



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 057 756.9

(51) Int Cl.: H01L 33/12 (2010.01)

(22) Anmelddatag: 30.11.2007

H01L 33/32 (2010.01)

(43) Offenlegungstag: 04.06.2009

H01L 33/62 (2010.01)

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 10.03.2022

H01L 31/0216 (2014.01)

H01L 31/036 (2006.01)

H01L 31/0224 (2006.01)

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 019113	A1
DE	10 2004 046788	A1
DE	699 23 919	T2
DE	699 26 856	T2
US	62 78 136	B1
US	2005 / 0 199 891	A1
US	2002/01 90 263	A1
WO	05/0 50 749	A1

(74) Vertreter:

Epping Hermann Fischer
Patentanwaltsgeellschaft mbH, 80639 München,
DE

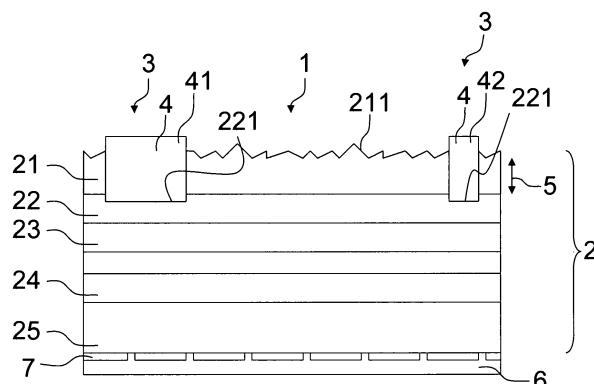
(72) Erfinder:

Weiss, Guido, 93059 Regensburg, DE; Hahn,
Berthold, Dr., 93155 Hemau, DE; Zehnder, Ulrich,
Dr., 93191 Rettenbach, DE; Weimar, Andreas, Dr.,
93055 Regensburg, DE

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterkörpers

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Halbleiterkörpers (1) mit den Schritten:

Bereitstellen einer epitaktischen Halbleiterschichtenfolge (2), die auf Nitrid-Verbindungshalbleitern basiert, mit einer epitaktischen Pufferschicht (21), einer aktiven Zone (24) und einer epitaktischen Kontaktsschicht (22), wobei die Pufferschicht (21) nominell undotiert oder zumindest teilweise n-leitend dotiert ist, die aktive Zone (24) geeignet ist, eine elektromagnetische Strahlung zu emittieren oder zu empfangen, die Kontaktsschicht (22) zwischen der Pufferschicht (21) und der aktiven Zone (24) angeordnet ist, und eine n-Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht (22) größer ist als in der Pufferschicht (21); Ausbilden einer Ausnehmung (3) durch die Pufferschicht (21) und mindestens bis zur Kontaktsschicht (22); und Anordnen von elektrischem Kontaktmaterial (4) in der Ausnehmung (3), so dass es an die Kontaktsschicht (22) angrenzt, wobei eine Außenfläche (211) der Pufferschicht (21) nach dem Anordnen des Kontaktmaterials (4) in der Ausnehmung (3) aufgeraut wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Halbleiterkörpers, wobei der optoelektronische Halbleiterkörper eine epitaktische Halbleiterschichtenfolge aufweist, die auf einem Nitrid-Verbindungshalbleiter basiert. Die Halbleiterschichtenfolge ist derart mit einem elektrischen Kontaktmaterial versehen, dass dieses an eine n-leitend dotierte epitaktische Halbleiterschicht der Halbleiterschichtenfolge angrenzt.

[0002] In der US 2007/0012944 A1 ist ein optoelektronischer Halbleiterkörper der eingangs genannten Art offenbart. Der beschriebene Halbleiterkörper weist beispielsweise eine n-leitend dotierte epitaktische Schicht aus GaN auf, die eine äußere Hauptfläche des Halbleiterkörpers bildet, welche von einer p-leitend dotierten epitaktischen Schicht abgewandt ist. Auf der Hauptfläche der n-leitend dotierten epitaktischen Halbleiterschicht ist ein elektrisches Kontaktmaterial in Form eines metallischen Bondpads angeordnet. Auf einer der Hauptfläche gegenüber liegenden Seite der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge grenzt ein weiteres elektrisches Kontaktmaterial an eine p-leitend dotierte epitaktische Halbleiterschicht an.

