



(10) **DE 10 2015 112 944 A1** 2017.02.09

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 112 944.2**

(22) Anmeldetag: **06.08.2015**

(43) Offenlegungstag: **09.02.2017**

(51) Int Cl.: **H01L 33/32 (2010.01)**

(71) Anmelder:

**OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93055
Regensburg, DE**

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München,
DE**

(72) Erfinder:

**Meyer, Tobias, Dr., 93346 Ihrlersstein, DE; Leirer,
Christian, Dr., 86316 Friedberg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2013 103 602 A1
DE 10 2014 115 599 A1
US 2002 / 0 008 243 A1
US 2011 / 0 233 514 A1
US 2015 / 0 060 762 A1**

**SCHOLZ, F. [et al.]: Growth and doping of
semipolar GaN grown on patterned sapphire
substrates. In: Journal of Crystal Growth, 405,
2014, 97 - 101.**

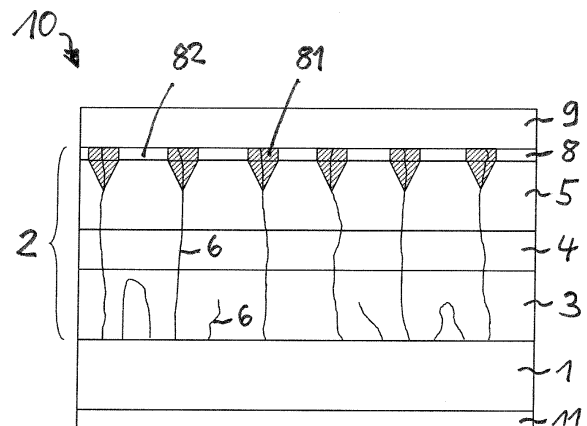
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements und Nitrid-Halbleiterbauelement**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements (10) angegeben, umfassend die Schritte:

- epitaktisches Aufwachsen einer Nitrid-Halbleiterschichtenfolge (2) auf einem Aufwachssubstrat (1), wobei an einer Grenzfläche (5A) einer Halbleiterschicht (5) der Halbleiterschichtenfolge (2) Vertiefungen (7) ausgebildet werden,
- Aufwachsen einer p-dotierten Kontaktschicht (8) über der Halbleiterschicht (5), wobei die p-dotierte Kontaktschicht (8) die Vertiefungen zumindest teilweise auffüllt, und wobei die p-dotierte Kontaktschicht (8) in ersten Bereichen (81), die zumindest teilweise in den Vertiefungen (7) angeordnet sind, eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweist als in zweiten Bereichen (82), die außerhalb der Vertiefungen (7) angeordnet sind, und
- Aufbringen einer Anschlussschicht (9), die ein Metall, eine Metalllegierung oder ein transparentes leitfähiges Oxid aufweist, auf die p-dotierte Kontaktschicht (8). Weiterhin wird ein mit dem Verfahren herstellbares Nitrid-Halbleiterbauelement (10) angegeben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements und ein Nitrid-Halbleiterbauelement, insbesondere ein optoelektronisches Nitrid-Halbleiterbauelement wie beispielsweise eine Leuchtdiode oder einen Halbleiterlaser.

[0002] Die Halbleiterschichtenfolge eines Nitrid-Halbleiterbauelements wird in der Regel auf einem Aufwachssubstrat aufgewachsen, das eine Gitterfehlpassung zum Nitrid-Halbleitermaterial aufweist, d.h. die Gitterkonstanten des Aufwachssubstrats und des Nitrid-Halbleitermaterials stimmen nicht überein. Ein solches Aufwachssubstrat ist beispielsweise Saphir. Aufgrund der unterschiedlichen Gitterkonstanten entstehen im Halbleitermaterial mechanische Spannungen, die zu Kristalldefekten wie zum Beispiel Versetzungen führen können. Ein Typ von Versetzungen im Halbleitermaterial sind Fadenversetzungen (englisch: threading dislocations), von denen ein Teil in Wachstumsrichtung der Halbleiterschichten propagiert und somit im Wesentlichen senkrecht zum Aufwachssubstrat verläuft.

[0003] In der Halbleiterschichtenfolge enthaltene Versetzungen können die Effizienz eines Halbleiterbauelements vermindern. Beispielsweise können bei einem strahlungsemitierenden optoelektronischen Bauelement im Bereich von Versetzungen vermehrt nicht-strahlende Rekombinationen von Ladungsträgern auftreten, wodurch sich die Strahlungsausbeute vermindert.

[0004] Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements und ein Nitrid-Halbleiterbauelement anzugeben, das sich durch eine verbesserte Effizienz, insbesondere eine erhöhte Strahlungsausbeute, auszeichnet.

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements und durch ein Nitrid-Halbleiterbauelement gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

[0006] Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird bei dem Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements eine Nitrid-Halbleiterschichtenfolge auf einem Aufwachssubstrat epitaktisch aufgewachsen, insbesondere durch metallorganische Gasphasenepitaxie (MOVPE).

[0007] „Nitrid-Halbleiterschichtenfolge“ bedeutet im vorliegenden Zusammenhang, dass die Halbleiterschichtenfolge oder zumindest eine Schicht davon ein III-Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial, vorzugsweise $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ umfasst, wobei $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$. Dabei muss dieses Materi-

al nicht zwingend eine mathematisch exakte Zusammensetzung nach obiger Formel aufweisen. Vielmehr kann es einen oder mehrere Dotierstoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen, die die charakteristischen physikalischen Eigenschaften des $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ -Materials im Wesentlichen nicht ändern. Der Einfachheit halber beinhaltet obige Formel jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters (In, Al, Ga, N), auch wenn diese teilweise durch geringe Mengen weiterer Stoffe ersetzt sein können.

[0008] Die Nitrid-Halbleiterschichtenfolge wird insbesondere auf einem Aufwachssubstrat aufgewachsen, dessen Gitterkonstante sich von der Gitterkonstante des Halbleitermaterials unterscheidet. Beispielsweise kann das Aufwachssubstrat ein Saphirsubstrat sein. Alternativ kann das Aufwachssubstrat zum Beispiel Si oder SiC aufweisen.

[0009] Aufgrund einer Gitterfehlpassung zwischen dem Aufwachssubstrat und der Nitrid-Halbleiterschichtenfolge können in der Halbleiterschichtenfolge Kristalldefekte entstehen. Insbesondere können sich in der Halbleiterschichtenfolge Fadenversetzungen ausbilden.

[0010] Es kann auch GaN, AlN oder ein anderes III-N-Material als Aufwachssubstrat verwendet werden. Die aufgebrachte Halbleiterschichtenfolge kann darauf gitterangepasst (d.h. mit gleicher Gitterkonstante) wachsen, so dass keine oder nur wenige Fadenversetzungen entstehen. Allerdings können in den Substraten bereits Fadenversetzungen existieren, die sich dann durch die darauf aufgebrachten Halbleiterschichten fortsetzen.

[0011] Ein Teil der Fadenversetzungen propagiert typischerweise in vertikaler Richtung in der Halbleiterschichtenfolge, d.h. im Wesentlichen parallel zur Wachstumsrichtung. An den Stellen einer Grenzfläche einer Halbleiterschicht der Halbleiterschichtenfolge, an denen Fadenversetzungen auf die Grenzfläche treffen, können sich Vertiefungen ausbilden, die im Wesentlichen V-förmig sind. "V-förmig" bezieht sich hierbei auf das Aussehen der Vertiefungen im Querschnitt. Die V-förmigen Vertiefungen können insbesondere die Form von in Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge invertierten Pyramiden aufweisen, die zum Beispiel eine hexagonale Grundfläche aufweisen.

[0012] Die Vertiefungen können insbesondere dadurch entstehen, dass das Halbleitermaterial in der unmittelbaren Umgebung der Fadenversetzungen nicht wie üblicherweise in der c-Richtung, d.h. in der (0001)-Kristallrichtung, sondern schräg zur c-Richtung wächst. Die V-förmigen Vertiefungen können insbesondere Seitenfacetten aufweisen, die durch eine (1-101)-Kristallfläche oder eine (11-22)-Kristallfläche gebildet sind.

[0013] Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird bei dem Verfahren in einem weiteren Schritt eine p-dotierte Kontaktschicht über der Halbleiterschicht aufgewachsen, welche die Vertiefungen aufweist. Die p-dotierte Kontaktschicht ist wie die darunter angeordneten Schichten der Halbleiterschichtenfolge vorteilhaft aus einem Nitrid-Halbleitermaterial gebildet, insbesondere aus $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$. Die p-dotierte Kontaktschicht weist mindestens einen p-Dotierstoff, vorzugsweise Magnesium, auf. Die p-dotierte Kontaktschicht kann insbesondere die äußerste Halbleiterschicht an der p-Seite des Nitrid-Halbleiterbauelements sein. Es ist auch möglich, dass die p-dotierte Kontaktschicht mehrere Teilschichten aufweist, die sich z.B. in der Materialzusammensetzung, dem Dotierstoff und/oder der Dotierstoffkonzentration unterscheiden.

[0014] Die p-dotierte Kontaktschicht füllt die Vertiefungen zumindest teilweise oder vorzugsweise ganz auf. Nach dem Aufwachsen weist die p-dotierte Kontaktschicht vorteilhaft in ersten Bereichen, die zumindest teilweise in den Vertiefungen angeordnet sind, eine geringere Dotierstoffkonzentration auf als in zweiten Bereichen, die außerhalb der Vertiefungen angeordnet sind.

[0015] Die unterschiedliche Dotierstoffkonzentration in den ersten Bereichen und den zweiten Bereichen kann insbesondere dadurch entstehen, dass der p-Dotierstoff wie zum Beispiel Magnesium in den ersten Bereichen, in denen das Nitrid-Halbleitermaterial in den Vertiefungen mit schräg zur Wachstumsrichtung verlaufenden Kristallflächen aufwächst, in einer geringeren Konzentration eingebaut wird als in den zweiten Bereichen, in denen das Nitrid-Halbleitermaterial in der c-Richtung wächst. Auf diese Weise wird erreicht, dass das Nitrid-Halbleitermaterial in den ersten Bereichen, an denen Fadenversetzungen in der Halbleiterschichtenfolge verlaufen, eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweist als in den zweiten Bereichen.

