



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2009 060 749.8

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

(22) Anmelddatum: 30.12.2009

(43) Offenlegungstag: 07.07.2011

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 30.12.2021

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

OSRAM Opto Semiconductors Gesellschaft mit  
beschränkter Haftung, 93055 Regensburg, DE

(74) Vertreter:

Epping Hermann Fischer  
Patentanwaltsgeellschaft mbH, 80639 München,  
DE

(72) Erfinder:

Peter, Matthias, Dr., 93087 Alteglofsheim, DE;  
Gmeinwieser, Nikolaus, Dr., 93083 Obertraubling,  
DE; Meyer, Tobias, 93346 Ihrlerstein, DE; Taki,  
Tetsuya, Dr., 93049 Regensburg, DE; Lugauer,  
Hans-Jürgen, Dr., 93161 Sinzing, DE; Walter,  
Alexander, 93164 Laaber, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 42 947	A1
DE	10 2005 003 460	A1
DE	10 2006 046 237	A1
DE	10 2008 032 318	A1
DE	698 35 216	T2
US	2003 / 0 071 276	A1
US	2008 / 0 093 611	A1

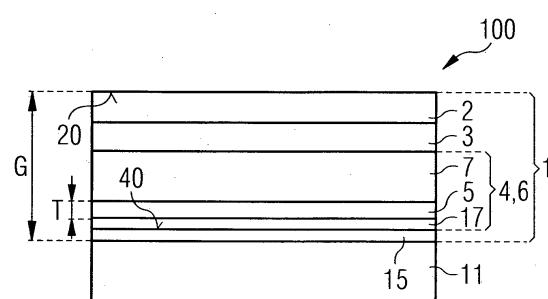
(54) Bezeichnung: Optoelektronischer Halbleiterchip

(57) Hauptanspruch: Optoelektronischer Halbleiterchip (100) mit einer auf GaN, InGaN, AlGaN und/oder InAlGaN basierenden, epitaktisch gewachsenen Halbleiterschichtenfolge (1), die aufweist:

- eine p-dotierte Schichtenfolge (2),
- eine n-dotierte Schichtenfolge (4),
- eine aktive Zone (3), die zur Erzeugung einer elektromagnetischen Strahlung vorgesehen ist und die sich zwischen der p-dotierten Schichtenfolge (2) und der n-dotierten Schichtenfolge (4) befindet, und
- mehreren auf  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  basierenden Zwischenschichten (5a, 5b) mit  $0 < x \leq 1$ , die sich an derselben Seite der aktiven Zone (3) wie die n-dotierte Schichtenfolge (4) befinden, wobei
  - eine spezifische Chemikaliendurchlässigkeit der Zwischenschichten (5a, 5b), insbesondere gegenüber Flüssigkeiten, kleiner ist als für an die Zwischenschichten (5a, 5b) angrenzende Schichten (4, 7, 15, 17) der Halbleiterschichtenfolge (1),
  - die Zwischenschichten (5a, 5b) Erhebungen (50) aufweisen, die sich in Risse und/oder Löcher (14) in an die Zwischenschichten (5a, 5b) angrenzende Schichten (4, 7, 15, 17) der Halbleiterschichtenfolge (1) erstrecken, und
  - die Erhebungen (50) wenigstens stellenweise in direktem Kontakt zu Begrenzungsfäßen der Risse und/oder Löcher

(14) stehen und zumindest ein Teil oder alle der Risse und/oder Löcher (14) vollständig von der zugeordneten Zwischenschicht (5a, 5b) überdeckt sind,

- die aktive Zone (3) von einer elektrischen Durchkontaktierung (10) durchdrungen ist, und
- die elektrische Durchkontaktierung ...



**Beschreibung**

**[0001]** Es wird ein optoelektronischer Halbleiterchip mit mehreren auf AlGaN basierenden Zwischenschichten angegeben.

**[0002]** Die Druckschriften DE 100 42 947 A1, DE 10 2005 003 460 A1, DE 10 2006 046 237 A1, DE 10 2008 032 318 A1, DE 698 35 216 T2, US 2008 / 0 093 611 A1 und US 2003 / 0 071 276 A1 betreffen optoelektronische Halbleiterchips.

**[0003]** Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, einen optoelektronischen Halbleiterchip anzugeben, der gegenüber flüssigen Chemikalien eine hohe Un-durchlässigkeit aufweist.

**[0004]** Diese Aufgabe wird durch einen optoelektronischen Halbleiterchip mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0005]** Der optoelektronische Halbleiterchip umfasst eine auf GaN, InGaN, AlGaN und/oder InAlGaN basierende, insbesondere epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge. Basierend bedeutet, dass die Halbleiterschichtenfolge überwiegend mindestens eines der genannten Materialien aufweist oder hieraus besteht. Dies schließt nicht aus, dass die Halbleiterschichtenfolge vergleichsweise kleine Mengen weiterer Stoffe, insbesondere Dotierstoffe, aufweisen kann.

**[0006]** Die Halbleiterschichtenfolge umfasst eine p-dotierte Schichtenfolge, eine n-dotierte Schichtenfolge sowie eine aktive Zone, die sich zwischen der p-dotierten Schichtenfolge und der n-dotierten Schichtenfolge befindet. Der Begriff Schichtenfolge schließt hierbei nicht aus, dass die Schichtenfolge nur eine einzige, bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften homogene Schicht aufweist.

**[0007]** Unter Schicht ist insbesondere ein Bereich zu verstehen, der sich in einer Richtung senkrecht zu einer Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge über die gesamte Halbleiterschichtenfolge oder über einen überwiegenden Teil der Halbleiterschichtenfolge, zum Beispiel über mehr als 80 %, erstreckt. Eine Schicht kann also ein ebenenartig ausgeformter, senkrecht zu einer Wachstumsrichtung orientierter Bereich der Halbleiterschichtenfolge mit einer bestimmten physikalischen Eigenschaft, wie einer bestimmten Materialzusammensetzung, sein. Verschiedene Schichten oder Bereiche können durch einen scharfen Übergang in eine Richtung parallel zur Wachstumsrichtung voneinander getrennt sein. Scharfer Übergang bedeutet insbesondere, dass ein Übergangsbereich zwischen den Schichten oder Bereichen hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaft, wie einer Materialzusammensetzung, im Rahmen der Herstellungstoleranzen erfolgt und/oder höchstens

fünf Monolagen, insbesondere höchstens zwei Monolagen einer Kristallstruktur beträgt.

**[0008]** Die aktive Zone ist dazu eingerichtet, im Betrieb des Halbleiterchips eine elektromagnetische Strahlung im ultravioletten, im sichtbaren und/oder im nahinfraroten Spektralbereich zu erzeugen. Insbesondere liegt eine Hauptwellenlänge der von der aktiven Zone im Betrieb des Halbleiterchips erzeugten Strahlung bei Wellenlängen zwischen einschließlich 380 nm und 550 nm. Hauptwellenlänge ist diejenige Wellenlänge, bei der die in der aktiven Zone erzeugte Strahlung eine maximale Intensität pro nm spektraler Breite aufweist. Eine von dem Halbleiterchip emittierte, in der aktiven Zone erzeugte Strahlung ist ferner bevorzugt eine inkohärente Strahlung. Mit anderen Worten ist der Halbleiterchip dann als Leuchtdiode gestaltet und nicht als Laserdiode oder als Supperlumineszenzdiode.

**[0009]** Die Halbleiterschichtenfolge beinhaltet zwei Zwischenschichten, die auf  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  basieren. x ist hierbei größer als 0 und kleiner als 1. Mit anderen Worten handelt es sich bei den Zwischenschichten um auf GaN basierende Schichten, bei denen ein bestimmter Anteil von Ga-Gitterplätzen durch Al-Atome eingenommen ist. Die Zwischenschichten befinden sich auf derselben Seite der aktiven Zone wie die n-dotierte Schichtenfolge.