[0003] Auch die Druckschrift US 2005/0199891 A1 betrifft einen optoelektronischen Halbleiterkörper.

[0004] Es soll ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Halbleiterkörpers angegeben werden, bei dem ein besonders zuverlässiger elektrisch leitfähiger Kontakt zwischen einem elektrischen Kontaktmaterial und einem n-leitend dotierten epitaktischen Halbleitermaterial, das auf einem Nitrid-Verbindungshalbleiter basiert, realisierbar ist, wobei dieser Kontakt zudem einen möglichst geringen elektrischen Widerstand aufweisen soll.

[0005] Es wird ein optoelektronischer Halbleiterkörper mit einer epitaktischen Halbleiterschichtenfolge, die auf Nitrid-Verbindungshalbleitern basiert, angegeben. Die Halbleiterschichtenfolge weist eine epitaktische Pufferschicht, eine aktive Zone und eine zwischen der Pufferschicht und der aktiven Zone angeordnete epitaktische Kontaktsschicht auf. In einer Ausführungsform basieren insbesondere die Pufferschicht und die Kontaktsschicht auf Nitrid-Verbindungshalbleitern.

[0006] Auf Nitrid-Verbindungshalbleitern basierend bedeutet, dass die Halbleiterschichtenfolge mindestens eine Schicht und bevorzugt mehrere Schichten mit einem Material oder mehreren Materialien der Nitrid-Verbindungshalbleiter aufweist. Nitrid-Verbindungshalbleiter sind Verbindungshalbleitermaterialien, die Stickstoff enthalten, wie Materialien aus

dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Dabei muss dieses Material nicht zwangsläufig eine mathematisch exakte Zusammensetzung nach obiger Formel aufweisen. Vielmehr kann es ein oder mehrere Dotierstoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen, die die physikalischen Eigenschaften des Materials im Wesentlichen nicht ändern. Der Einfachheit halber beinhaltet obige Formel jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters (Al, Ga, In, N), auch wenn diese teilweise durch weitere Stoffe ersetzt oder ergänzt sein können.

[0007] Die Pufferschicht weist in einer Ausführungsform GaN auf. Zusätzlich oder alternativ weist die Kontaktsschicht GaN auf. Das bedeutet, dass in diesen Schichten jeweils sowohl Ga als N als wesentliche Bestandteile des Materials enthalten sind. Das Material der Schichten ist jedoch nicht notwendigerweise ein binäres Halbleitermaterial, sondern es kann auch ein ternäres oder ein quaternäres Halbleitermaterial sein. Ein Material, das GaN aufweist, kann im Sinne der vorliegenden Anmeldung insbesondere auch AlGaN, InGaN oder AlInGaN sein. In einer vorteilhaften Ausführungsform weist die Pufferschicht und zusätzlich oder alternativ die Kontaktsschicht binäres Halbleitermaterial mit GaN auf.

[0008] Der optoelektronische Halbleiterkörper weist in der Halbleiterschichtenfolge eine Ausnehmung auf, die sich von einer Seite der Halbleiterschichtenfolge aus durch die Pufferschicht hindurch erstreckt. Die Ausnehmung endet gemäß einer Ausführungsform des Halbleiterkörpers in einem Bereich der Kontaktsschicht.

[0009] In der Ausnehmung ist ein elektrisches Kontaktmaterial angeordnet, das in der Ausnehmung an die Kontaktsschicht angrenzt. Dies bietet die Möglichkeit, einen elektrischen Kontakt nicht oder nicht nur zwischen dem Kontaktmaterial und einer außen liegenden Schicht der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge auszubilden, sondern einen Kontakt insbesondere zwischen dem elektrischen Kontaktmaterial und der Kontaktsschicht, die von der Pufferschicht bedeckt ist und durch die Ausnehmung teilweise freigelegt wird, auszubilden. Dadurch kann die Pufferschicht beispielsweise mit Hinblick auf ihre Kristallqualität optimiert werden und die Kontaktsschicht hinsichtlich ihrer Kontaktierbarkeit mittels eines elektrischen Kontaktmaterials optimiert werden.