[0016] Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird in einem weiteren Verfahrensschritt eine Anschlussschicht, die bevorzugt ein Metall, eine Metalllegierung oder ein transparentes leitfähiges Oxid aufweist, auf die p-dotierte Kontaktschicht aufgebracht. Die Anschlussschicht grenzt vorzugsweise direkt an die p-dotierte Kontaktschicht an. Die Anschlussschicht dient zur elektrischen Kontaktierung der p-Seite des Nitrid-Halbleiterbauelements.

[0017] Dadurch, dass die p-dotierte Kontaktschicht in den ersten Bereichen eine geringere Dotierstoffkonzentration als in den zweiten Bereichen aufweist, ist der Kontaktwiderstand zwischen der Anschlussschicht und der p-dotierten Kontaktschicht in lateraler Richtung nicht konstant, sondern in den ersten Berei-

chen größer als in den zweiten Bereichen. Auf diese Weise wird vorteilhaft erreicht, dass in die Bereiche der Halbleiterschichtenfolge, welche an die Vertiefungen angrenzen, weniger Strom eingepreßt wird als in Bereiche, welche nicht an die Vertiefungen angrenzen. Der Stromfluss durch das Nitrid-Halbleiterbauelement ist daher vorteilhaft in den Bereichen, in denen Fadenversetzungen vorhanden sind, verringert. Vielmehr konzentriert sich der der Stromfluss verstärkt auf die Bereiche, in denen keine Fadenversetzungen angeordnet sind. Auf diese Weise wird vorteilhaft die Effizienz des Nitrid-Halbleiterbauelements erhöht.

[0018] Gemäß zumindest einer vorteilhaften Ausgestaltung variiert die Dotierstoffkonzentration in der p-dotierten Kontaktschicht an einer Grenzfläche zur Anschlussschicht in lateraler Richtung, das heißt in einer parallel zur Schichtebene verlaufenden Richtung. Insbesondere ist die Dotierstoffkonzentration in Bereichen der p-dotierten Kontaktschicht, die an der Grenzfläche zur Anschlussschicht über den Vertiefungen angeordnet sind, geringer als in Bereichen, die in lateraler Richtung neben den Vertiefungen angeordnet sind. Mit anderen Worten setzt sich die verminderte Dotierstoffkonzentration in den ersten Bereichen der p-dotierten Halbleiterschicht in vertikaler Richtung gesehen bis an die Grenzfläche zwischen der p-dotierten Kontaktschicht und der Anschlussschicht fort.

[0019] Dies kann zum einen dadurch erreicht werden, dass das Wachstum der p-dotierten Kontaktschicht abgebrochen wird, bevor sich an einer Wachstumsoberfläche eine in lateraler Richtung konstante Dotierstoffkonzentration einstellt. Nach einem Überwachsen der Vertiefungen durch die p-dotierte Kontaktschicht erfolgt das Wachstum oberhalb der Vertiefungen zunehmend in c-Richtung, so dass sich der Dotierstoffeinbau in die p-dotierte Kontaktschicht mit zunehmender Wachstumsrate in lateraler Richtung angleicht. Damit an der Grenzfläche zwischen der p-dotierten Kontaktschicht und der Anschlussschicht noch eine in lateraler Richtung variiierende Dotierstoffkonzentration vorhanden ist, wird das Wachstum der p-dotierten Kontaktschicht abgebrochen, bevor sich der Dotierstoffeinbau in lateraler Richtung angleicht. Für das Verhältnis einer Dicke a der p-Kontaktschicht zur gemittelten lateralen Ausdehnung b der Vertiefungen gilt vorteilhaft $a \leq 2 \cdot b$, bevorzugt $a \leq 1,5 \cdot b$, besonders bevorzugt $a \leq 0,5 \cdot b$. Da die lateralen Ausdehnungen der Vertiefungen variieren können, ist b die über alle Vertiefungen gemittelte laterale Ausdehnung. Vorzugsweise beträgt die Dicke a der p-dotierten Kontaktschicht nicht mehr als 300 nm. Auf diese Weise wird der Stromfluss durch die von Versetzungen beeinflussten Bereich der Halbleiterschichtenfolge effektiv vermindert.

[0020] Eine alternative Möglichkeit zur Erzielung einer in lateraler Richtung variierenden Dotierstoffkonzentration an der Grenzfläche zwischen der p-dotierten Halbleiterschicht und der Anschlussschicht besteht darin, dass die p-dotierte Kontaktschicht nach dem Aufwachsen teilweise wieder abgetragen wird. Die p-dotierte Kontaktschicht kann insbesondere durch einen Ätzprozess teilweise wieder abgetragen werden. Die p-dotierte Kontaktschicht wird insbesondere soweit abgetragen, dass die Dotierstoffkonzentration in der p-dotierten Kontaktschicht an der Oberfläche in lateraler Richtung derart variiert, dass sie in Bereichen über den Vertiefungen geringer ist als in Bereichen, die in lateraler Richtung neben den Vertiefungen angeordnet sind.

[0021] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird vor dem Aufbringen der p-dotierten Kontaktschicht ein Ätzprozess durchgeführt, mit dem die Vertiefungen erzeugt und/oder vergrößert werden. Es ist möglich, dass an der Grenzfläche der Halbleiterschicht nach dem epitaktischen Aufwachsen bereits Vertiefungen vorhanden sind, an denen Fadenversetzungen enden. Diese zumindest teilweise an den Enden von Fadenversetzungen durch einen Selbstorganisationsprozess entstehenden Vertiefungen sind aber möglicherweise nicht groß genug, um eine ausreichende laterale Variation der Dotierstoffkonzentration in der p-dotierten Kontaktschicht zu bewirken. In diesem Fall ist es vorteilhaft, die Vertiefungen durch einen Ätzprozess zu vergrößern.

[0022] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung weisen die Vertiefungen an der Grenzfläche zwischen der Halbleiterschicht und der p-dotierten Kontaktschicht zumindest teilweise eine Breite von mindestens 10 nm, bevorzugt zwischen 15 und 500 nm, besonders bevorzugt zwischen 20 nm und 300 nm, auf. Die Tiefe der Vertiefungen beträgt vorzugsweise zumindest teilweise mindestens 10 nm, bevorzugt zwischen 15 nm und 500 nm, besonders bevorzugt zwischen 20 nm und 500 nm.

[0023] Gemäß einer Ausgestaltung beträgt die Dotierstoffkonzentration in den zweiten Bereichen der p-dotierten Kontaktschicht mindestens $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, bevorzugt mindestens $1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ und besonders bevorzugt mindestens $2 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Die Dotierstoffkonzentration ist in den zweiten Bereichen bevorzugt mindestens 1,5 Mal so groß wie in den ersten Bereichen. Auf diese Weise wird eine effiziente Verminderung des Stromflusses durch die Bereiche der Halbleiterschichtenfolge erzielt, in welchen Fadenversetzungen angeordnet sind. Weiterhin ist die Dotierstoffkonzentration in den ersten Bereichen vorteilhaft zumindest teilweise kleiner als $1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, bevorzugt kleiner als $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

[0024] Gemäß zumindest einer Ausgestaltung weist die p-dotierte Kontaktschicht eine erste Teilschicht, welche die ersten und zweiten Bereiche enthält, und eine zweite Teilschicht auf, wobei die zweite Teilschicht eine höhere Dotierstoffkonzentration als die erste Teilschicht in den ersten Bereichen und den zweiten Bereichen aufweist. Die zweite Teilschicht mit der höheren Dotierstoffkonzentration weist in diesem Fall vorteilhaft eine Dicke $c \leq 50 \text{ nm}$, bevorzugt $c \leq 30 \text{ nm}$ und besonders bevorzugt $c \leq 15 \text{ nm}$ auf.

[0025] Diese Ausgestaltung macht sie die Erkenntnis zu Nutze, dass für den Kontaktwiderstand zwischen der p-dotierten Kontaktschicht und einer nachfolgenden Anschlussschicht, die zum Beispiel ein Metall oder ein leitfähiges Oxid aufweist, nicht nur die Dotierung an der dazwischenliegenden Grenzfläche eine Rolle spielt, sondern die Dotierung innerhalb eines bestimmten Bereichs der p-dotierten Kontaktschicht. Dieser Bereich kann bis zu ca. 30 nm dick sein. Der Kontaktwiderstand zwischen der p-dotierten Kontaktschicht und der nachfolgenden Anschlussschicht wird insbesondere von den obersten 30 nm der p-dotierten Kontaktschicht **8** bestimmt. Solange die Dicke c der zweiten Teilschicht **83** nicht zu hoch ist, d.h. $c \leq 50 \text{ nm}$, bevorzugt $c \leq 30 \text{ nm}$, besonders bevorzugt $c \leq 15 \text{ nm}$, ist im Bereich über den Vertiefungen der Kontaktwiderstand höher als in anderen Bereichen, die zwischen den Vertiefungen liegen. Der Stromfluss im Bereich der Vertiefungen wird auf diese Weise verringert.

[0026] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird vor dem Aufwachsen der p-dotierten Kontaktschicht eine weitere Halbleiterschicht auf die Halbleiterschicht, welche die Vertiefungen aufweist, aufgewachsen, wobei die weitere Halbleiterschicht eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweist als die zweiten Bereiche der p-dotierten Kontaktschicht. Vorzugsweise ist die Dotierstoffkonzentration in der weiteren Halbleiterschicht kleiner als $1 \cdot 10^{20} / \text{cm}^3$, bevorzugt kleiner als $8 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$, besonders bevorzugt kleiner als $6 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$. Analog zur p-dotierten Kontaktschicht, die erste Bereiche mit geringer Dotierung im Bereich der Vertiefungen und zweite Bereiche mit höherer Dotierung aufweist, kann die weitere Halbleiterschicht erste Bereiche mit geringerer Dotierung im Bereich der Vertiefungen und zweite Bereiche mit höherer Dotierung aufweisen.