**[0010]** Gemäß zumindest einer Ausführungsform des optoelektronischen Halbleiterchips ist eine der Zwischenschichten undotiert. Undotiert bedeutet insbesondere, dass eine Dotierstoffkonzentration kleiner ist als  $5 \times 10^{16}$  pro  $\text{cm}^3$ . Die Zwischenschicht kann dann an die n-dotierte Schichtenfolge unmittelbar angrenzen. Mit anderen Worten steht ein Material dieser Zwischenschicht dann in unmittelbarem Kontakt zu einem n-dotierten Material der n-dotierten Schichtenfolge. Bevorzugt befindet sich diese Zwischenschicht innerhalb der Halbleiterschichtenfolge, sodass die Zwischenschicht keine Begrenzungsfläche der Halbleiterschichtenfolge in eine Richtung parallel zur Wachstumsrichtung bildet.

**[0011]** Gemäß zumindest einer Ausführungsform des optoelektronischen Halbleiterchips befindet sich mindestens eine der Zwischenschichten innerhalb der n-dotierten Schichtenfolge und ist selbst n-dotiert. Dass sich diese Zwischenschicht innerhalb der n-dotierten Schichtenfolge befindet, bedeutet, dass die Zwischenschicht an beiden Seiten an weitere, n-dotierte Bereiche der n-dotierten Schichtenfolge grenzt. Durch diese Zwischenschicht ist dann also keine Begrenzungsfläche der n-dotierten Schichtenfolge in eine Richtung parallel zur Wachstumsrichtung gebildet.

**[0012]** Eine spezifische Chemikaliendurchlässigkeit der Zwischenschichten ist kleiner als für an die betreffende Zwischenschicht angrenzende Bereiche oder

Schichten der Halbleiterschichtenfolge. Insbesondere weisen die Zwischenschichten eine spezifische Chemikaliendurchlässigkeit auf, die einer minimalen spezifischen Chemikaliendurchlässigkeit der gesamten Halbleiterschichtenfolge oder der gesamten n-dotierten Schichtenfolge entspricht. Spezifische Chemikaliendurchlässigkeit bedeutet insbesondere Durchlässigkeit, bezogen auf eine bestimmte geometrische Dicke der Schicht und auf eine bestimmte Zeitspanne, gegenüber Flüssigkeiten mit einer besonders kleinen Viskosität. Kleine Viskosität kann bedeuten, dass die Flüssigkeit eine Viskosität von höchstens 2,5 mPas aufweist. Beispielsweise ist die Zwischenschicht, speziell verglichen mit der restlichen Halbleiterschichtenfolge, undurchlässig für Salpetersäure.

**[0013]** Der optoelektronische Halbleiterchip umfasst somit eine auf GaN, InGaN, AlGaN und/oder InAlGaN basierende, bevorzugt epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge. Die Halbleiterschichtenfolge beinhaltet eine p-dotierte Schichtenfolge, eine n-dotierte Schichtenfolge und eine aktive Zone, die zur Erzeugung einer elektromagnetischen Strahlung vorgesehen ist und die sich zwischen der p-dotierten und der n-dotierten Schichtenfolge befindet.

**[0014]** Weiterhin umfasst die Halbleiterschichtenfolge auf  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  basierende, undotierte oder n-dotierte Zwischenschichten, wobei  $0 < x \leq 1$ . Die Zwischenschichten befinden sich bevorzugt innerhalb der Halbleiterschichtenfolge und weisen eine spezifische Chemikaliendurchlässigkeit speziell gegenüber Flüssigkeiten mit kleiner Viskosität auf, die geringer ist als eine spezifische Chemikaliendurchlässigkeit von an die betreffende Zwischenschicht angrenzende Bereiche oder Schichten der Halbleiterschichtenfolge.

**[0015]** Durch die Verwendung solcher Zwischenschichten ist eine Durchlässigkeit der Halbleiterschichtenfolge gegenüber flüssigen Chemikalien, wie Salpetersäure, effizient reduzierbar. Hierdurch sind eine höhere Ausbeute bei der Fertigung und eine höhere Zuverlässigkeit der Halbleiterchips realisierbar.

**[0016]** An die Zwischenschichten angrenzende Schichten der n-dotierten Schichtenfolge oder der Halbleiterschichtenfolge weisen Risse und/oder Löcher auf, die sich quer zu einer Hauptausdehnungsrichtung der Zwischenschicht erstrecken. Entlang einer lateralen Richtung, also einer Richtung senkrecht zu einer Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge, weisen die Risse und/oder die Löcher laterale Ausdehnungen auf der Nanometerskala oder der Mikrometerskala auf. Die Ausdehnung der Löcher und/oder Risse in einer lateralen Richtung beträgt beispielsweise höchstens 0,25 μm oder höchstens 0,40 μm.

**[0017]** Die Zwischenschichten schließen zumindest einen Teil der Risse und/oder der Löcher ab. Mit anderen Worten überdeckt die betreffende Zwischenschicht zumindest einen Teil der Löcher und/oder der Risse vollständig. So weisen die Zwischenschichten Erhebungen auf, die sich von der aktiven Zone weg in die Risse und/oder in die Löcher hinein erstrecken. Die Erhebungen, die bevorzugt mit demselben Material wie die betreffende Zwischenschicht geformt sind, stehen stellenweise in unmittelbarem, direktem, physikalischem Kontakt zu einem Material der Schicht, in die sich die Risse und/oder die Löcher hinein erstrecken.

**[0018]** Halbleiterschichtenfolgen für optoelektronische Halbleiterchips, insbesondere für Leuchtdioden, werden beispielsweise auf Saphir-Substraten epitaktisch gewachsen. Beim Aufwachsen können insbesondere Löcher in dem zu wachsenden Halbleitermaterial entstehen. Ebenso können insbesondere Risse in einem Laserabhebeverfahren, bei dem die fertig gewachsene Halbleiterschichtenfolge von dem Substrat entfernt wird, entstehen. Die Löcher und/oder Rissen an einer ehemals dem Substrat zugewandten Begrenzungsfläche der Halbleiterschichtenfolge können, beispielsweise bei dem Laserabhebeverfahren selbst oder bei einem Erzeugen einer Aufrauung, freigelegt werden, sodass zumindest ein Teil der Löcher und/oder Risse also zu dieser Begrenzungsfläche der Halbleiterschichtenfolge reicht.

**[0019]** Über diese freiliegenden Löcher und/oder Risse kann eine flüssige Chemikalie die Halbleiterschichtenfolge in einen nachfolgenden Prozessschritt durchdringen und insbesondere einen Spiegel, beispielsweise einen Silberspiegel, der an einer dem Aufwachsubstrat abgewandten Seite der Halbleiterschichtenfolge oder an einer Durchkontaktierung zuvor aufgebracht wurde, angreifen. Durch eine derartige Beschädigung des Spiegels verringert sich eine Lichtauskoppeleffizienz. Durch die Risse und/oder Löcher, die auch Defekte in der Halbleiterschichtenfolge darstellen, kann weiterhin eine Minderung einer Effizienz beim Erzeugen der Strahlung in der aktiven Zone auftreten. Ebenso können durch die Risse und/oder Löcher Kleinststromprobleme in der Strom-Spannung-Charakteristik des Halbleiterchips auftreten.

**[0020]** Da bei einem epitaktischen Aufwachsen, beispielsweise bei einem so genannten MOVPE-Prozess, Al-Atome an einer Kristalloberfläche eine kleinere Mobilität aufzeigen als Ga-Atome, können AlGaN-Schichten im Vergleich zu reinen GaN-Schichten beim Aufwachsen eine glättende Wirkung auf eine Oberflächenmorphologie haben. Es reagieren AlGaN-Schichten also deutlich unempfindlicher auf ein Facettenwachstum als GaN-Schichten, wodurch eventuell vorhandene Löcher, Risse und/oder Kanäle in einem GaN-Kristall durch eine solche AlGaN-Schicht geschlossen werden können.