[0010] Das elektrische Kontaktmaterial ist kein Halbleitermaterial der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge. In einer Ausführungsform weist das elektrische Kontaktmaterial metallisch leitendes Material auf. In einer Weiterbildung enthält das Kontaktmaterial mindestens ein Metall und/oder mindestens ein transparentes elektrisch leitfähiges Oxid (TCO, transparent conductive oxide).

[0011] Eine weitere Ausführungsform des Halbleiterkörpers sieht vor, dass die Pufferschicht eine geringere n-Dotierstoffkonzentration als die Kontaktsschicht aufweist. Die Pufferschicht kann insbesondere nominell undotiert oder nur teilweise nominell n-leitend dotiert sein. In einer Ausgestaltung beträgt die maximale n-Dotierstoffkonzentration innerhalb der Pufferschicht weniger als $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger als $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Die maximale n-Dotierstoffkonzentration innerhalb der Pufferschicht kann mit Vorteil auch weniger als $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger als $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ betragen.

[0012] Die n-Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht beträgt in einer Ausführungsform mindestens $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ oder $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Generell ist eine möglichst hohe n-Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht vorteilhaft.

[0013] In einer weiteren Ausführungsform weist die Pufferschicht eine Dicke von größer als oder gleich $0,15 \mu\text{m}$, bevorzugt von $0,5 \mu\text{m}$ auf. Die Dicke kann insbesondere auch größer als $0,7 \mu\text{m}$ oder größer als $1 \mu\text{m}$ sein.

[0014] In einer weiteren Ausführungsform weist eine Außenfläche der Pufferschicht eine mittlere Rauigkeit auf, die mehr als 2-mal so groß ist wie die mittlere Rauigkeit einer Bodenfläche der Ausnehmung. Mit Vorteil ist die mittlere Rauigkeit der Außenfläche mehr als 5-mal so groß ist wie die mittlere Rauigkeit einer Bodenfläche der Ausnehmung.

[0015] Zusätzlich oder alternativ weist eine Außenfläche der Pufferschicht eine mittlere Rauigkeit auf, die mehr als 2 mal so groß ist wie die mittlere Rauigkeit einer von der Halbleiterschichtenfolge abgewandten Fläche des elektrischen Kontaktmaterials. Mit Vorteil ist die mittlere Rauigkeit der Außenfläche mehr als 5-mal so groß ist wie die mittlere Rauigkeit der von der Halbleiterschichtenfolge abgewandten Fläche des elektrischen Kontaktmaterials.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform ist das elektrische Kontaktmaterial mit einem Bondpad des Halbleiterkörpers elektrisch leitend verbunden oder bildet es ein Bondpad.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform erstreckt sich die Ausnehmung in die Kontaktsschicht hinein.

[0018] Eine weitere Ausführungsform sieht vor, dass der Halbleiterkörper frei von einem Epitaxiesubstrat ist.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform ist auf einer der Ausnehmung gegenüberliegenden Seite der Halbleiterschichtenfolge ein weiteres elektrisches Kontaktmaterial angeordnet.

[0020] Es wird eine Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Halbleiterkörpers angegeben, bei dem eine epitaktische Halbleiterschichtenfolge, die auf Nitrid-Verbindungshalbleitern basiert, bereitgestellt wird. Die Halbleiterschichtenfolge enthält eine epitaktische Pufferschicht, eine aktive Zone und eine epitaktische Kontaktsschicht. Die Pufferschicht ist nominell undotiert oder zumindest teilweise n-leitend dotiert. Die aktive Zone ist geeignet, eine elektromagnetische Strahlung zu emittieren oder zu empfangen. Die Kontaktsschicht ist zwischen der Pufferschicht und der aktiven Zone angeordnet. In einem weiteren Verfahrensschritt erfolgt ein Ausbilden einer Ausnehmung durch die Pufferschicht und mindestens bis zur Kontaktsschicht. Elektrisches Kontaktmaterial wird in der Ausnehmung angeordnet, so dass es an die Kontaktsschicht angrenzt.