[0027] Diese Ausgestaltung macht sich unter anderem die Erkenntnis zu Nutze, dass die p-Leitfähigkeit im Nitrid-Verbindungshalbleitersystem mit steigendem Dotierstoffgehalt nicht monoton ansteigt, sondern ab ca. $4 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$ wieder sinkt. Beispielsweise kann eine Schicht mit einer Dotierstoffkonzentration $1 \cdot 10^{20} / \text{cm}^3$ eine schlechtere p-Leitfähigkeit aufweisen als eine Schicht mit einer Dotierstoffkonzentration $4 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$. Dieser Zusammenhang gilt allerdings nicht für den Kontaktwiderstand. Der Kontaktwider-

stand sinkt mit zunehmender Dotierstoffkonzentration, auch wenn die Dotierstoffkonzentration mehr als $4 \cdot 10^{19}/\text{cm}^3$ beträgt. Dies hat zur Folge, dass die hochdotierten zweiten Bereiche der p-dotierten Kontaktschicht einen geringen Kontaktwiderstand, aber eine schlechte Leitfähigkeit haben können, wohingegen die ersten Bereiche mit der niedrigeren Dotierung einen hohen Kontaktwiderstand, aber eine gute Leitfähigkeit haben können. Die zweiten Bereiche haben eine höhere Dotierung als die ersten Bereiche, so dass in den zweiten Bereichen der Kontaktwiderstand R geringer ist und bevorzugt dort der Strom fließt. Die zweiten Bereiche der weiteren Halbleiterschicht haben eine höhere Dotierung als die ersten Bereiche der weiteren Halbleiterschicht und dadurch eine höhere Leitfähigkeit, so dass der Strom bevorzugt in den zweiten Teilbereichen der weiteren Halbleiterschicht fließt. Auf diese Weise wird vorteilhaft der Stromfluss im Bereich der Vertiefungen, also im Bereich von Fadenversetzungen, verringert.

[0028] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung weist die weitere Halbleiterschicht, welche zwischen der Halbleiterschicht mit den Vertiefungen und der p-dotierten Kontaktschicht angeordnet ist, eine Dicke d auf, welche im Vergleich zur mittleren Tiefe e der Vertiefungen folgenden Zusammenhang aufweist: $d > 0,1 \cdot e$, bevorzugt $d > 0,25 \cdot e$, besonders bevorzugt $d > 0,5 \cdot e$. Durch diesen geometrischen Zusammenhang zwischen der vergleichsweise gut leitfähigen weiteren Halbleiterschicht und der Tiefe der Vertiefungen ergibt sich, dass der Stromfluss verstärkt von den zweiten Teilbereichen der p-dotierten Kontaktschicht zur weiteren Halbleiterschicht fließt, anstatt von den zweiten Teilbereichen zu den ersten Teilbereichen der p-dotierten Kontaktschicht zu fließen. Somit werden Ladungsträger von den Versetzungen fern gehalten und Verluste reduziert.

[0029] Das mit dem Verfahren herstellbare Nitrid-Halbleiterbauelement umfasst eine Nitrid-Halbleiterschichtenfolge, wobei an einer Grenzfläche einer Halbleiterschicht der Halbleiterschichtenfolge Vertiefungen ausgebildet sind. Weiterhin umfasst das Nitrid-Halbleiterbauelement vorteilhaft eine p-dotierte Kontaktschicht, welche der Halbleiterschicht, in der die Vertiefungen ausgebildet sind, nachfolgt und die Vertiefungen zumindest teilweise auffüllt. Die p-dotierte Kontaktschicht weist in ersten Bereichen, die zumindest teilweise in den Vertiefungen angeordnet sind, eine geringere Dotierstoffkonzentration auf als in zweiten Bereichen, die außerhalb der Vertiefungen angeordnet sind. Weiterhin umfasst das Nitrid-Halbleiterbauelement eine Anschlussschicht, welche ein Metall, eine Metalllegierung oder ein transparentes leitfähiges Oxid aufweist oder daraus besteht, wobei die Anschlussschicht der p-dotierten Kontaktschicht nachfolgt und vorzugsweise direkt an die p-dotierte Kontaktschicht angrenzt.

[0030] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Nitrid-Halbleiterbauelements ergeben sich aus der Beschreibung des Verfahrens und umgekehrt.

[0031] Das Nitrid-Halbleiterbauelement kann insbesondere ein optoelektronisches Halbleiterbauelement, beispielsweise eine Leuchtdiode oder ein Halbleiterlaser, sein. Die Nitrid-Halbleiterschichtenfolge weist vorzugsweise einen n-Typ Halbleiterbereich, einen p-Typ Halbleiterbereich und eine zwischen dem n-Typ Halbleiterbereich und dem p-Typ Halbleiterbereich angeordnete aktive Schicht auf. Die aktive Schicht kann insbesondere eine strahlungsemitierende aktive Schicht sein. Die aktive Schicht kann zum Beispiel als pn-Übergang, als Doppelheterostruktur, als Einfach-Quantentopfstruktur oder Mehrfach-Quantentopfstruktur ausgebildet sein. Die Bezeichnung Quantentopfstruktur umfasst dabei jegliche Struktur, bei der Ladungsträger durch Einschluss (Confinement) eine Quantisierung ihrer Energiezustände erfahren. Insbesondere beinhaltet die Bezeichnung Quantentopfstruktur keine Angabe über die Dimensionalität der Quantisierung. Sie umfasst somit unter anderem Quantentröge, Quantendrähte und Quantenpunkte und jede Kombination dieser Strukturen.

[0032] Aufgrund der verminderten Strominjektion in die Bereiche der Halbleiterschichtenfolge, welche Fadenversetzungen aufweisen, werden vorteilhaft nicht-strahlende Rekombinationen von Ladungsträgern im Bereich der Fadenversetzungen vermindert. Auf diese Weise wird die Strahlungsausbeute und somit die Effizienz des optoelektronischen Bauelements erhöht.

[0033] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den **Fig. 1 bis Fig. 13** näher erläutert.

[0034] Es zeigen:

[0035] **Fig. 1, Fig. 2 und Fig. 6** eine schematische Darstellung von Zwischenschritten bei einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens,

[0036] **Fig. 3** eine schematische perspektivische Darstellung einer Vertiefung,

[0037] **Fig. 4a bis Fig. 4c** eine schematische Darstellung von Zwischenschritten beim Aufbringen der p-dotierten Kontaktschicht bei einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens,

[0038] **Fig. 5a bis Fig. 5c** eine schematische Darstellung von Zwischenschritten beim Aufbringen der p-dotierten Kontaktschicht bei einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens,

[0039] Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Ausführungsbeispiel eines Nitridhalbleiter-Bauelements,

[0040] Fig. 8 bis Fig. 10 jeweils eine schematische Darstellung eines Ausschnitts der p-dotierten Kontaktschicht bei weiteren Ausführungsbeispielen,

[0041] Fig. 11 eine schematische grafische Darstellung des Kontaktwiderstands R und der Leitfähigkeit σ in Abhängigkeit von der Dotierstoffkonzentration bei einem Ausführungsbeispiel,

[0042] Fig. 12 eine schematische Darstellung eines Ausschnitts der p-dotierten Kontaktschicht bei einem weiteren Ausführungsbeispiel,

[0043] Fig. 13 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Nitridhalbleiter-Bauelements.

[0044] Gleiche oder gleich wirkende Bestandteile sind in den Figuren jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Bestandteile sowie die Größenverhältnisse der Bestandteile untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen.

[0045] Bei dem in Fig. 1 dargestellten Zwischenschritt eines Ausführungsbeispiels des Verfahrens zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements ist eine Nitrid-Halbleiterschichtenfolge **2** auf ein Aufwachssubstrat **1** aufgewachsen worden. Die Halbleiterschichtenfolge **2** wird insbesondere epitaktisch, beispielsweise mittels MOVPE, auf das Aufwachssubstrat **1** aufgewachsen. Das Aufwachssubstrat **1** weist zum Beispiel Saphir, GaN, Si oder SiC auf.

[0046] Die Halbleiterschichtenfolge **2** enthält einen n-Typ Halbleiterbereich mit mindestens einer n-dotierten Halbleiterschicht **3**, einen p-Typ Halbleiterbereich mit mindestens einer p-dotierten Halbleiterschicht **5** und eine zwischen dem n-Typ Halbleiterbereich und dem p-Typ Halbleiterbereich angeordnete aktive Schicht **4**. Der n-Typ Halbleiterbereich und der p-Typ Halbleiterbereich können jeweils eine oder mehrere Halbleiterschichten umfassen. In dem n-Typ Halbleiterbereich und dem p-Typ Halbleiterbereich können weiterhin auch undotierte Schichten enthalten sein. Die Halbleiterschichten der Halbleiterschichtenfolge **2** weisen ein Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial, insbesondere $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$ auf.

[0047] Die aktive Schicht **4** kann insbesondere eine strahlungsemitternde Schicht sein. Insbesondere kann die aktive Schicht **4** einen pn-Übergang oder vorzugsweise eine Einfach- oder Mehrfachquantentopfstruktur umfassen. Beispielsweise ist das Nitrid-Halbleiterbauelement **10** ein optoelektronisches Bauelement wie zum Beispiel eine LED oder ein Halblei-

terlaser. Alternativ ist es auch möglich, dass die aktive Schicht **4** eine strahlungsempfangende Schicht und das optoelektronische Halbleiterbauelement ein Detektor ist.