**[0021]** Gemäß zumindest einer Ausführungsform des optoelektronischen Halbleiterchips ist eine der Zwischenschichten mit einer Dotierstoffkonzentration zwischen einschließlich  $2 \times 10^{18}$  pro cm<sup>3</sup> und  $5 \times 10^{19}$  pro cm<sup>3</sup>, bevorzugt mit einer Dotierstoffkonzentration zwischen einschließlich  $4 \times 10^{18}$  pro cm<sup>3</sup> und  $3 \times 10^{19}$  pro cm<sup>3</sup>, insbesondere zwischen einschließlich  $6 \times 10^{18}$  pro cm<sup>3</sup> und  $2 \times 10^{19}$  pro cm<sup>3</sup> dotiert. Eine Dotierung erfolgt zum Beispiel mit Si-Atomen.

**[0022]** Gemäß zumindest einer Ausführungsform des optoelektronischen Halbleiterchips weist der Anteil x der Ga-Gitterplätze, der durch Al-Atome eingenommen ist, einen Wert zwischen einschließlich 0,03 und 0,2 oder zwischen einschließlich 0,03 und 0,5, bevorzugt zwischen einschließlich 0,07 und 0,13, beispielsweise um 0,1, auf.

**[0023]** Genau eine der Zwischenschichten oder mindestens eine der Zwischenschichten ist eine ununterbrochene, durchgängige Schicht. Mit anderen Worten sind in eine Richtung senkrecht zur Wachstumsrichtung dann keine Öffnungen oder Durchbrüche in dieser Zwischenschicht gezielt hergestellt. Die Zwischenschicht erstreckt sich also in einer Richtung senkrecht zur Wachstumsrichtung über die gesamte Halbleiterschichtenfolge, ohne dass gezielt erzeugte Unterbrechungen vorhanden sind. Dass die Zwischenschicht eine ununterbrochene, durchgängige Schicht ist, schließt nicht aus, dass Defekte in dem Kristallgitter der Halbleiterschichtenfolge wie Risse und/oder Löcher kleine, unbeabsichtigte Öffnungen in der Zwischenschicht bilden. Mit anderen Worten ist es möglich, dass nicht alle der Risse und/oder Löcher durch die Zwischenschicht geschlossen sind. Bevorzugt jedoch treten keine solchen unbeabsichtigten Öffnungen auf.

**[0024]** Wenigstens eine elektrische Durchkontaktierung durchdringt die aktive Zone und insbesondere genau eine von zwei Zwischenschichten, die in der Halbleiterschichtenfolge gebildet sind. In diesem Fall ist es möglich, dass sich alle elektrische Kontaktierungen zur Bestromung des Halbleiterchips an nur einer Seite der aktiven Zone befinden. Mit anderen Worten kann der Halbleiterchip dann als so genannter Flip-Chip geformt sein.

**[0025]** Besonders in dieser Ausführungsform ist ein Abstand von einer äußeren Begrenzungsfläche der Halbleiterschichtenfolge bis hin zu einem Spiegel etwa an der Durchkontaktierung vergleichsweise klein und beträgt zum Beispiel zirka 2 µm. Bei derart geringen Abständen ist die Wahrscheinlichkeit, dass Risse und/oder Löcher in der Halbleiterschichtenfolge von einer äußeren Begrenzungsfläche bis zu dem Spiegel reichen, besonders groß, insbesondere auch dann, wenn die Halbleiterschichtenfolge über ein Laserabhebeverfahren von einem Substrat getrennt und wenn an der äußeren Begrenzungsfläche

eine Aufrauung in der Halbleiterschichtenfolge erzeugt ist. Das heißt, speziell bei vergleichsweise dünnen Halbleiterschichtenfolgen mit Durchkontakteierungen ist eine Steigerung der Ausbeute bei der Herstellung durch die Verwendung wenigstens einer Zwischenschicht besonders groß.

**[0026]** Darüber hinaus wird die Verwendung einer auf AlGaN basierenden, undotierten oder n-dotierten Zwischenschicht als Verschlusschicht für Kanäle, Risse und/oder Löcher in einer auf AlGaN, InGaN, AlInGaN und/oder auf GaN basierten Halbleiterschichtenfolge angegeben. Die Zwischenschicht kann geformt sein, wie in einer oder mehrerer der oben genannten Ausführungsbeispiele angegeben. Merkmale des optoelektronischen Halbleiterchips sind daher auch für die Verwendung der Zwischenschicht offenbar und umgekehrt.

**[0027]** Nachfolgend wird ein hier beschriebener optoelektronischer Halbleiterchip unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Gleiche Bezugszeichen geben dabei gleiche Elemente in den einzelnen Figuren an. Es sind dabei jedoch keine maßstäblichen Bezüge dargestellt, vielmehr können einzelne Elemente zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

**[0028]** Es zeigen:

**Fig. 6** und **Fig. 9C** schematische Schnittdarstellungen von Ausführungsbeispielen von hier beschriebenen optoelektronischen Halbleiterchips,

**Fig. 1** bis **Fig. 5**, **Fig. 8**, **Fig. 9A** und **Fig. 9B** schematische Schnittdarstellungen von nicht erfundungsgemäß, die Erfindung aber illustrierenden Beispielen von optoelektronischen Halbleiterchips, und

**Fig. 7** und **Fig. 10** schematische Schnittdarstellungen von Leuchtdiodenchips.

**[0029]** In **Fig. 1** ist ein optoelektronischer Halbleiterchip **100** dargestellt. Bei dem Halbleiterchip **100** handelt es sich insbesondere um eine Leuchtdiode, die im Betrieb eine inkohärente Strahlung emittiert.

**[0030]** Auf einem Aufwachsubstrat **11** ist eine Halbleiterschichtenfolge **1** epitaktisch aufgewachsen. Die Halbleiterschichtenfolge **1** basiert auf GaN, InGaN, AlGaN und/oder InAlGaN. Eine Gesamtdicke G der Halbleiterschichtenfolge **1** liegt beispielsweise zwischen einschließlich 1,0 µm und 10 µm, insbesondere zwischen einschließlich 1,5 µm und 7,0 µm, insbesondere zirka 5 µm bis 6 µm.

**[0031]** Unmittelbar an dem Aufwachsubstrat **11** befindet sich eine undotierte GaN-Schicht **15**. Die undotierte Schicht **15** weist zum Beispiel eine Dicke zwischen einschließlich 300 nm und 400 nm auf. An einer dem Aufwachsubstrat **11** abgewandten Seite der

undotierten Schicht **15** ist eine n-dotierte Teilschicht **17** erzeugt, die Teil einer n-dotierten Schichtenfolge **4** der Halbleiterschichtenfolge **1** ist. Es ist möglich, dass nur eine der Schichten **15, 17** vorhanden ist.

**[0032]** An einer der n-dotierten Schichtenfolge **4** abgewandten Seite des Aufwachsubstrates **11** befindet sich eine aktive Zone **3**, gefolgt von einer p-dotierten Schichtenfolge **2**. Die sich zwischen der n-dotierten Schichtenfolge **4** und der p-dotierten Schichtenfolge **2** befindliche aktive Zone **2** weist insbesondere mindestens eine Quantentopfstruktur beliebiger Dimensionalität auf, bevorzugt mehrere Quantentopfstrukturen. Beispielsweise wird im Betrieb in der aktiven Zone ultraviolette Strahlung, blaues oder grünes Licht erzeugt.