[0021] In einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens ist eine n-Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht größer als in der Pufferschicht.

[0022] In einer weiteren Ausführungsform wird die Ausnehmung derart tief ausgebildet, dass sie sich in die Kontaktsschicht hinein erstreckt.

[0023] In einer weiteren Ausführungsform wird eine Außenfläche der Pufferschicht aufgeraut. Das Aufrauen der Außenfläche der Pufferschicht erfolgt nach dem Anordnen des Kontaktmaterials in der Ausnehmung.

[0024] Weitere Vorteile und Weiterbildungen des optoelektronischen Halbleiterkörpers und dem Verfahren ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren erläuterten Beispielen und dem Ausführungsbeispiel. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf ein Beispiel des optoelektronischen Halbleiterkörpers,

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht des in **Fig. 1** dargestellten optoelektronischen Halbleiterkörpers,

Fig. 3 eine schematische Schnittansicht des optoelektronischen Halbleiterkörpers gemäß eines zweiten Beispiels,

Fig. 4 eine schematische Schnittansicht des optoelektronischen Halbleiterkörpers gemäß eines dritten Beispiels,

Fig. 5 bis Fig. 7 schematische Schnittansichten einer epitaktischen Halbleiterschichtenfolge während verschiedenen Verfahrensstadien des Verfahrens gemäß eines Ausführungsbeispiels, und

Fig. 8 und Fig. 9 schematische Schnittansichten eines epitaktischen Halbleiterschichtenstapels während verschiedener Verfahrensstadien des Verfahrens gemäß eines weiteren Beispiels.

[0025] In den Ausführungsbeispielen und Figuren sind gleiche oder gleich wirkende Bestandteile jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Bestandteile sowie die Größenverhältnisse der Bestandteile untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen. Vielmehr sind einige Details der Figuren zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt.

[0026] Bei der in **Fig. 1** dargestellten Draufsicht auf einen optoelektronischen Halbleiterkörper 1 ist eine Pufferschicht 21 eines epitaktischen Halbleiterschichtenstapels sowie ein Kontaktmaterial 4 zu erkennen. Bei dem dargestellten Beispiel ist die Pufferschicht 21 eine äußere Schicht des Halbleiterschichtenstapels, das heißt ihre vom Halbleiterschichtenstapel abgewandte Hauptfläche grenzt den Halbleiterschichtenstapel auf einer seiner zwei Hauptseiten. Unter Hauptflächen einer Schicht sind jeweils die beiden einander gegenüberliegenden Flächen zu verstehen, die die Schicht senkrecht zu ihrer Haupterstreckungsebene begrenzen. Entsprechend sind die Hauptseiten des Halbleiterschichtenstapels diejenigen beiden Seiten, die durch Hauptflächen von Schichten des Halbleiterschichtenstapels begrenzt sind.

[0027] Die Pufferschicht muss jedoch nicht notwendigerweise die äußere Schicht sein. Vielmehr kann sie beispielsweise zumindest teilweise von einer weiteren epitaktischen Halbleiterschicht des Schichtenstapels bedeckt sein, welche beispielsweise den wesentlichen Teil der Außenfläche auf diese Hauptseite des Halbleiterschichtenstapels bildet.

[0028] Das elektrische Kontaktmaterial 4 ist in Form eines Rahmens ausgebildet. In **Fig. 1** ist der Rahmen geschlossen, er könnte jedoch auch unterbrochen sein. Ebenso ist es grundsätzlich möglich, dass das elektrische Kontaktmaterial 4 in einer beliebigen anderen Form auf dem Halbleiterschichtenstapel aufgebracht ist.