[0048] Aufgrund einer Gitterfehlpassung zwischen dem Aufwachsubstrat **1** und der Halbleiterschichtenfolge **2** können beim epitaktischen Wachstum in der Halbleiterschichtenfolge **2** Kristalldefekte auftreten, die insbesondere durch mechanische Spannungen bedingt sind. Ein Beispiel solcher Kristalldefekte sind Fadenversetzungen **6**, von denen ein Teil sich, wie in Fig. 1 schematisch dargestellt, im Wesentlichen parallel zur Wachstumsrichtung, d.h. senkrecht zum Aufwachsubstrat **1**, in der Halbleiterschichtenfolge **2** ausbreiten. Ein weiterer Teil der Fadenversetzungen durchdringt nur einen Teil der Halbleiterschichtenfolge **2**, insbesondere wird von diesem Teil größtenteils die aktive Schicht **4** nicht durchdrungen. Dort, wo die Fadenversetzungen **6** auf eine Grenzfläche **5A** einer Halbleiterschicht **5** treffen, wächst das Halbleitermaterial nicht parallel zur Wachstumsrichtung, sondern bildet dort schräg zur Wachstumsrichtung verlaufende Kristallfacetten **71** aus. Auf diese Weise können an der Grenzfläche **5A** der Halbleiterschicht **5** an den Endpunkten der Fadenversetzungen **6** Vertiefungen **7** entstehen, die insbesondere einen V-förmigen Querschnitt aufweisen können. Die Seitenfacetten **71** der Vertiefungen **7** sind zum Beispiel (1-101)-Kristallflächen oder (11-22)-Kristallflächen.

[0049] Anders als in Fig. 1 vereinfacht dargestellt können die Vertiefungen an der Grenzfläche **5A** der Halbleiterschicht **5** unterschiedliche Größen aufweisen, die beispielsweise statistisch verteilt sind. Vorzugsweise weist zumindest ein Teil der Vertiefungen **7** eine laterale Ausdehnung von mindestens 10 nm, bevorzugt zwischen 15 und 500 nm, besonders bevorzugt zwischen 20 nm und 300 nm, auf. Die Tiefe der Vertiefungen beträgt vorzugsweise mindestens 10 nm, bevorzugt zwischen 15 und 500 nm, besonders bevorzugt zwischen 20 nm und 500 nm.

[0050] Bei einer Ausgestaltung des Verfahrens können die Vertiefungen **7**, wie in Fig. 2 dargestellt, vergrößert werden. Hierzu kann insbesondere ein Ätzprozess eingesetzt werden.

[0051] In Fig. 3 ist eine der Vertiefungen **7** in einer perspektivischen Ansicht schematisch dargestellt. Die im Wesentlichen V-förmigen Vertiefungen **7** können insbesondere die Form einer invertierten Pyramide aufweisen. Die an der Grenzfläche **5A** der Halbleiterschichtenfolge angeordnete Grundfläche der Pyramide kann insbesondere sechseckig sein, wobei die Seitenfacetten **71** typischerweise durch (1-101)-Kristallflächen oder (11-22)-Kristallflächen gebildet werden.

[0052] Bei dem Verfahren wird auf die Grenzfläche **5A** der Halbleiterschicht **5** mit den V-förmigen Vertiefungen **7** eine p-dotierte Kontaktschicht aufgebracht, welche wie die darunter liegenden Schichten der Halbleiterschichtenfolge **2** vorzugsweise ein Nitrid-Halbleitermaterial, insbesondere $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$, aufweist. Die p-dotierte Kontaktschicht kann insbesondere mit Magnesium dotiert sein.

[0053] In den Fig. 4a) bis c) ist das Aufbringen der p-dotierten Kontaktschicht **8** für einen Ausschnitt der Grenzfläche **5A**, der eine V-förmige Vertiefung **7** aufweist, schematisch dargestellt. Wie in Fig. 4a) gezeigt, ist die Vertiefung **7** an einer Fadenversetzung **6** ausgebildet. Fig. 4b) zeigt das Anfangsstadium des Wachstums einer p-dotierten Kontaktschicht **8**, die auf der Grenzfläche **5A** der Halbleiterschicht **5** aufgewachsen wird. Die Vertiefung **7** wird beim Aufwachsen der p-dotierten Kontaktschicht **8** zumindest teilweise aufgefüllt.

[0054] Hierbei entstehen im Bereich der Vertiefung **7** erste Bereiche **81** der p-dotierten Halbleiterschicht **8**, die eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweisen als zweite Bereiche **82**, welche in lateraler Richtung neben den Vertiefungen **7** angeordnet sind. Es hat sich insbesondere herausgestellt, dass beim Wachstum des Nitrid-Halbleitermaterials auf den schrägen Seitenfacetten **71** der Vertiefungen **7** eine geringere Dotierstoffkonzentration in das Halbleitermaterial eingebaut wird als in den zweiten Bereichen **82**, in denen das Halbleitermaterial eine senkrecht zur Wachstumsrichtung verlaufende Oberfläche aufweist.

[0055] Die Vertiefungen **7** können beim Aufwachsen der p-dotierten Kontaktschicht **8** teilweise, wie in Fig. 4b) dargestellt, oder vorzugsweise ganz, wie in Fig. 4c) dargestellt, aufgefüllt werden. Vorzugsweise wird das Wachstum der p-dotierten Kontaktschicht **8** abgebrochen, wenn die Vertiefungen **7** gerade ganz mit den geringer dotierten ersten Bereichen **81** aufgefüllt sind.

[0056] Nach dem Auffüllen der Vertiefungen **7** durch das Material der p-dotierten Kontaktschicht **8** entsteht wieder eine ebene Wachstumsoberfläche, so dass sich die Dotierstoffkonzentration bei einem weiter fortgesetzten Wachstum der p-dotierten Kontaktschicht **8** in lateraler Richtung wieder angleicht. Wie in Fig. 5a) dargestellt, können sich zum Beispiel die geringer dotierten ersten Bereiche **81** in Wachstumsrichtung zunehmend verkleinern. Wenn das Wachstum der p-dotierten Kontaktschicht **8** weiter fortgesetzt wird, wie es in Fig. 5b) dargestellt ist, stellt sich in der p-dotierten Kontaktschicht **8** mit zunehmendem Abstand von den Vertiefungen eine zunehmend gleichmäßigere Dotierstoffkonzentration ein, bis sie in lateraler Richtung im Wesentlichen konstant ist.

[0057] Um an der Oberfläche der p-dotierten Kontaktschicht **8** eine in lateraler Richtung variierende Dotierstoffkonzentration zu erzielen, wird die p-dotierte Kontaktschicht **8** bei einer Ausgestaltung zumindest teilweise wieder entfernt, wie es in Fig. 5c) dargestellt ist. Hierzu wird beispielsweise ein Ätzprozess durchgeführt. Beispielsweise wird die p-dotierte Kontaktschicht **8** soweit durch einen Ätzprozess gedünnt, dass an der Oberfläche die niedriger dotierten ersten Bereiche **81** freiliegen.

[0058] In Fig. 6 ist ein Zwischenschritt bei der Herstellung des Nitrid-Halbleiterbauelements dargestellt, bei dem die p-dotierte Kontaktschicht **8** auf die Grenzfläche der Halbleiterschicht **5** aufgewachsen wurde. Die p-dotierte Kontaktschicht **8** weist in ersten Bereichen **81**, welche in den Vertiefungen angeordnet sind oder in vertikaler Richtung an die Vertiefungen angrenzen, eine geringere Dotierstoffkonzentration auf als in zweiten Bereichen **82**, die außerhalb der Vertiefungen, insbesondere in lateraler Richtung versetzt zu den Vertiefungen, angeordnet sind. Wie im Zusammenhang mit Fig. 5 erläutert wurde, kann dies dadurch erreicht werden, dass das Wachstum der p-dotierten Kontaktschicht **8** abgebrochen wird, bevor sich in lateraler Richtung eine konstante Dotierstoffkonzentration einstellt, oder dass die p-dotierte Kontaktschicht **8** nach dem Aufwachsen wieder soweit abgetragen wird, dass die ersten Bereiche **81** mit geringerer Dotierstoffkonzentration an der Oberfläche der p-dotierten Kontaktschicht **8** freiliegen.

[0059] Bei dem in Fig. 7 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel eines Nitrid-Halbleiterbauelements **10** ist in einem weiteren Schritt eine Anschlussschicht **9** auf die p-dotierte Kontaktschicht **8** aufgebracht worden. Die Anschlussschicht **9** dient zur Herstellung eines elektrischen Kontakts, um einen elektrischen Strom in die Halbleiterschichtenfolge **2** zu leiten. Eine zweite Anschlussschicht **11** kann beispielsweise an der Rückseite des Aufwachssubstrats **1** angeordnet sein, wenn das Aufwachssubstrat **1** ein elektrisch leitfähiges Substrat ist. Im Fall eines elektrisch isolierenden Aufwachssubstrats des Nitrid-Halbleiterbauelements **10** kann beispielsweise ein Teil der Halbleiterschichtenfolge **2** bis in den n-dotierten Halbleiterbereich **3** abgetragen sein und dort die zweite Anschlussschicht positioniert sein (nicht dargestellt).

[0060] Die Anschlussschicht **9** ist vorzugsweise eine Schicht aus einem transparenten leitfähigen Oxid, beispielsweise ITO oder ZnO. Eine Anschlussschicht **9** aus einem transparenten leitfähigen Oxid ist insbesondere vorteilhaft, wenn das Nitrid-Halbleiterbauelement ein optoelektronisches Bauelement wie zum Beispiel eine LED ist, bei der die Strahlungsauskopplung durch die Anschlussschicht **9** erfolgt. Die Anschlussschicht **9** kann in diesem Fall vorteilhaft auf die gesamte Anschlussschicht **9** aufgebracht werden, wodurch eine gute Stromaufweitung ohne wesentli-

che Absorptionsverluste in der Anschlussschicht **9** erfolgt.

[0061] Alternativ kann es sich bei der Anschlussschicht **9** um eine Schicht aus einem Metall oder einer Metalllegierung handeln, die in diesem Fall vorzugsweise nur bereichsweise auf die Anschlussschicht **9** aufgebracht wird. Im Fall einer Anschlussschicht **9** aus einem Metall oder einer Metalllegierung kann diese beispielsweise Aluminium oder Silber aufweisen oder daraus bestehen.