**[0033]** Die n-dotierte Schichtenfolge **4** beinhaltet eine Zwischenschicht **5**. Die Zwischenschicht **5** befindet sich innerhalb der n-dotierten Schichtenfolge **4** zwischen der Teilschicht **17** und einer n-dotierten Stromaufweitungsschicht **7**, die ebenfalls Teil der n-dotierten Schichtenfolge **4** ist. Mit anderen Worten weist die Zwischenschicht **5** keinen unmittelbaren Kontakt zu dem Aufwachsubstrat **11** oder zu der aktiven Zone **3** auf. Eine minimale Dicke der undotierten Schicht **15** und/oder der Teilschicht **17** ist also mindestens so einzustellen, dass das Aufwachsubstrat **11** im Wesentlichen vollständig von mindestens einer dieser Schichten **15, 17** bedeckt ist und eine dem Aufwachsubstrat **11** abgewandte Seite dieser Schichten **15, 17** im Wesentlichen eben geformt ist.

**[0034]** Eine Dicke T der Zwischenschicht **5** liegt bevorzugt zwischen einschließlich 15 nm und 500 nm, insbesondere zwischen einschließlich 25 nm und 150 nm. Die Zwischenschicht **5** basiert auf AlGaN, wobei ein Anteil von einschließlich 3 % bis 20 %, insbesondere zirka 10 %, der Gallium-Gitterplätze, im Vergleich zu reinem GaN, mit Aluminiumatomen besetzt ist.

**[0035]** Eine Dotierstoffkonzentration der Zwischenschicht in diesem Ausführungsbeispiel liegt bevorzugt zwischen einschließlich  $4 \times 10^{18}$  pro cm<sup>3</sup> und  $5 \times 10^{19}$  pro cm<sup>3</sup>, speziell zwischen einschließlich  $6 \times 10^{18}$  pro cm<sup>3</sup> und  $2 \times 10^{19}$  pro cm<sup>3</sup>. Ein Dotierstoff ist beispielsweise Silizium. Die Zwischenschicht **5** ist eine geschlossene, durchgehende Schicht. Mit anderen Worten sind in der Zwischenschicht **5** keine Öffnungen oder Durchbrüche gezielt erzeugt.

**[0036]** Eine Pufferschicht **6** der Halbleiterschichtenfolge **1** ist durch die Teilschicht **17**, die Zwischenschicht **5** und die Stromaufweitungsschicht **7** gebildet und umfasst somit die n-dotierte Schichtenfolge **4**. Eine Dicke der Pufferschicht **6** beträgt zum Beispiel zwischen einschließlich 300 nm und 6 µm, bevorzugt zwischen einschließlich 500 nm und 1,8 µm. Eine Dicke der Pufferschicht **6** übersteigt eine Dicke

der p-dotierten Schichtenfolge **2**, die im Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** nur durch eine einzige Schicht gebildet ist, bevorzugt um mindestens einen Faktor 10 oder um mindestens einen Faktor 20.

**[0037]** Der Halbleiterchip **100** gemäß **Fig. 2** ist zum Beispiel eine Weiterbildung des Halbleiterchips **100** gemäß **Fig. 1**. Auf einer der aktiven Zone **3** abgewandten Seite **20** der p-dotierten Schichtenfolge **2** ist eine p-Kontaktschicht **12p** aufgebracht. Die p-Kontaktschicht **12p** ist insbesondere durch eine oder mehrere metallische Schichten gebildet und kann einen Spiegel **16** für eine in der aktiven Zone **3** erzeugte Strahlung darstellen und/oder umfassen. An einer der aktiven Zone **3** abgewandten Seite der p-Kontaktschicht **12p** ist ein Träger **9** angebracht, der den Halbleiterchip **100** mechanisch trägt. Eine Dicke des Trägers **9** liegt bevorzugt zwischen einschließlich 40 µm und 600 µm. Durch den Träger **9** ist es möglich, den Halbleiterchip **100** beispielsweise mittels eines so genannten Pick-and-Place-Prozesses zu handhaben.

**[0038]** An einer der aktiven Zone **3** abgewandten Seite **40** der Teilschicht **17** der n-dotierten Schichtenfolge **4** ist eine Aufrauung **8** erzeugt, beispielsweise mittels eines Ätzens. Die Aufrauung **8** reicht nicht bis zu der Zwischenschicht **5**. Durch das Erzeugen der Aufrauung **8** kann die undotierte Schicht **15** gemäß **Fig. 1** vollständig entfernt sein. Über die Aufrauung **8** ist eine Auskoppeleffizienz der Strahlung aus dem Halbleiterchip **100** steigerbar. Eine mittlere Rauheit der Aufrauung **8** liegt bevorzugt zwischen einschließlich 0,4 µm und 4,0 µm, insbesondere zwischen einschließlich 0,5 µm und 1,5 µm. Ferner ist an der Seite **40**, in der die Aufrauung **8** geformt ist, eine n-Kontaktierung **12n** aufgebracht. Die n-Kontaktierung **12n** ist insbesondere durch eine oder mehrere metallische Schichten und/oder durch ein transparentes leitfähiges Oxid gebildet. Insbesondere ist die n-Kontaktierung **12n** ein so genanntes Bond-Pad. Ein Stromfluss erfolgt also gemäß **Fig. 2** auch durch die Zwischenschicht **5** hindurch, sodass es erforderlich ist, die Zwischenschicht **5** elektrisch leitend, also insbesondere n-dotiert, auszubilden.

**[0039]** Der Halbleiterchip **100** gemäß **Fig. 2** kann aus dem Halbleiterchip **100** gemäß **Fig. 1** wie folgt erzeugt sein: Nach dem Aufwachsen der Halbleiterschichtenfolge **100** auf dem Aufwachsubstrat **11** werden die p-Kontaktierung **12p** und anschließend auf die p-Kontaktierung **12p** der Träger **9** angebracht. Anschließend wird das Aufwachsubstrat **11**, insbesondere mittels eines Laserabhebeverfahrens, englisch Laser-Lift-Off, von der Halbleiterschichtenfolge **1** und dem Träger **9** entfernt. Hierbei wird ein dünner Bereich der n-dotierten Schichtenfolge **4**, der sich nahe dem Aufwachsubstrat **11** befindet, zersetzt, insbesondere ein Teil der undotierten Schicht **15**. Nach dem Entfernen des Aufwachsubstrates **11** von der Halbleiterschichtenfolge **1** wird insbesondere über

ein Ätzen die Aufrauung **8** in der Teilschicht **17** der n-dotierten Schichtenfolge **4** an der Seite **40** gebildet.

**[0040]** Gemäß **Fig. 3** befinden sich die n-Kontaktierung **12n** und die p-Kontaktierung **12p** an derselben Seite der aktiven Zone **3**. Dies ist speziell dadurch ermöglicht, dass, ausgehend von der n-Kontaktierung **12n**, eine Durchkontaktierung **10** durch die p-dotierte Schichtenfolge **2** und durch die aktive Zone **3** hin zur n-Schichtenfolge **4** geformt ist. Die Durchkontaktierung **10** kann durch ein oder durch mehrere Metalle gebildet. Über die Durchkontaktierung **10** ist eine direkte elektrische Verbindung zwischen der n-Kontaktierung **12n**, die zwischen dem Träger **9** und der p-Kontaktierung **12p** geformt ist, und der Stromaufweitungsschicht **7** der n-dotierten Schichtenfolge **4** hergestellt.

**[0041]** Die n-Kontaktierung **12n** sowie die Durchkontaktierung **10** sind von der aktiven Zone **3**, der p-dotierten Schichtenfolge **2** sowie der p-Kontaktierung **12p** durch eine elektrisch isolierende Schicht **13**, die zum Beispiel mit einem transparenten Material wie Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid geformt ist, getrennt. Die p-Kontaktierung **12p** dient auch in diesem Ausführungsbeispiel als Spiegel **16a** für die in der aktiven Zone **3** im Betrieb erzeugte Strahlung, die über die Aufrauung **8** aus dem Halbleiterchip **100** ausgekoppelt wird.

