Barrierschicht (32) und in der p-seitigen Abschlusschicht (4); und
- in der n-seitigen Abschlusschicht (2) größer ist als in der n-leitenden Schicht (1) und in der p-seitigen Abschlusschicht (4) größer ist als in der p-leitenden Schicht (5).

2. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach Anspruch 1, wobei der Stoffmengenanteil (x) der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der mindestens einen Barrierschicht (32) mindestens so groß ist wie in der n-seitigen Abschlusschicht (2)

3. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stoffmengenanteil (x) der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der mindestens einen Barrierschicht (32) mindestens so groß ist wie in der p-seitigen Abschlusschicht (4).

4. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stoffmengenanteil (x) der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial in der n-seitigen Abschlusschicht (2), in der mindestens einen Barrierschicht (32) und in der p-seitigen Abschlusschicht (4) gleich groß ist.

5. Optoelektronischer Halbleiterkörper, der ein Halbleitermaterial enthält, das aus einer ersten Komponente und einer von der ersten Komponente verschiedenen zweiten Komponente zusammengesetzt

ist, und der eine zwischen einer n-leitenden Schicht (1) und einer p-leitenden Schicht (5) angeordnete Einfachquantentopfstruktur aufweist, die Einfachquantentopfstruktur bestehend aus

- einer einzelnen Quantentopfschicht (31);
 - einer n-seitigen Abschlusschicht (2), die an die Quantentopfschicht (31) und die n-leitende Schicht (1) angrenzt; und
 - einer p-seitigen Abschlusschicht (4), die zwischen der Quantentopfschicht (3) und der p-leitenden Schicht (4) angeordnet ist und an die Quantentopfschicht (31) angrenzt,
- wobei der Stoffmengenanteil (x) der ersten Komponente an dem Halbleitermaterial
- der Quantentopfschicht (31) größer ist als in der n-seitigen Abschlusschicht (2) und in der p-seitigen Abschlusschicht (4); und
 - in der n-seitigen Abschlusschicht (2) größer ist als in der n-leitenden Schicht (1) und in der p-seitigen Abschlusschicht (4) größer ist als in der p-leitenden Schicht (5).

6. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die n-leitende Schicht (1) einen p-seitigen Randbereich (11) aufweist, der an einen n-seitigen Randbereich (22) der n-seitigen Abschlusschicht (2) angrenzt, und der p-seitige Randbereich (11) der n-leitenden Schicht (1) und der n-seitige Randbereich (22) der n-seitigen Abschlusschicht (2) mit einem n-Dotierstoff dotiert sind.

7. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die n-seitige Abschlusschicht (2) einen p-seitigen Randbereich (21) aufweist, der an den Schichtstapel (3) beziehungsweise an die einzelne Quantentopfschicht (31) angrenzt und der nominell undotiert ist.

8. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die n-seitige Abschlusschicht (2) eine Schichtdicke (d) von größer oder gleich 10 nm hat.

9. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach Anspruch 7, wobei der p-seitige Randbereich (21) der n-seitigen Abschlusschicht (2) eine Schichtdicke von größer oder gleich 10 nm hat.

10. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei die n-seitige Abschlusschicht (2) eine Schichtdicke von größer oder gleich 50 nm hat.

11. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Komponente des Halbleitermaterials von In gebildet wird und die zweite Komponente des Halbleitermaterials Stickstoff und mindestens ein Material der Gruppe, die aus Al und Ga besteht, enthält.

12. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach Anspruch 11, wobei das Halbleitermaterial $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ist, mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$, und die von In gebildete erste Komponente in der n-seitigen Abschlusschicht einen Anteil $x \leq 0,05$ hat.