[0062] Die an die Fadenversetzungen **6** angrenzenden ersten Bereiche **81** der p-dotierten Kontaktschicht **8** weisen eine geringere Dotierstoffkonzentration auf als die zweiten Bereiche **82**, welche in lateraler Richtung von den Fadenversetzungen **6** beabstandet sind. Dadurch wird erreicht, dass in die Bereiche der Halbleiterschichtenfolge **2**, welche die Fadenversetzungen **6** aufweisen, weniger Strom injiziert wird, als in die übrigen Bereiche der Halbleiterschichtenfolge **2**. Auf diese Weise werden nicht-strahlende Rekombinationen von Ladungsträgern im Bereich der Fadenversetzungen **6** vermindert und auf diese Weise die Effizienz des Nitrid-Halbleiterbauelements **10** erhöht.

[0063] In Fig. 8 ist ein Ausschnitt der p-dotierten Kontaktschicht **8**, der an eine der Vertiefungen angrenzt, dargestellt. Die Vertiefungen, welche von den geringer dotierten Bereichen **81** der Kontaktschicht **8** aufgefüllt werden, weisen im Mittel eine Breite b auf. Für das Verhältnis einer Dicke a der p-dotierten Kontaktschicht **8** zur gemittelten Breite b der Vertiefungen gilt vorteilhaft $a \leq 2 \cdot b$, bevorzugt $a \leq 1,5 \cdot b$, besonders bevorzugt $a \leq 0,5 \cdot b$. Vorzugsweise ist die p-dotierte Kontaktschicht nicht mehr als 300 nm dick.

[0064] Bei einer weiteren möglichen Ausgestaltung, die in Fig. 9 dargestellt ist, weist die p-dotierte Kontaktschicht **8** eine erste Teilschicht auf, welche die ersten Bereiche **81** und die zweiten Bereiche **82** umfasst. In der ersten Teilschicht variiert die Dotierstoffkonzentration in lateraler Richtung wie bei den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen und ist insbesondere in den ersten Bereichen **81** geringer als in den zweiten Bereichen **82**. An die erste Teilschicht **81**, **82** grenzt an einer von der Halbleiterschicht **5** abgewandten Seite eine zweite Teilschicht **83** an, die eine Dotierstoffkonzentration aufweist, die höher ist als die Dotierstoffkonzentration in den ersten Bereichen **81** und zweiten Bereichen **82** der ersten Teilschicht. Die zweite Teilschicht **83** mit der höheren Dotierstoffkonzentration weist in diesem Fall vorteilhaft eine Dicke $c \leq 50$ nm, bevorzugt $c \leq 30$ nm und besonders bevorzugt $c \leq 15$ nm auf.

[0065] Für den Kontaktwiderstand zwischen der p-dotierten Kontaktschicht **8** und einer nachfolgenden Anschlussschicht, die zum Beispiel ein Metall oder

ein leitfähiges Oxid aufweist, spielt nicht nur die Dotierung an der dazwischenliegenden Grenzfläche eine Rolle, sondern die Dotierung innerhalb eines bestimmten Bereichs der p-Kontaktschicht. Dieser Bereich kann bis zu ca. 30 nm dick sein. Anders ausgedrückt wird der Kontaktwiderstand zwischen der p-dotierten Kontaktschicht **8** und der nachfolgenden Anschlussschicht von den letzten 30 nm der p-Kontaktschicht **8** mitbestimmt. Solange die Dicke c der zweiten Teilschicht **83** nicht zu hoch ist, d.h. $c \leq 50$ nm, bevorzugt $c \leq 30$ nm, besonders bevorzugt $c \leq 15$ nm, ist im Bereich der Vertiefungen der Kontaktwiderstand höher als in anderen Bereichen, die zwischen den Vertiefungen liegen. Der Stromfluss im Bereich der Vertiefungen wird also verringert.

[0066] In Fig. 10 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt, bei dem zwischen der Halbleiterschicht **5**, in der die Vertiefungen ausgebildet sind, und der p-dotierten Kontaktschicht **8** eine weitere Halbleiterschicht **50** angeordnet ist. Die weitere Halbleiterschicht **50** ist vorteilhaft ebenfalls p-dotiert und weist eine geringere Dotierstoffkonzentration auf als die p-dotierte Kontaktschicht **8**. Die weitere Halbleiterschicht **50** weist insbesondere eine niedrigere Dotierstoffkonzentration als die zweiten Teilbereiche **82** der p-dotierten Kontaktschicht **8** auf. Vorzugsweise ist die Dotierstoffkonzentration in der weiteren Halbleiterschicht **50** kleiner als $1 \cdot 10^{20}/\text{cm}^3$, bevorzugt kleiner als $8 \cdot 10^{19}/\text{cm}^3$, besonders bevorzugt kleiner als $6 \cdot 10^{19}/\text{cm}^3$. Analog zur p-dotierten Kontaktschicht **8**, die erste Bereiche **81** mit geringer Dotierung im Bereich der Vertiefungen und zweite Bereiche **82** mit höherer Dotierung aufweist, hat auch die weitere Halbleiterschicht **50** erste Bereiche **51** mit geringer Dotierung im Bereich der Vertiefungen und zweite Bereiche **52** mit höherer Dotierung.

[0067] Dieses Ausführungsbeispiel macht sich unter anderem die Erkenntnis zu Nutze, dass die p-Leitfähigkeit im Nitrid-Verbindungshalbleitersystem mit steigendem Dotierstoffgehalt nicht monoton ansteigt, sondern ab ca. $4 \cdot 10^{19}/\text{cm}^3$ wieder sinkt. Beispielsweise kann eine Schicht mit einer Dotierstoffkonzentration $1 \cdot 10^{20}/\text{cm}^3$ eine schlechtere p-Leitfähigkeit aufweisen als eine Schicht mit einer Dotierstoffkonzentration $4 \cdot 10^{19}/\text{cm}^3$. Dieser Zusammenhang gilt allerdings nicht für den Kontaktwiderstand. Der Kontaktwiderstand sinkt mit zunehmender Dotierstoffkonzentration, auch wenn die Dotierstoffkonzentration mehr als $4 \cdot 10^{19}/\text{cm}^3$ beträgt. Dies hat zur Folge, dass die hochdotierten zweiten Teilbereiche **82** der p-dotierten Kontaktschicht einen geringen Kontaktwiderstand, aber eine schlechte Leitfähigkeit haben können, wohingegen die Teilbereiche **81** mit der niedrigeren Dotierung einen hohen Kontaktwiderstand, aber eine gute Leitfähigkeit haben können.

[0068] In Fig. 11 ist der Zusammenhang zwischen der p-Dotierstoffkonzentration c_{Mg} von zum Beispiel

Magnesium, der Leitfähigkeit σ und dem Kontaktwiderstand R (in willkürlichen Einheiten) schematisch grafisch dargestellt. Eingezeichnet sind beispielhaft auch die Leitfähigkeit der ersten Bereiche **51** und zweiten Bereiche **52** der weiteren Halbleiterschicht **50**, sowie der Kontaktwiderstand der ersten Bereiche **81** und zweiten Bereiche **82** der p-dotierten Kontaktschicht **8**. Die zweiten Teilbereiche **82** haben eine höhere Dotierung als die ersten Teilbereiche **81**, so dass in den zweiten Teilbereichen **82** der Kontaktwiderstand R geringer ist und bevorzugt dort der Strom fließt. Die zweiten Teilbereiche **52** der weiteren Halbleiterschicht **50** haben eine höhere Dotierung als die ersten Teilbereiche **51** und dadurch eine höhere Leitfähigkeit σ , so dass der Strom bevorzugt in den zweiten Teilbereichen **52** fließt, wie es in **Fig. 10** schematisch durch Pfeile angedeutet ist. Auf diese Weise wird vorteilhaft der Stromfluss im Bereich der Vertiefungen, also im Bereich von Fadenversetzungen, verringert.

[0069] Ein weiteres, dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 10** ähnliches Ausführungsbeispiel ist in **Fig. 12** dargestellt. Wie bei dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 10** ist eine weitere Halbleiterschicht **50** unterhalb der p-dotierten Kontaktschicht **8** angeordnet, wobei die weitere Halbleiterschicht **50** eine niedrigere Dotierstoffkonzentration als die zweiten Teilbereiche **82** der p-dotierten Kontaktschicht **8** hat. Allerdings weist die weitere Halbleiterschicht **50** bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel nicht notwendigerweise verschiedene Teilbereiche mit unterschiedlicher Dotierung auf.

[0070] Die weitere Halbleiterschicht **50** weist vorzugsweise eine Dicke d auf, welche im Vergleich zur mittleren Tiefe e der Vertiefungen folgenden Zusammenhang aufweist: $d > 0,1 \cdot e$, bevorzugt $d > 0,25 \cdot e$, besonders bevorzugt $d > 0,5 \cdot e$. Durch diesen geometrischen Zusammenhang zwischen der vergleichsweise gut leitfähigen weiteren Halbleiterschicht **50** und der Tiefe der Vertiefungen ergibt sich, dass der Stromfluss verstärkt von den zweiten Teilbereichen **82** zur weiteren Halbleiterschicht **50** fließt, anstatt von den zweiten Teilbereichen **82** zu den ersten Teilbereichen **81** der p-dotierten Kontaktschicht **8**. Somit werden Ladungsträger von der Versetzung fern gehalten und Verluste reduziert.

[0071] Bei dem in **Fig. 13** dargestellten weiteren Ausführungsbeispiel eines Nitrid-Halbleiterbauelements **10** handelt es sich um eine sogenannte Dünnschicht-LED, bei der die Halbleiterschichtenfolge **2** von ihrem ursprünglichen Aufwachssubstrat abgelöst ist. Das ursprüngliche Aufwachssubstrat ist von dem n-dotierten Bereich **3** abgelöst, der bei diesem Ausführungsbeispiel an der Strahlungsausstrittsfläche **12** des optoelektronischen Nitrid-Halbleiterbauelements **10** angeordnet ist. Auf der dem ursprünglichen Aufwachssubstrat gegenüberliegenden

Seite ist das Halbleiterbauelement beispielsweise mit einer Verbindungsschicht **13** wie zum Beispiel einer Lotschicht auf einen Träger **14** aufgebracht. Von der aktiven Schicht **4** aus gesehen ist also die p-dotierte Kontaktschicht **8** dem Träger **14** zugewandt. Der Träger **14** kann beispielsweise Silizium, Germanium oder eine Keramik aufweisen.