**[0042]** Bevorzugt ist an einer der Aufrauung **8** zugewandten Seite der Durchkontaktierung **10** ein weiterer Spiegel **16b**, beispielsweise ein Silberspiegel, angebracht. Anders als gezeichnet ist es möglich, dass sich der Spiegel **16b** auch teilsweise oder vollständig zwischen die isolierende Schicht **13** und die Durchkontaktierung **10** erstreckt.

**[0043]** Eine Bestromung der aktiven Zone **3** erfolgt also gemäß diesem Ausführungsbeispiel nicht über die Zwischenschicht **5**. Somit kann die Zwischenschicht **5** daher auch undotiert sein und einen höheren Al-Gehalt zwischen einschließlich 5 % und 50 % aufweisen oder auch auf AlN basieren oder aus AlN bestehen.

**[0044]** Gemäß **Fig. 4** weist die Halbleiterschichtenfolge **1** des Halbleiterchips **100** zwei Zwischenschichten **5** auf. Zwischen den beiden Zwischenschichten **5** befindet sich die hoch n-dotierte Stromaufweitungsschicht **7**. Die Stromaufweitungsschicht **7** basiert zum Beispiel auf GaN und nicht auf AlGaN wie die Zwischenschichten **5** und weist eine hohe Dotierstoffkonzentration von bevorzugt mindestens  $5 \times 10^{18}$  pro cm<sup>3</sup> auf. Die Stromaufweitungsschicht **7** grenzt bevorzugt unmittelbar an die beiden Zwischenschichten **5**. Der weitere Aufbau des Halbleiterchips **100** gemäß **Fig. 4** folgt im Wesentlichen dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1**.

**[0045]** Der Halbleiterchip **100** gemäß **Fig. 5** ist eine Weiterbildung des Halbleiterchips **100** gemäß **Fig. 4**, in analoger Weise zu den **Fig. 1** und **Fig. 2**. Da ein Stromfluss von der n-Kontaktierung **12n** zur p-Kontaktierung **12p** über die zwei Zwischenschichten **5** erfolgt, sind die Zwischenschichten **5** dotiert und elektrisch leitend ausgebildet.

**[0046]** Beim Ausführungsbeispiel des Halbleiterchips **100** gemäß **Fig. 6** ist die Zwischenschicht **5b** von der Durchkontaktierung **10** durchdrungen, wohingegen die Zwischenschicht **5a** eine ununterbrochene, durchgehende Schicht ist, wie die Zwischenschichten **5** gemäß den **Fig. 1** bis **Fig. 5**. Die Durchkontaktierung **10** verbindet die n-Kontaktierung **12n** elektrisch unmittelbar mit der Stromaufweitungsschicht **7**. Die von der Durchkontaktierung **10** durchdrungene Zwischenschicht **5b** kann in diesem Ausführungsbeispiel zu einer Endpunkt detektion zur Ätzung der Ausnehmung für die Durchkontaktierung **10** dienen. Da ein Stromfluss nicht über die Zwischenschicht **5a** erfolgt, kann die Zwischenschicht **5a** entweder dotiert oder auch undotiert sein.

**[0047]** Wie auch in allen anderen Ausführungsbeispielen ist es möglich, dass die Zwischenschichten **5**, **5a**, **5b** sowie die Stromaufweitungsschicht **7**, die undotierte Schicht **15** und/oder die Teilschicht **17** einen Teil der Pufferschicht **6** bilden.

**[0048]** In den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** ist ein Leuchtdiodenchip ohne Zwischenschichten gezeigt. Beim Aufwachsen der Halbleiterschichtenfolge **1** auf dem Aufwachsubstrat **11** bilden sich entweder an der Grenzfläche zwischen der undotierten Schicht **15** oder der n-dotierten Schichtenfolge **4**, die gemäß **Fig. 7** durch eine einzige Schicht gebildet ist, und dem Aufwachsubstrat **11** oder auch während des Aufwachsens oder beim Laserabhebeverfahren innerhalb der Halbleiterschichtenfolge **1** Risse und/oder Löcher **14**, vergleiche **Fig. 7A**. Bei einem Abtrennen des Aufwachsubstrats **11** von der Halbleiterschichtenfolge **1**, beispielsweise durch das Laserabhebeverfahren, wird ein Teil der Risse und/oder Löcher **14** freigelegt, siehe **Fig. 7B**.

**[0049]** Ein Anteil der Risse und/oder Löcher **14** reicht von der Seite **40** der n-dotierten Schichtenfolge **4** bis hin zu der p-Kontaktierung **12p**. Über diese Löcher und/oder Risse **14** ist es möglich, dass in einem späteren Verfahrensschritt, beispielsweise zur Erzeugung einer Aufrauung an der n-dotierten Schichtenfolge **4**, eine flüssige Chemikalie wie Salpetersäure oder Kalilauge durch die Halbleiterschichtenfolge **1** bis hin zu der p-Kontaktierung **12p** gelangt, die Halbleiterschichtenfolge **1** also vollständig penetriert.

**[0050]** Etwa durch diese Chemikalien ist es möglich, dass die bevorzugt als Spiegel **16**, **16a** ausgeführte p-Kontaktierung **12p** angegriffen oder beschädigt wird.

dig wird, wodurch eine Reflektivität der p-Kontaktierung **12p** vermindert und somit eine Auskoppeleffizienz von Strahlung aus dem Halbleiterchip reduziert werden kann. Eine Gefahr einer Beschädigung des Spiegels **16b** an der Durchkontaktierung **10**, siehe **Fig. 3** und **Fig. 6**, ist aufgrund des geringen Abstandes zwischen dem Spiegel **16b** und der Aufrauung **8** sogar noch höher.

**[0051]** In **Fig. 8** ist ein Halbleiterchip **100** mit der Zwischenschicht **5** illustriert, nach dem das Aufwachsubstrat **11** von der Halbleiterschichtenfolge **1** abgetrennt ist. Anders als gezeichnet ist es ebenso möglich, dass nur eine der Schichten **15, 17** vorliegt. Auch die Halbleiterschichtenfolge **1** gemäß **Fig. 8** weist Risse und/oder Löcher **14** auf, die von der Seite **40** der n-dotierten Schichtenfolge **4** hin zu der p-Kontaktierung **12p** verlaufen und die durch beispielsweise ein Laserabhebeverfahren an der dem abgetrennten Aufwachsubstrat **11** zugewandten Seite **40** freigelegt sind.

**[0052]** Jedoch sind gemäß **Fig. 8** alle oder wenigstens ein Teil der Risse **14** und/oder Löcher **14**, die von der Seite **40** hin zu der aktiven Zone **3** verlaufen, abgedeckt und verschlossen. Bei einem Aufwachsen der Halbleiterschichtenfolge **1** beziehungsweise der Zwischenschicht **5** entstehen hierbei Erhebungen **50** der Zwischenschicht **5**, die sich weg von der aktiven Zone **3** hin zu dem Aufwachsubstrat **11** erstrecken. Die Erhebungen **50** sind mit demselben Material gebildet wie die Zwischenschicht **5**. Die Erhebungen **50** erstrecken sich somit pfropfenartig in wenigstens einen Teil der Risse und/oder Löcher **14** und stehen in unmittelbarer Verbindung wenigstens mit einem Teil von lateralen Begrenzungsfächen der Risse und/oder Löcher **14**, in einer Richtung senkrecht zu einer Wachstumsrichtung der Halbleiterschichtenfolge **1**. Ebenso ist es möglich, dass zumindest ein Teil der Risse und/oder Löcher **14** vollständig durch ein Material der Erhebungen **50** ausgefüllt ist.

**[0053]** Die Zwischenschicht **5** wird also als eine Art Abdichtung oder Verschlusschicht für die Risse und/oder Löcher **14** verwendet. Dies ist insbesondere dadurch ermöglicht, dass die Zwischenschicht **5** und die Erhebungen **50** mit AlGaN anstelle von GaN geformt sind. Aluminiumatome weisen beim epitaktischen Aufwachsen an einer Oberfläche eine geringere Mobilität auf als Galliumatome. Hierdurch ist das Schließen und teilweise Füllen der Risse und/oder Löcher **14** ermöglicht.