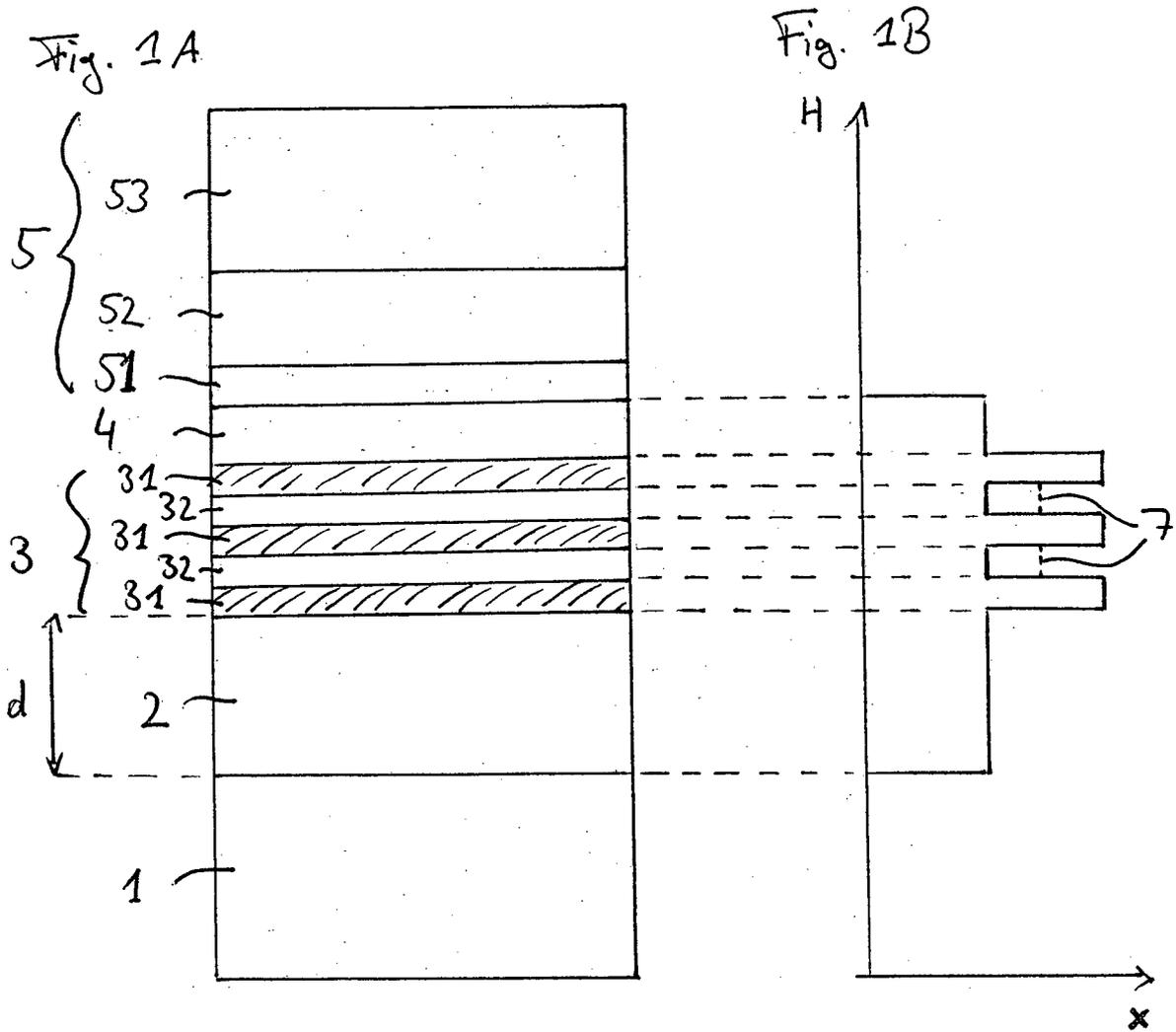
13. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die n-leitende Schicht (1) frei von der ersten Komponente des Halbleitermaterials ist.

14. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach Anspruch 6 oder einem der Ansprüche 7 bis 13 unter Rückbezug auf Anspruch 6, wobei der n-Dotierstoff in dem p-seitigen Randbereich (11) der n-leitenden Schicht (1) und in dem n-seitigen Randbereich (22) der n-seitigen Abschlusschicht (2) in einer Konzentration von größer oder gleich 5×10^{18} Atome/cm³ vorliegt.