[0029] Ein Teil des elektrischen Kontaktmaterials 4 bildet ein Bondpad 41 oder ist elektrisch leitend mit dem Bondpad 41 verbunden. Das Bondpad 41 hat eine Außenfläche, die geeignet ist, daran einen Bonddraht mechanisch und elektrisch leitfähig mit dem Material, das die Außenfläche des Bondpads bildet, zu befestigen.

[0030] Vom Bondpad 41 gehen elektrische Kontaktbahnen 42 aus. Diese haben den Zweck, dass elektrischer Strom bei Betrieb des optoelektronischen Halbleiterkörpers möglichst gleichmäßig über gesamte Halbleiterschichtenfolge verteilt in die Halbleiterschichtenfolge injiziert wird. Die Kontaktbahnen 42 verlaufen beispielsweise entlang des seitlichen Randes der Halbleiterschichtenfolge. Es ist jedoch beispielsweise auch möglich, dass mindestens eine

Kontaktbahn durch die Mitte der Halbleiterschichtenfolge verläuft.

[0031] In den **Fig. 2** bis **Fig. 9** sind jeweils schematische Schnittansichten des optoelektronischen Halbleiterkörpers oder der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge gemäß verschiedener Beispiele dargestellt, wobei diese Schnittansichten in etwa einer Draufsicht auf einen Schnitt entlang der in **Fig. 1** eingezeichneten gestrichelten Linie AB entsprechen.

[0032] Bei dem in **Fig. 2** veranschaulichten Beispiel ist das elektrische Kontaktmaterial 4 in mindestens einer Ausnehmung 3 angeordnet. Die Ausnehmung 3 erstreckt sich von einer äußeren Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge 2 durch die Pufferschicht 21 hindurch und mindestens bis zu der Kontaktsschicht 22. Bei dem veranschaulichten Beispiel grenzt die Pufferschicht unmittelbar an die Kontaktsschicht 22 an. Es ist jedoch grundsätzlich auch möglich, dass zwischen der Pufferschicht und der Kontaktsschicht noch mindestens eine weitere Halbleiterschicht angeordnet ist.

[0033] Die Ausnehmung 3 erstreckt sich zum Beispiel in die Kontaktsschicht 22 hinein. Bezogen auf eine Gesamtdicke der Kontaktsschicht 22 kann sich die Ausnehmung beispielsweise von einschließlich 20 % bis einschließlich 80 % der Dicke in die Kontaktsschicht 22 hinein erstrecken. Beispielsweise endet die Ausnehmung 3 ungefähr bei halber Dicke der Kontaktsschicht 22. Die Dicke wird senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene der Kontaktsschicht gemessen.

[0034] In der Ausnehmung 3 ist elektrisches Kontaktmaterial 4 angeordnet, das innerhalb der Ausnehmung an die Kontaktsschicht 22 angrenzt. Das Kontaktmaterial 4 grenzt insbesondere an eine Bodenfläche 221 der Ausnehmung 3, die zumindest teilweise durch Material der Kontaktsschicht 22 gebildet ist. An der Grenzfläche zwischen der Bodenfläche 221 und dem elektrischen Kontaktmaterial 4 ist ein elektrisch gut leitender Kontakt zwischen dem Kontaktmaterial 4 und der Kontaktsschicht 22 ausgebildet. Der elektrische Kontakt hat näherungsweise die Eigenschaften eines ohmschen Kontakts. In der Fachwelt wird er deshalb häufig vereinfachend ohmscher Kontakt genannt.

[0035] Das elektrische Kontaktmaterial 4 ragt teilweise aus der Ausnehmung 3 heraus, das heißt ein Teil des elektrischen Kontaktmaterials 4 ragt von dem epitaktischen Halbleiterschichtenstapel 2 weg. Dadurch ist das elektrische Kontaktmaterial 4, insbesondere im Bereich des Bondpads 41, gut von außen elektrisch kontaktierbar.

[0036] Die Ausnehmung 3 weist eine Tiefe auf, die mindestens so groß ist wie die Dicke 5 der Puffer-

schicht 21. Bevorzugt ist die Tiefe der Ausnehmung 3 größer als die Dicke 5 der Pufferschicht 21. Die Dicke 5 der Pufferschicht 21 beträgt beispielsweise mehr als 0,15 µm. Sie beträgt beispielsweise auch weniger als 5 µm. Gut geeignete Dicken 5 sind beispielsweise 0,5 µm, 1 µm, 1,5 µm oder 2 µm.