**[0054]** Zwar können beim weiteren epitaktischen Aufwachsen der Halbleiterschichtenfolge **1** weitere Risse und/oder Löcher **14** entstehen, die beispielsweise von einer dem Aufwachsubstrat **11** abgewandten Seite **40** der n-dotierten Schichtenfolge bis zur p-Kontaktierung **12p** reichen, jedoch besteht keine durchgehende Verbindung durch die Risse und/

oder Löcher **14** von einer der aktiven Zone **3** abgewandten Seite der Schichten **15, 17** hin zu der p-Kontaktierung **12p** oder hin zu dem Spiegel **16b** an der Durchkontaktierung **10** gemäß den **Fig. 3** und **Fig. 6**. Somit erfolgt auch keine Beschädigung der Spiegel **16, 16a, 16b** oder eines anderen Materials der Durchkontaktierung **10** oder der Kontaktierungen **12n, 12p**, wie zum Beispiel Al, WN und/oder Ti, bei nachgeschalteten Prozessschritten, insbesondere bei solchen Prozessschritten, bei denen Chemikalien mit einer geringeren Viskosität eingesetzt werden. Der Effekt der Abdichtung von Rissen und/oder Löchern **14** durch die Zwischenschicht **5** ist speziell dann von Bedeutung, wenn ein Abstand zwischen der Aufrauung **8** oder einer äußeren Begrenzungsfäche der Halbleiterschichtenfolge **1** und dem Spiegel **16, 16a, 16b** besonders klein ist, wie speziell bei den Halbleiterchips **100** gemäß der **Fig. 3** und **Fig. 6**.

**[0055]** In **Fig. 9** sind weitere Halbleiterchips **100** in einer Schnittdarstellung und in einer zugehörigen Draufsicht auf eine Strahlungsdurchtrittsseite mit einem Kontaktbereich **18**, zum Beispiel für einen Bond-Draht, gezeigt. Die Halbleiterchips **100** weisen jeweils mehrere der in den Schnittdarstellungen nicht gezeichneten Durchkontaktierungen **10** und Spiegel **16b** auf, vergleiche die **Fig. 3** und **Fig. 6**. Die Durchkontaktierungen **10** und Spiegel **16b** reichen also jeweils von der p-leitenden Schichtenfolge **2** her bis in die Stromaufweitungsschicht **7**, die je eine Dicke von zirka 1,1 µm aufweist.

**[0056]** Gemäß **Fig. 9A** weist die Zwischenschicht **5** eine Dicke von zirka 60 nm auf, gemäß **Fig. 9B** eine Dicke von zirka 30 nm. Die n-dotierte Schicht **17** hat jeweils eine Dicke von zirka 1,3 µm. Gemäß **Fig. 9C** befindet sich die Stromaufweitungsschicht **7** zwischen den zwei Zwischenschichten **5a, 5b** mit je einer Dicke von zirka 30 nm. Es ist also jeweils mindestens eine Zwischenschicht **5, 5a, 5b** an einer der aktiven Zone **3** abgewandten Seite der Stromaufweitungsschicht **7** vorhanden. In den zugehörigen Draufsichten auf die Strahlungsdurchtrittsseite ist zu sehen, dass die Spiegel **16b** keine verminderte Reflektivität aufzeigen und somit nicht beschädigt sind. Insbesondere verlässt durch die Strahlungsdurchtrittsseite mehr als 50 % oder mehr als 80 % der Strahlung den Halbleiterchip **100**.

**[0057]** Bei den Leuchtdiodenchips gemäß **Fig. 10A** und **Fig. 10B** befinden sich die Zwischenschichten **5** jeweils zwischen der Stromaufweitungsschicht **7** und der aktiven Zone **3**. Es ist also zwischen den Spiegeln **16b** und der Strahlungsdurchtrittsseite keine Zwischenschicht vorhanden. Hierdurch werden die Spiegel **16b** etwa beim Erzeugen einer Aufrauung an der Strahlungsdurchtrittsseite flüssigen Chemikalien ausgesetzt und dadurch beschädigt, zu sehen in

einer Dunkelfärbung und somit verminderten Reflektivität der Spiegel **16b**.

### Patentansprüche

1. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) mit einer auf GaN, InGaN, AlGaN und/oder InAlGaN basierenden, epitaktisch gewachsenen Halbleiterschichtenfolge (1), die aufweist:
  - eine p-dotierte Schichtenfolge (2),
  - eine n-dotierte Schichtenfolge (4),
  - eine aktive Zone (3), die zur Erzeugung einer elektromagnetischen Strahlung vorgesehen ist und die sich zwischen der p-dotierten Schichtenfolge (2) und der n-dotierten Schichtenfolge (4) befindet, und
  - mehreren auf  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  basierenden Zwischenschichten (5a, 5b) mit  $0 < x \leq 1$ , die sich an derselben Seite der aktiven Zone (3) wie die n-dotierte Schichtenfolge (4) befinden,
 wobei
  - eine spezifische Chemikaliendurchlässigkeit der Zwischenschichten (5a, 5b), insbesondere gegenüber Flüssigkeiten, kleiner ist als für an die Zwischenschichten (5a, 5b) angrenzende Schichten (4, 7, 15, 17) der Halbleiterschichtenfolge (1),
  - die Zwischenschichten (5a, 5b) Erhebungen (50) aufweisen, die sich in Risse und/oder Löcher (14) in an die Zwischenschichten (5a, 5b) angrenzende Schichten (4, 7, 15, 17) der Halbleiterschichtenfolge (1) erstrecken, und
  - die Erhebungen (50) wenigstens stellenweise in direktem Kontakt zu Begrenzungsfächern der Risse und/oder Löcher (14) stehen und zumindest ein Teil oder alle der Risse und/oder Löcher (14) vollständig von der zugeordneten Zwischenschicht (5a, 5b) überdeckt sind,
  - die aktive Zone (3) von einer elektrischen Durchkontaktierung (10) durchdrungen ist, und
  - die elektrische Durchkontaktierung (10) eine der Zwischenschichten (5b) durchdringt und eine weitere der Zwischenschichten (5a) ununterbrochen und durchgängig ist.

2. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach dem vorhergehenden Anspruch, bei der die ununterbrochene Zwischenschicht (5a) undurchlässig für Salpetersäure ist.

3. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Dotierstoffkonzentration einer der Zwischenschichten (5b) zwischen einschließlich  $4 \times 10^{18}$  pro  $\text{cm}^3$  und  $5 \times 10^{19}$  pro  $\text{cm}^3$  liegt und ein Dotierstoff Si ist.

4. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine der Zwischenschichten (5a) undotiert ist.

5. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der  $0,03 \leq x \leq 0,5$  gilt.

6. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine auf GaN basierende, mindestens mit einer Dotierstoffkonzentration von  $5 \times 10^{18}$  pro  $\text{cm}^3$  n-dotierte Stromaufweitungsschicht (7) der n-dotierten Schichtenfolge (4) sich zwischen zwei der Zwischenschichten (5a, 5b) befindet und unmittelbar an diese grenzt.

7. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine der aktiven Zone (3) abgewandten Seite (40) der Halbleiterschichtenfolge (1), auf derselben Seite der aktiven Zone (3) wie die n-dotierte Schichtenfolge (4), eine Aufrauung (8) mit einer mittleren Rauheit zwischen einschließlich 0,4  $\mu\text{m}$  und 4,0  $\mu\text{m}$  aufweist.

8. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Gesamtdicke (G) der Halbleiterschichtenfolge (1) zwischen einschließlich 1,0  $\mu\text{m}$  und 10,0  $\mu\text{m}$  liegt.