[0072] Wie bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel enthält die p-dotierte Kontaktschicht **8** erste Bereiche **81**, welche an Fadenversetzungen **6** in der Halbleiterschichtenfolge **2** angrenzen und eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweisen als die zweiten Bereiche **82**. Die p-dotierte Kontaktschicht **8** mit den ersten Bereichen **81** und den zweiten Bereichen **82** grenzt an die Anschlussschicht **9** an, die vorteilhaft ein Metall oder eine Metalllegierung enthält. Die Ausbildung der unterschiedlich dotierten Bereiche **81**, **82** der p-dotierten Kontaktschicht **8** und die daraus resultierenden Vorteile entsprechen dem ersten Ausführungsbeispiel werden deshalb nicht nochmals erläutert.

[0073] Die Anschlussschicht **9** kann zusätzlich zu ihrer Funktion als elektrische Kontaktschicht insbesondere als Spiegelschicht zur Reflexion der von der aktiven Schicht **4** in Richtung des Trägers **14** emittierten Strahlung zur Strahlungsausstrittsfläche **12** dienen. Die reflektierende Anschlussschicht **9** kann insbesondere Silber oder Aluminium aufweisen oder daraus bestehen. Zur Herstellung eines zweiten elektrischen Anschlusses kann zum Beispiel auf den n-dotierten Halbleiterbereich **3** eine zweite Anschlussschicht **11** aufgebracht sein. Alternativ zu der hier beispielhaft dargestellten Anordnung der zweiten Anschlussschicht **11** an der Strahlungsausstrittsfläche **12** kann der n-dotierte Halbleiterbereich **3** zum Beispiel mittels Durchkontaktierungen, die von der Seite des Trägers **14** aus in den n-dotierten Halbleiterbereich **3** hinein geführt sind, kontaktiert werden.

[0074] Zwischen der reflektierenden Anschlussschicht **9** und der Lotschicht **13**, mit der das Halbleiterbauelement mit dem Träger **14** verbunden ist, können eine oder mehrere weitere Schichten angeordnet sein (nicht dargestellt). Insbesondere kann es sich dabei um eine Haftschrift, eine Benetzungsschicht und/oder eine Barrierschicht, die eine Diffusion des Materials der Lotschicht **13** in die reflektierende Anschlussschicht **9** verhindern soll, handeln.

[0075] Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in

den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleiterbauelements (**10**), umfassend die Schritte:
 - epitaktisches Aufwachsen einer Nitrid-Halbleiterschichtenfolge (**2**) auf einem Aufwachssubstrat (**1**), wobei an einer Grenzfläche (**5A**) einer Halbleiterschicht (**5**) der Halbleiterschichtenfolge (**2**) Vertiefungen (**7**) ausgebildet werden,
 - Aufwachsen einer p-dotierten Kontaktschicht (**8**) über der Halbleiterschicht (**5**), wobei die p-dotierte Kontaktschicht (**8**) die Vertiefungen zumindest teilweise auffüllt, und wobei die p-dotierte Kontaktschicht (**8**) in ersten Bereichen (**81**), die zumindest teilweise in den Vertiefungen (**7**) angeordnet sind, eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweist als in zweiten Bereichen (**82**), die außerhalb der Vertiefungen (**7**) angeordnet sind, und
 - Aufbringen einer Anschlussschicht (**9**), die ein Metall, eine Metalllegierung oder ein transparentes leitfähiges Oxid aufweist, auf die p-dotierte Kontaktschicht (**8**).
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Dotierstoffkonzentration in der p-dotierten Kontaktschicht (**8**) an einer Grenzfläche zur Anschlussschicht (**9**) in lateraler Richtung variiert.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Aufwachsen der p-dotierten Kontaktschicht (**8**) abgebrochen wird, bevor sich an einer Wachstumsoberfläche eine in lateraler Richtung konstante Dotierstoffkonzentration einstellt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die p-dotierte Kontaktschicht (**8**) eine Dicke a und die Vertiefungen (**7**) im Mittel eine laterale Ausdehnung b aufweisen, und wobei gilt: $a \leq 2 \cdot b$.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Teil der p-dotierten Kontaktschicht (**8**) nach dem Aufwachsen zumindest teilweise wieder abgetragen wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei vor dem Aufwachsen der p-dotierten Kontaktschicht (**8**) ein Ätzprozess durchgeführt wird, um die Vertiefungen (**7**) an der Grenzfläche (**5A**) der Halbleiterschicht (**5**) zu erzeugen und/oder zu vergrößern.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen (**7**) zumindest teilweise mindestens 10 nm breit sind.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen (**7**) zumindest teilweise mindestens 10 nm tief sind.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dotierstoffkonzentration in den zweiten Bereichen (**82**) mindestens $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ beträgt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dotierstoffkonzentration in den zweiten Bereichen (**82**) zumindest teilweise 1,5 Mal so groß ist wie in den ersten Bereichen (**81**).
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die p-dotierte Kontaktschicht (**8**) eine erste Teilschicht, welche die ersten (**81**) und zweiten Bereiche (**82**) enthält, und eine zweite Teilschicht (**83**) aufweist, wobei die zweite Teilschicht (**83**) eine höhere Dotierstoffkonzentration als die ersten Bereiche (**81**) und die zweiten Bereiche (**82**) aufweist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei vor dem Aufwachsen der p-dotierten Kontaktschicht (**8**) eine weitere Halbleiterschicht (**50**) auf die Halbleiterschicht (**5**) aufgewachsen wird, und wobei die weitere Halbleiterschicht (**50**) eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweist als die zweiten Bereiche (**82**) der p-dotierten Kontaktschicht (**8**).
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die weitere Halbleiterschicht (**50**) eine Dicke d aufweist und die Vertiefungen (**7**) im Mittel eine Tiefe e aufweisen, und wobei gilt: $d > 0,1 \cdot e$.
14. Nitrid-Halbleiterbauelement, umfassend
 - eine Nitrid-Halbleiterschichtenfolge (**2**), wobei an einer Grenzfläche (**5A**) einer Halbleiterschicht (**5**) der Halbleiterschichtenfolge (**2**) Vertiefungen (**7**) ausgebildet sind,
 - eine p-dotierte Kontaktschicht (**8**), welche die Vertiefungen (**7**) zumindest teilweise auffüllt, wobei die p-dotierte Kontaktschicht (**8**) in ersten Bereichen (**81**), die zumindest teilweise in den Vertiefungen (**7**) angeordnet sind, eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweist als in zweiten Bereichen (**82**), die außerhalb der Vertiefungen (**7**) angeordnet sind, und
 - eine Anschlussschicht (**9**) aus einem Metall, einer Metalllegierung oder einem transparenten leitfähigen Oxid, die der p-dotierten Kontaktschicht (**8**) nachfolgt.
15. Nitrid-Halbleiterbauelement nach Anspruch 14, wobei die Dotierstoffkonzentration in der p-dotierten Kontaktschicht (**8**) an einer Grenzfläche zur Anschlussschicht (**9**) in lateraler Richtung variiert.
16. Nitrid-Halbleiterbauelement nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Dotierstoffkonzentration in den

zweiten Bereichen (**82**) zumindest teilweise 1,5 Mal so groß ist wie in den ersten Bereichen (**81**).

17. Nitrid-Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 14 bis 16,
wobei das Nitrid-Halbleiterbauelement (**10**) ein optoelektronisches Bauelement ist,
wobei die Halbleiterschichtenfolge (**2**) einen n-Typ Halbleiterbereich, einen p-Typ Halbleiterbereich und eine zwischen dem n-Typ Halbleiterbereich und dem p-Typ Halbleiterbereich angeordnete aktive Schicht (**4**) enthält, und wobei der p-Typ Halbleiterbereich mindestens die Halbleiterschicht (**5**) und die p-dotierte Kontaktschicht (**8**) umfasst.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