[0037] Der Halbleiterkörper ist insbesondere ein strahlungsemittierender und/oder strahlungsdetektornder Halbleiterchip auf Basis von Nitrid-Verbindungshalbleitern. Darunter fallen vorliegend insbesondere solche Halbleiterchips, bei denen die epitaktisch hergestellte Halbleiterschichtenfolge mindestens eine Einzelschicht enthält, die ein Material aus dem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial-System aufweist.

[0038] Die aktive Zone weist einen pn-Übergang, eine Doppelheterostruktur, einen Einfachquantentopf (SQW, single quantum well) oder eine Mehrfachquantentopfstruktur (MQW, multi quantum well) zur Strahlungserzeugung auf. Die Bezeichnung Quantentopfstruktur entfaltet hierbei keine Bedeutung hinsichtlich der Dimensionalität der Quantisierung. Sie umfasst somit unter anderem Quantentröge, Quantendrähte und Quantenpunkte und jede Kombination dieser Strukturen. Beispiele für MQW-Strukturen sind in den Druckschriften WO 2001 / 039 282 A2, US 5 831 277 A, US 6 172 382 B1 und US 5 684 309 A beschrieben.

[0039] Beispielsweise sind die Pufferschicht 21 und die Kontaktsschicht 22 jeweils eine GaN-Schicht.

[0040] Die Außenfläche 211 der Pufferschicht 21 ist aufgeraut. Sie weist Unebenheiten auf, die geeignet sind, Totalreflektionen an der Außenfläche 211 zu verringern und eine Strahlungsauskopplung über die Außenfläche 211 und aus dem Halbleiterschichtenstapel 2 zu erhöhen. Die Außenfläche 211 ist insbesondere mikrostrukturiert. Ein Halbleiterchip mit einer mikrostrukturierten Auskoppelfläche sowie ein Verfahren zur Mikrostrukturierung einer Strahlungsauskoppelfläche einer strahlungsemittierenden Halbleiterschichtenfolge auf der Basis von Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial ist beispielsweise in der WO 2005/106972 offenbart, deren Offenbarungsgehalt insofern hiermit in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0041] Die Bodenfläche 221 der Ausnehmung 3 ist im Unterschied zur Außenfläche 211 der Pufferschicht 21 möglichst eben. Sie weist eine Rauigkeit auf, die beispielsweise mehr als 5-mal geringer ist als die Rauigkeit der Außenfläche 211. Es wurde festgestellt, dass eine möglichst glatte Bodenfläche 221 vorteilhaft für das Ausbilden eines elektrisch leitfähigen Kontaktes zwischen dem Kontaktmaterial 4 und der Kontaktsschicht 22 ist.

[0042] Das Kontaktmaterial 4 weist beispielsweise ein Metall oder mehrere Metalle auf oder besteht aus einem oder mehreren Metallen. Zusätzlich oder alternativ kann das elektrische Kontaktmaterial 4 jedoch auch ein transparentes elektrisch leitfähiges Oxid, ein so genanntes TCO wie zum Beispiel Indiumzinnoxid (ITO) aufweisen.

[0043] In einem Ausführungsbeispiel weist das Kontaktmaterial 4 eine Schicht mit Titan, die an die Bodenfläche 221 angrenzt, eine auf der Schicht mit Titan aufgebrachte Schicht mit Platin sowie eine auf der Schicht mit Platin aufgebrachte Schicht mit Gold auf. Die Schicht mit Titan weist beispielsweise eine Dicke zwischen einschließlich 50 und einschließlich 200 nm auf, z.B. 100 nm. Die Schicht mit Platin weist beispielsweise eine Dicke zwischen einschließlich 50 und einschließlich 300 nm auf, z.B. 100 nm. Die Schicht mit Gold weist beispielsweise eine Dicke zwischen einschließlich 0,5 µm und einschließlich 4 µm auf. Die Schichten, insbesondere die Schicht mit Gold, können auch noch dicker sein. Die Schichten können jeweils auch aus dem angegebenen Material bestehen.