9. Optoelektronischer Halbleiterchip (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem sich alle elektrischen Kontaktierungen (12) zur Bestromung des Halbleiterchips (100) an einer der aktiven Zone (3) abgewandten Seite (20) der p-dotierten Schichtenfolge (2) befinden.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG 1

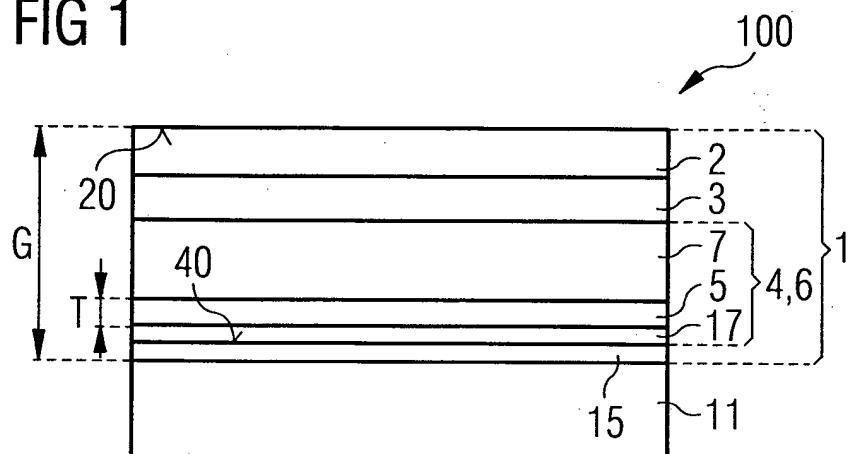


FIG 2

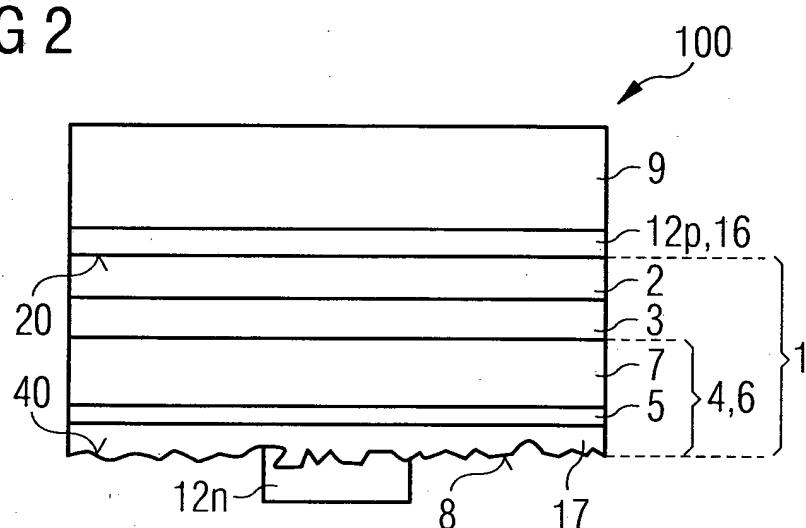


FIG 3

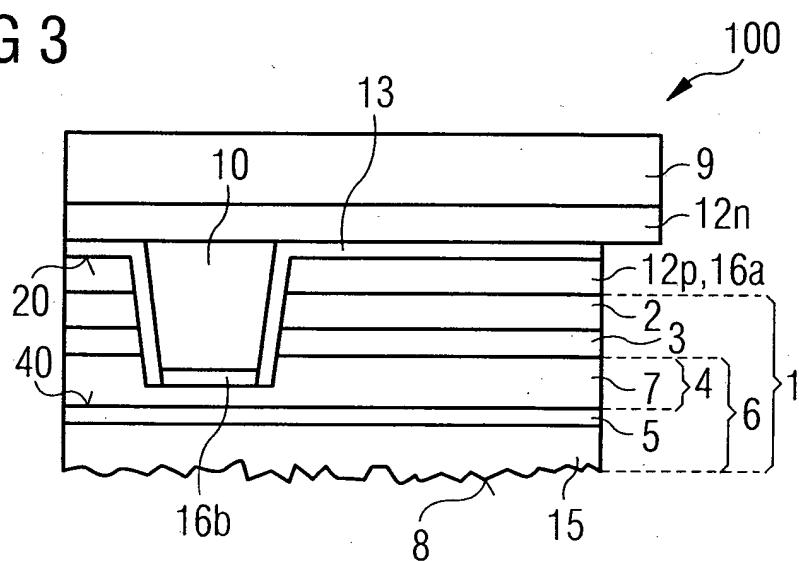


FIG 4

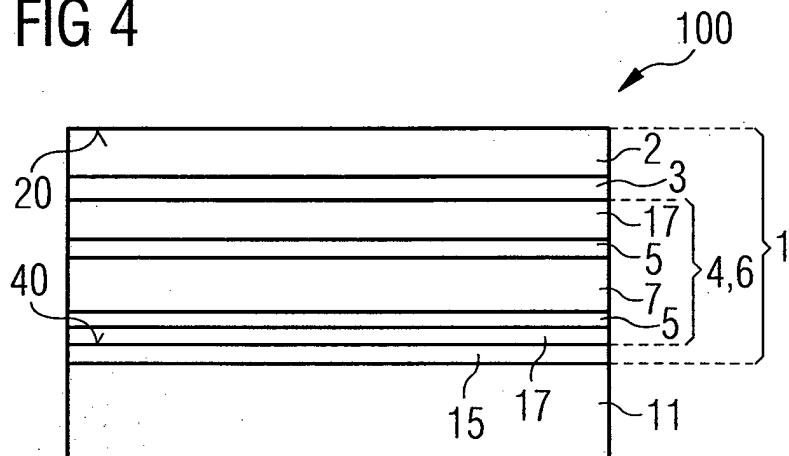


FIG 5

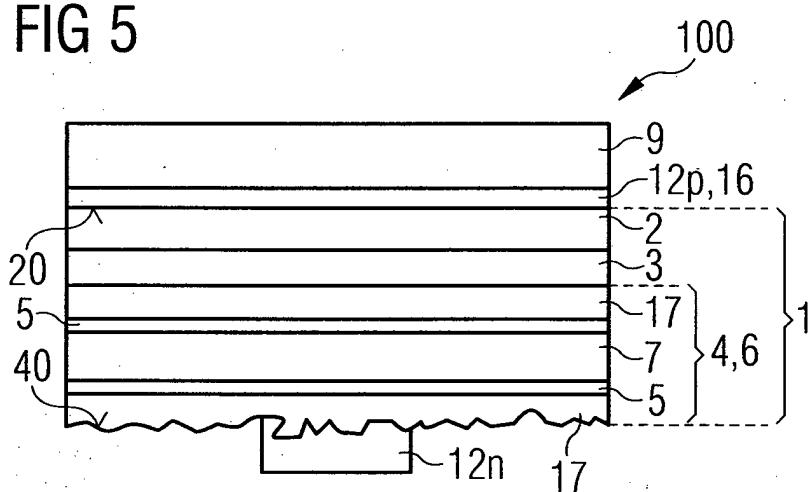
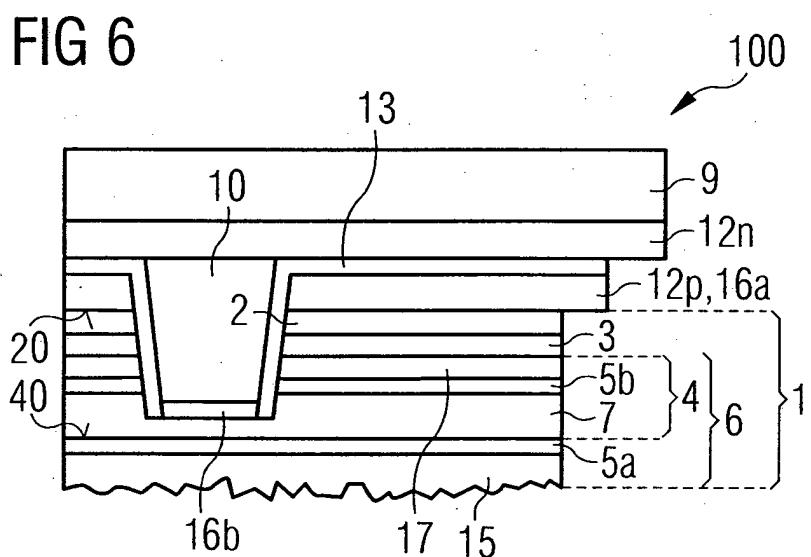