15. Optoelektronischer Halbleiterkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stoffmengenanteil (x) der ersten Komponente innerhalb der n-seitigen Abschlusschicht (2), insbesondere innerhalb des n-seitigen Randbereichs (22) der n-seitigen Abschlusschicht (2), in Richtung von der n-leitenden Schicht (1) weg kontinuierlich oder in mehreren Stufen ansteigt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



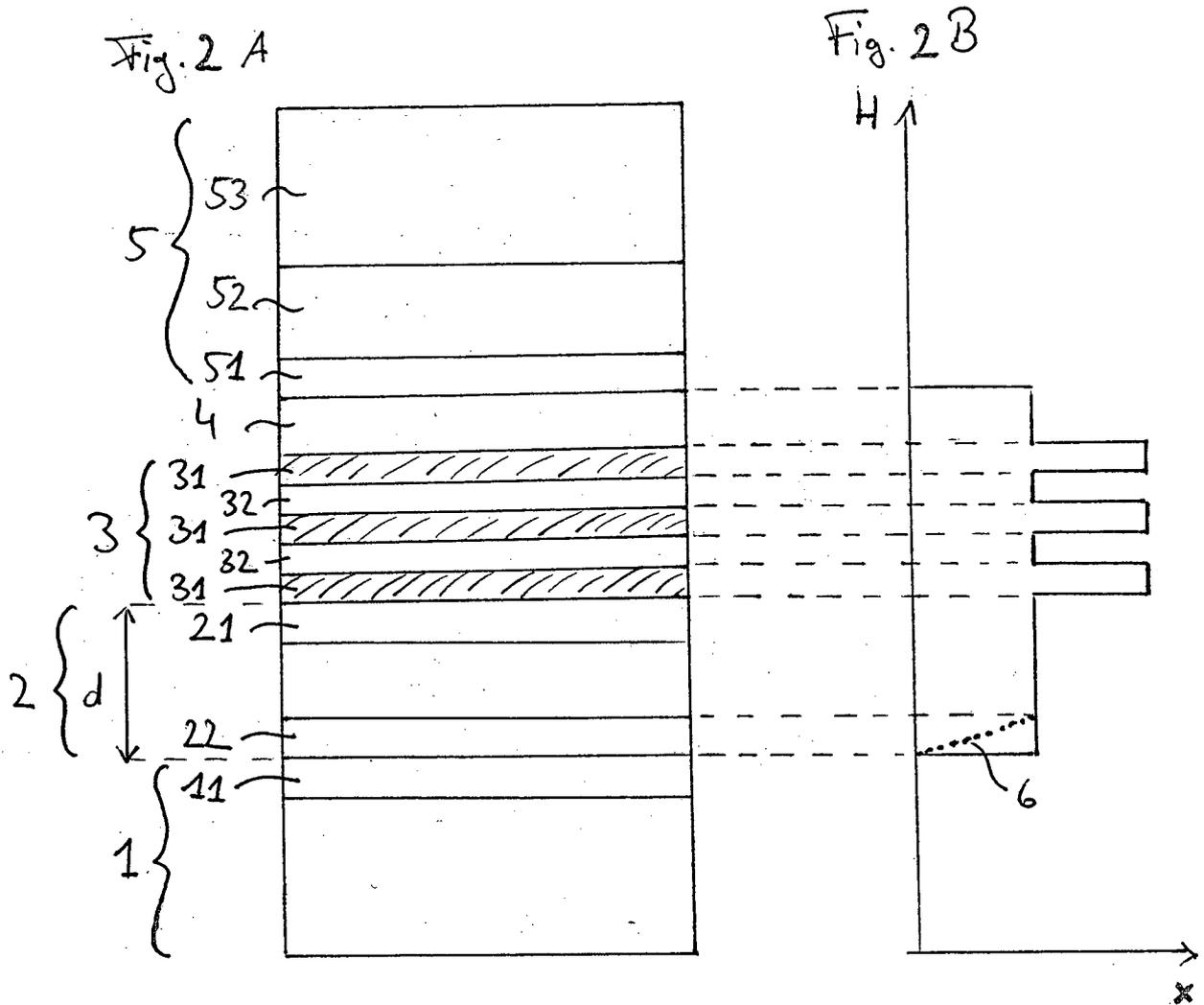


Fig. 3