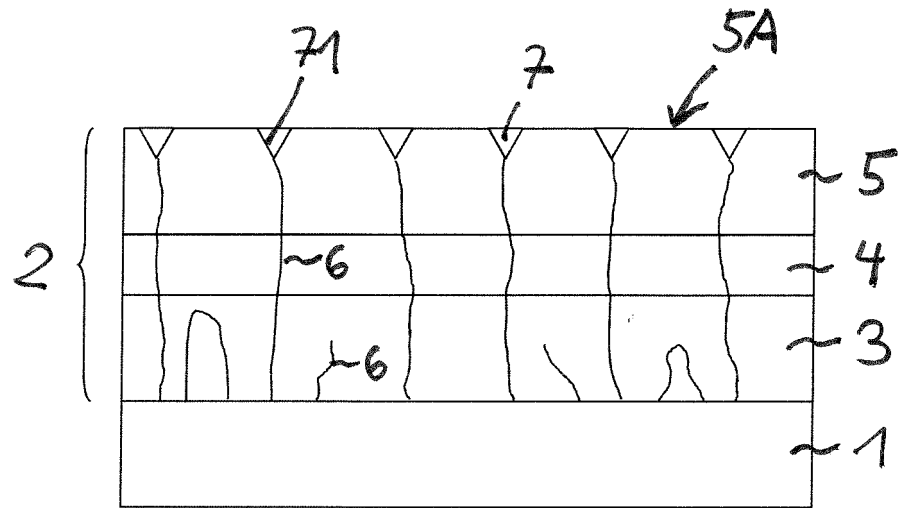


Fig. 1

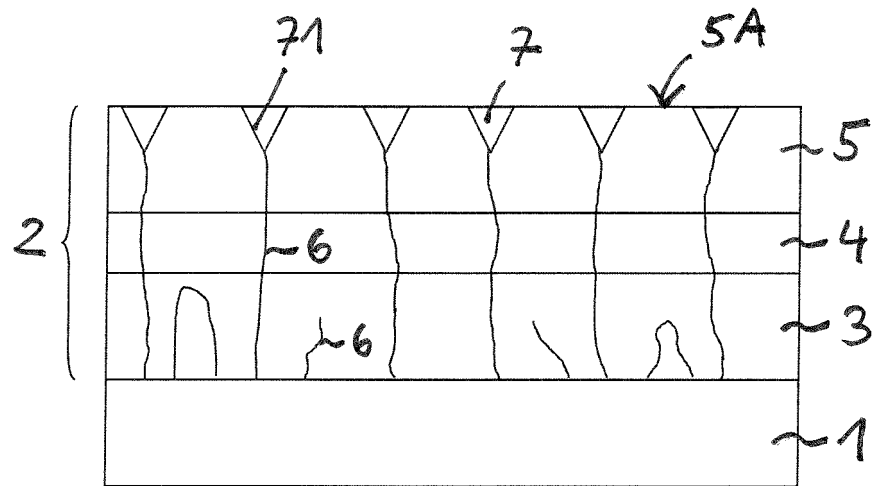


Fig. 2

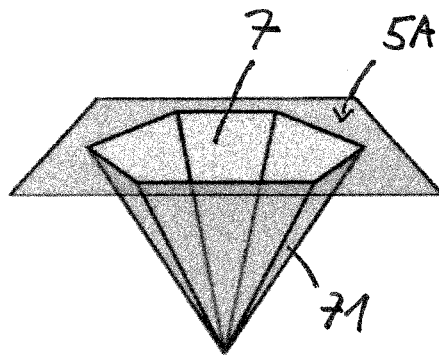


Fig. 3

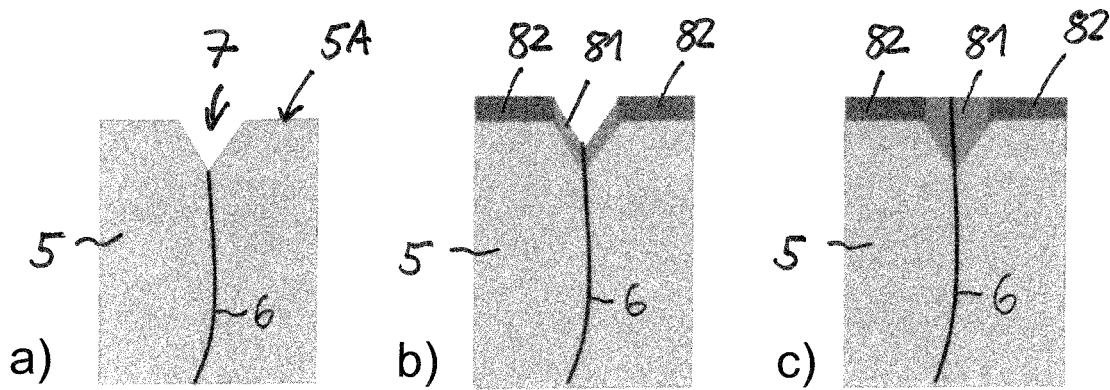


Fig. 4

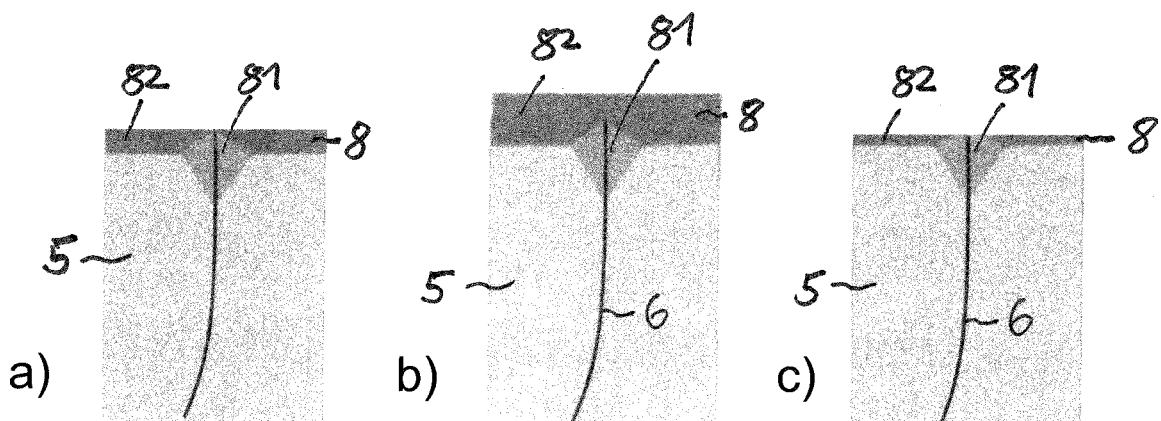


Fig. 5

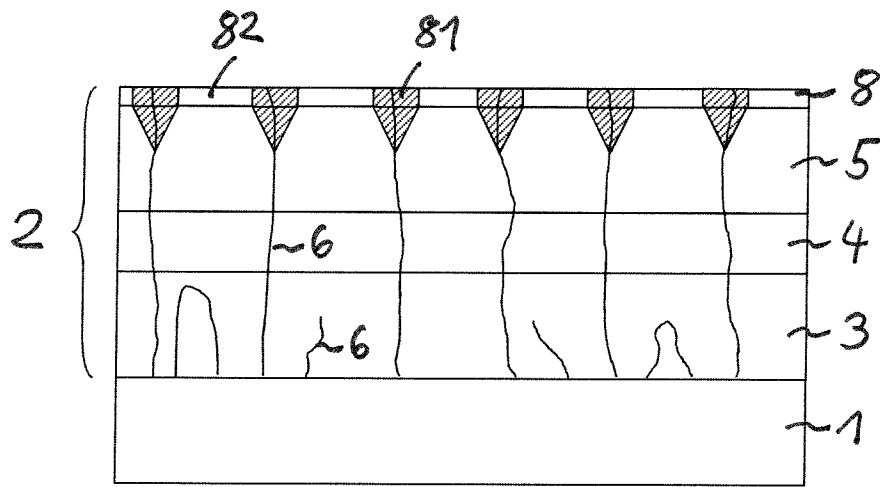


Fig. 6

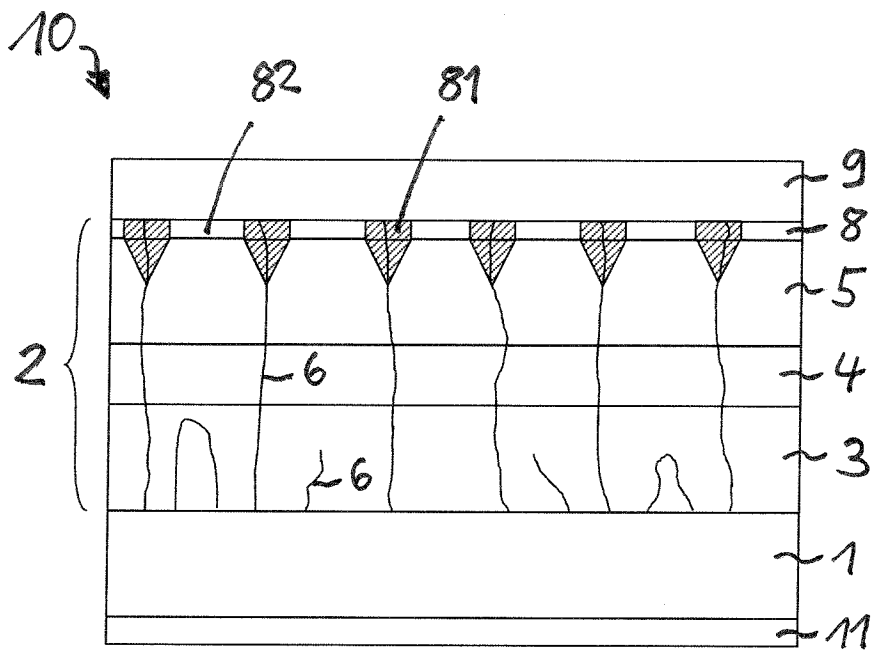