[0044] Die Pufferschicht 21 ist beispielsweise eine nominell undotierte GaN-Schicht. Nominell undotiert heißt, dass sie eine deutlich geringere n-Dotierstoffkonzentration aufweist als nominell n-leitend dotierte Halbleiterschichten des epitaktischen Halbleiterschichtenstapels 2. Beispielsweise ist die Dotierstoffkonzentration in der gesamten Pufferschicht kleiner als $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, bevorzugt kleiner als $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, besonders bevorzugt kleiner als $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Die Dotierstoffkonzentration kann beispielsweise maximal ungefähr $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ betragen.

[0045] Alternativ kann die Pufferschicht 21 auch zumindest teilweise n-leitend dotiert sein. Die Dotierstoffkonzentration in der Pufferschicht 21 ist jedoch geringer als die Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht 22. Beispielsweise beträgt die Dotierstoffkonzentration in der Pufferschicht 21 überall weniger als $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Verglichen mit der Pufferschicht weist die Kontaktsschicht 22 eine relativ große Dotierstoffkonzentration auf. Die Kontaktsschicht ist beispielsweise n-leitend dotiert, mit einer Dotierstoffkonzentration von beispielsweise größer als oder gleich $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Zum Beispiel beträgt die n-Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht etwa $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr. Es ist auch möglich, dass nur ein Teil der Kontaktsschicht 22 eine derart hohe Dotierstoffkonzentration aufweist, und die Dotierstoffkonzentration in übrigen Teilen der Kontaktsschicht 22 etwas geringer ist.

[0046] Es wurde festgestellt, dass sich die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 2 sowohl hinsichtlich ihrer Kristallqualität als auch hinsichtlich ihrer elektrischen Kontaktierbarkeit vorteilhaft realisieren lässt,

wenn eine Dotierstoffkonzentration in der Pufferschicht 21 möglichst gering ist und die Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht 22 verglichen damit möglichst hoch ist. Eine möglichst dicke, möglichst gering dotierte Pufferschicht 21 kann sich positiv auf die Kristallqualität der Halbleiterschichtenfolge auswirken.

[0047] Der in **Fig. 2** dargestellte Halbleiterkörper 1 ist beispielsweise frei von einem Epitaxiesubstrat. Die Halbleiterschichtenfolge 2 ist beispielsweise beginnend mit der Pufferschicht 21 auf einem Epitaxiesubstrat gewachsen worden. Nachfolgend wurde das Epitaxiesubstrat entfernt. Dabei kann jegliches Material des Epitaxiesubstrats vollständig entfernt sein. Alternativ ist jedoch auch möglich, dass ein Teil vom Material des Epitaxiesubstrats als Teil des Halbleiterkörpers verbleibt und nicht entfernt wird.

[0048] Im Allgemeinen ist der optoelektronische Halbleiterkörper insbesondere ein Dünnfilm-Lumineszenzdiodenchip.

[0049] Ein Dünnfilm-Lumineszenzdiodenchip zeichnet sich insbesondere durch mindestens eines der folgenden charakteristischen Merkmale aus:

- an einer zu einem Trägerelement hin gewandten ersten Hauptfläche der strahlungserzeugenden, epitaktischen Halbleiterschichtenfolge ist eine reflektierende Schicht aufgebracht oder ausgebildet, die zumindest einen Teil der in der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge erzeugten elektromagnetischen Strahlung in diese zurückreflektiert;
- der Dünnfilmhalbleiterchip enthält ein Trägerelement, bei dem es sich nicht um das Aufwachsubstrat handelt, auf dem die Halbleiterschichtenfolge epitaktisch gewachsen wurde, sondern um ein separates Trägerelement, das nachträglich an der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge befestigt wurde,
- das Aufwachsubstrat der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge ist von der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge entfernt oder derart gedünnt, dass es zusammen mit der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge alleine nicht freitragend ist, oder
- die epitaktische Halbleiterschichtenfolge weist eine Dicke im Bereich von 20 µm oder weniger, insbesondere im Bereich von 10 µm auf.