FIG 6



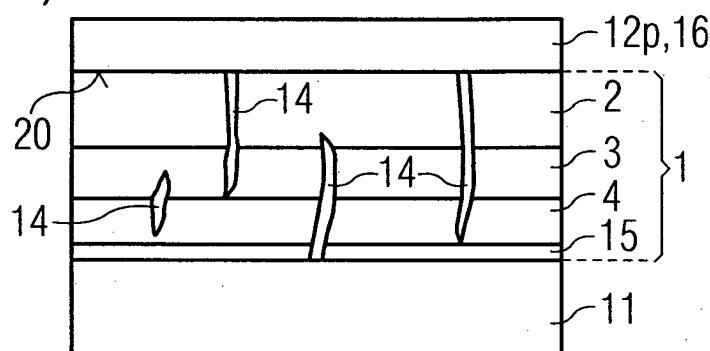
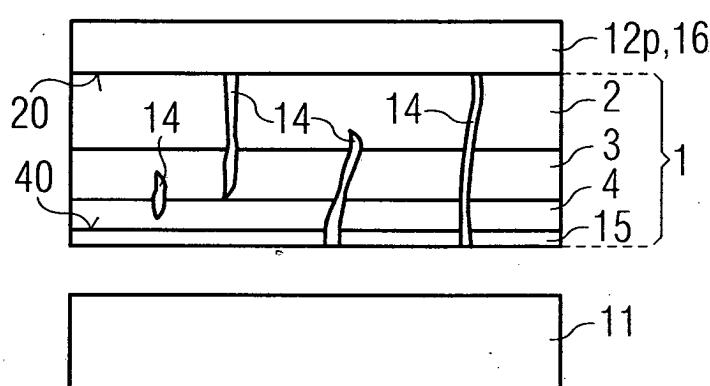
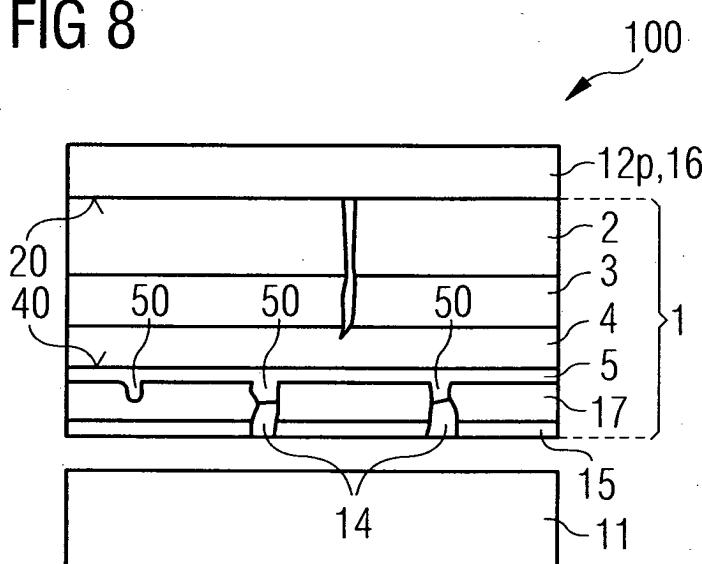
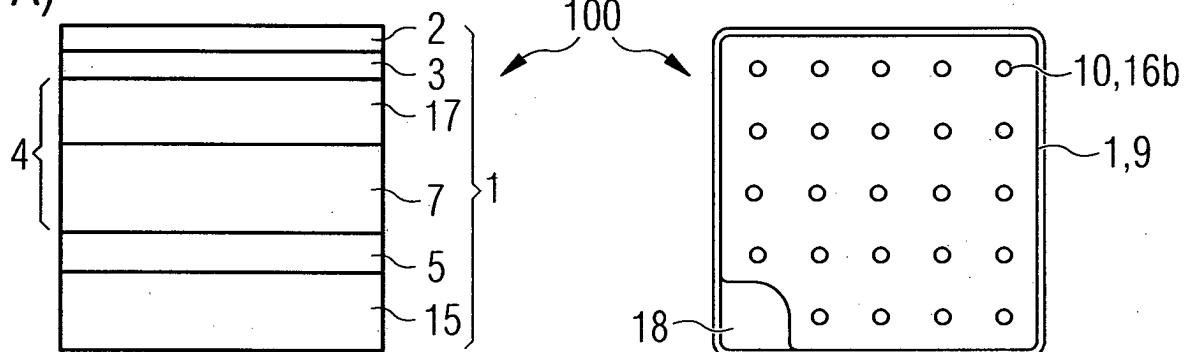
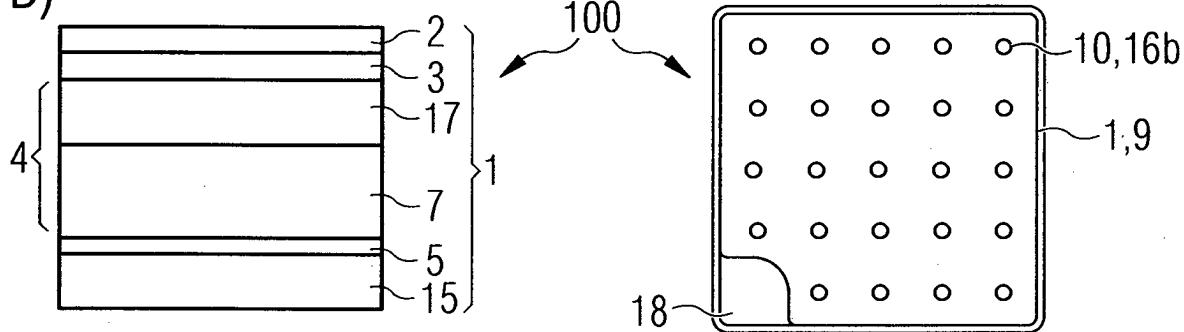
**FIG 7****A)****B)****FIG 8**

FIG 9

A)



B)



C)

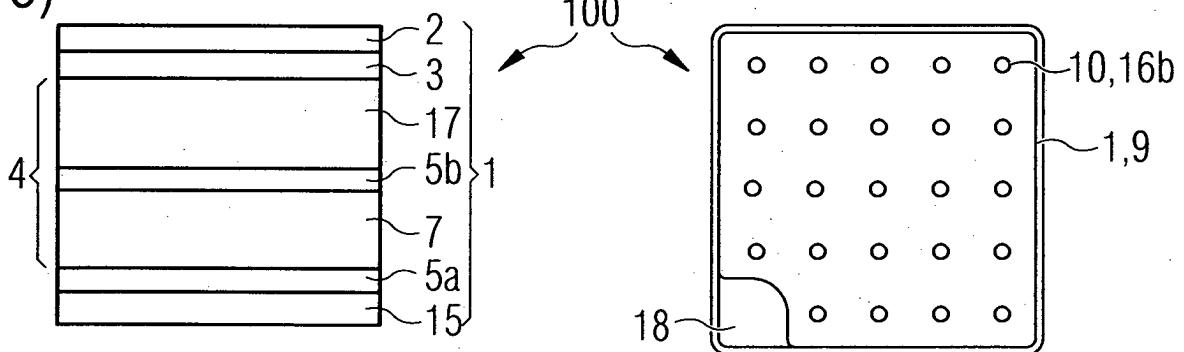


FIG 10