Fig. 7

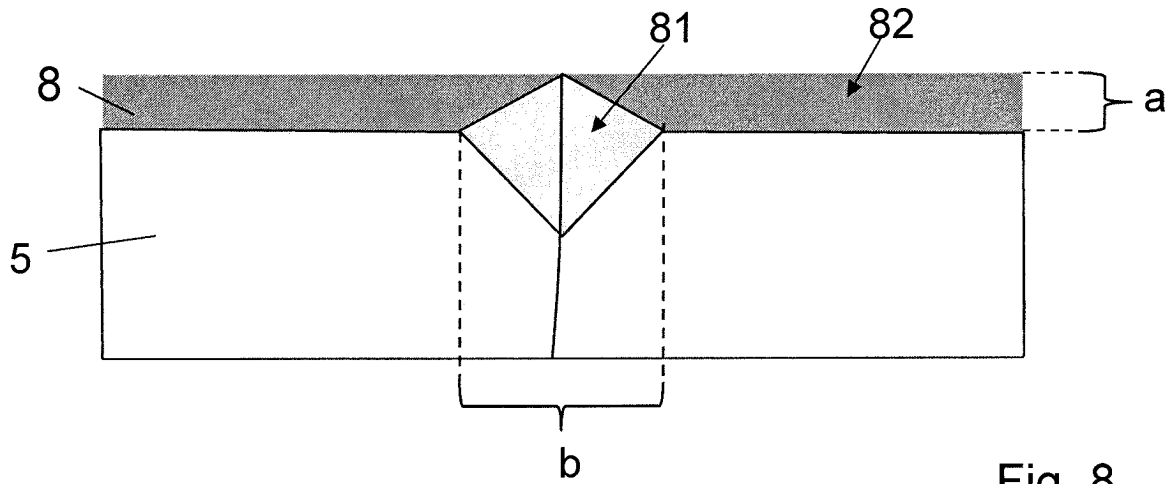


Fig. 8

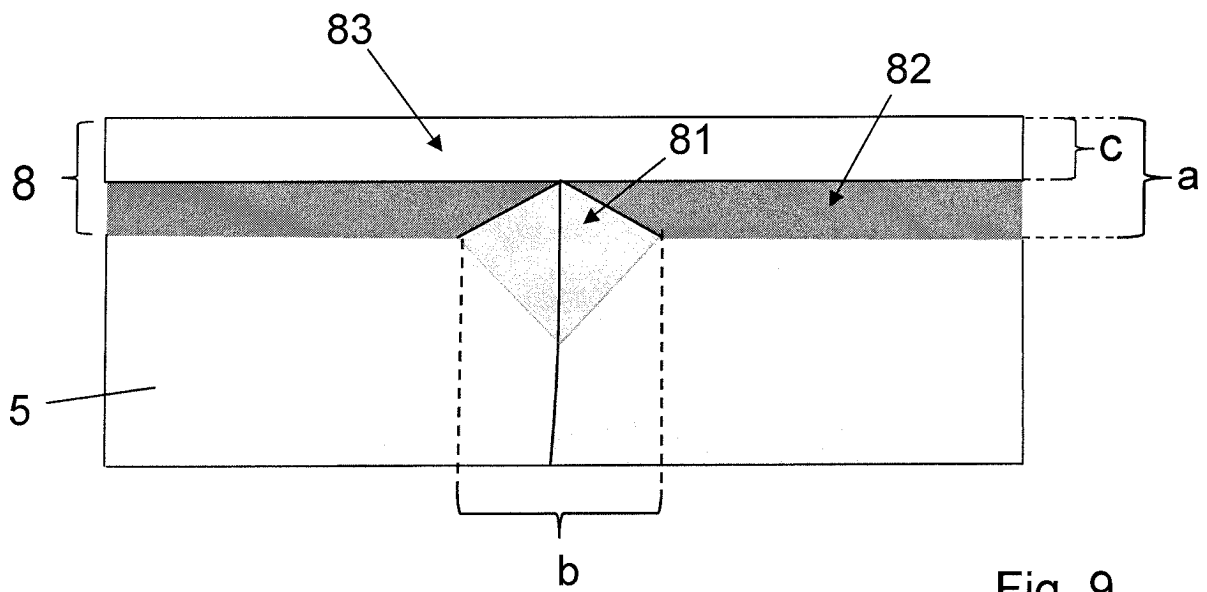


Fig. 9

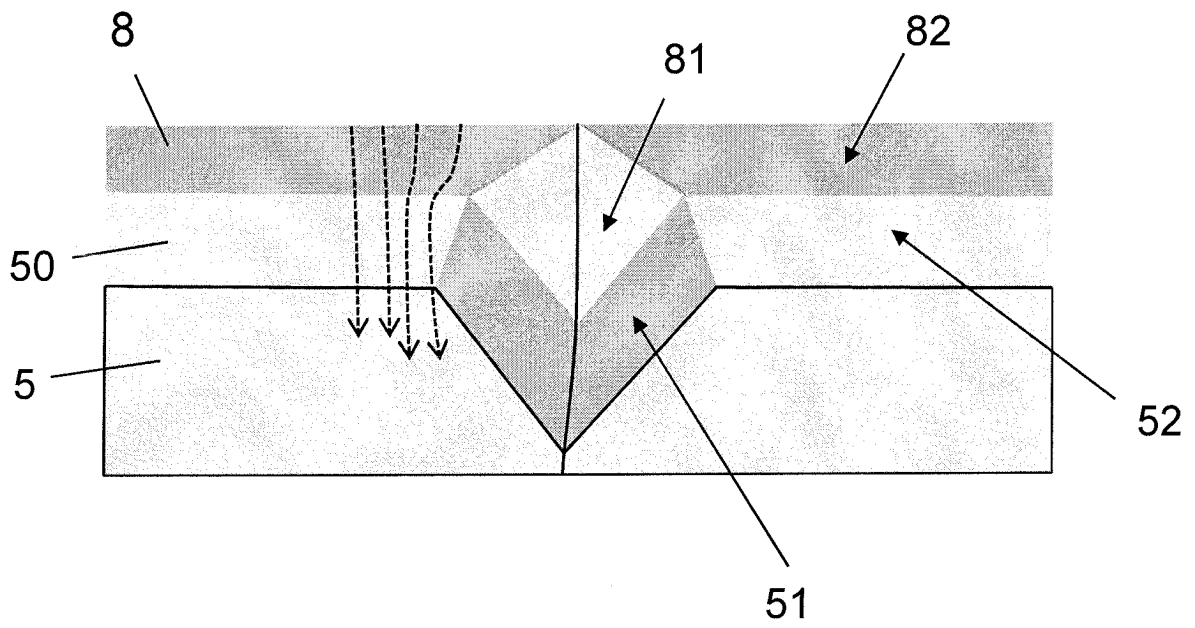


Fig. 10

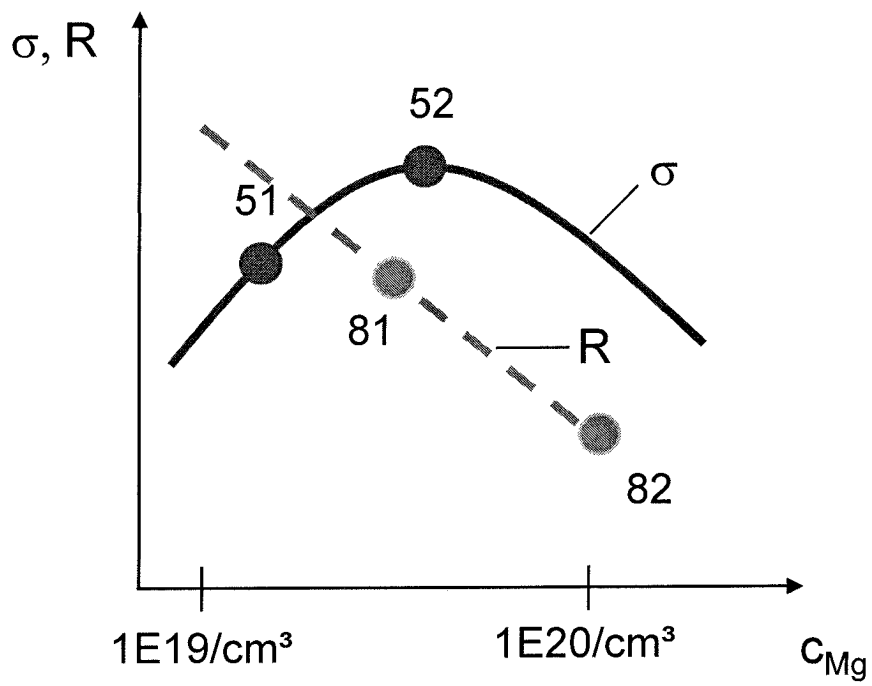


Fig. 11

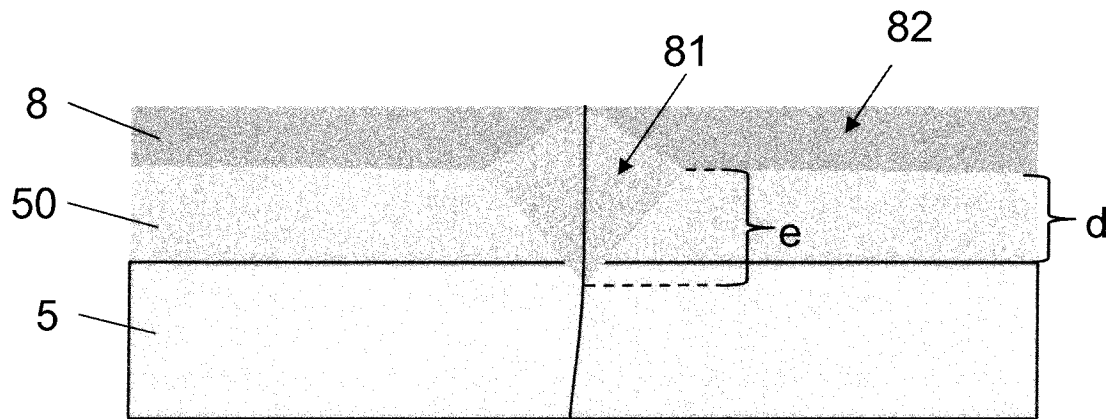


Fig. 12

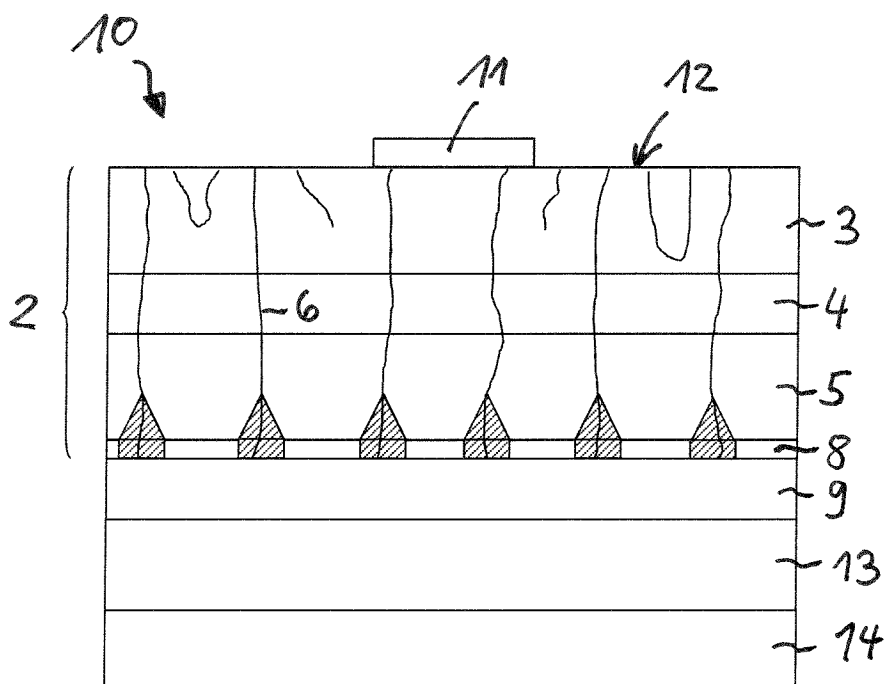


Fig. 13