[0050] Das Trägerelement ist bevorzugt durchlässig für eine von dem Halbleiterchip emittierte Strahlung ausgebildet.

[0051] Weiterhin enthält die epitaktische Halbleiterschichtenfolge bevorzugt mindestens eine Halbleiterschicht mit zumindest einer Fläche, die eine

Durchmischungsstruktur aufweist, die im Idealfall zu einer annähernd ergodischen Verteilung des Lichtes in der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge führt, d.h. sie weist ein möglichst ergodisch stochastisches Streuverhalten auf.

[0052] Ein Grundprinzip eines Dünnfilm-Halbleiterchips ist beispielsweise in I. Schnitzer et al., Appl. Phys. Lett. 63 (16), 18. Oktober 1993, 2174 - 2176 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt insofern hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird. Beispiele für Dünnfilm-Halbleiterchips sind in den Druckschriften EP 0905797 A2 und WO 02/13281 A1 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt insofern hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

[0053] Der Halbleiterkörper muss jedoch kein Lumineszenzdiodenchip, sondern kann auch ein strahlungsdetektierender Chip, beispielsweise für einen optischen Sensor sein.

[0054] Bei dem in **Fig. 2** dargestellten Halbleiterkörper ist auf einer der Ausnehmung 3 gegenüber liegenden Seite der Halbleiterschichtenfolge 2 beispielsweise ein weiteres elektrisches Kontaktmaterial 6 angeordnet, das eine Kontaktelektrode des Halbleiterkörpers 1 bildet. Das Kontaktmaterial 4 in der Ausnehmung 3 bildet eine n-Elektrode oder einen Teil einer solchen n-Elektrode. Das Kontaktmaterial 6 der gegenüberliegenden Elektrode ist auf einer elektrisch isolierenden Schicht 7 aufgebracht.

[0055] Die elektrisch isolierende Schicht 7 weist beispielsweise ein dielektrisches Material wie zum Beispiel Siliziumdioxid auf oder besteht aus einem solchen. Zudem enthält die Schicht 7 mindestens eine Ausnehmung, die sich vertikal durch die Schicht 7 erstreckt. In dem Bereich der Ausnehmung ist der Halbleiterschichtenstapel 2 elektrisch leitend kontaktierbar. Bevorzugt weist die elektrisch isolierende Schicht 7 eine Mehrzahl derartiger Ausnehmungen auf. Eine derartige Kombination aus elektrisch isolierendem Material 7 und elektrischem Kontaktmaterial 6 kann eine hohe Reflektivität aufweisen.

[0056] Die Halbleiterschichtenfolge 2 weist neben der Pufferschicht 21 und der Kontaktsschicht 22 beispielsweise eine aktive Zone 24 und eine p-leitend dotierte Halbleiterschicht 25 auf. Zwischen der p-leitend dotierten Halbleiterschicht 25 und dem elektrischen Kontaktmaterial 6 kann beispielsweise optional eine n-leitend dotierte Halbleiterschicht angeordnet sein, die jedoch nicht in **Fig. 2** dargestellt ist. In diesem Fall kann zwischen der p-leitend dotierten Halbleiterschicht 25 und dieser n-leitend dotierten Halbleiterschicht ein Tunnelkontakt ausgebildet sein.

[0057] Weiterhin ist es möglich, dass zwischen der Kontaktsschicht 22 und der aktiven Zone 24 eine oder mehrere weitere Halbleiterschichten angeordnet

sind. Beispielsweise ist an dieser Stelle eine n-leitend dotierte Halbleiterschicht 23 angeordnet, die an die Kontaktsschicht 22 angrenzt und mit einer Dotierstoffkonzentration von etwa $3,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-leitend dotiert ist. Als n-Dotierstoff ist zum Beispiel Silizium geeignet.

[0058] Bei dem in **Fig. 3** veranschaulichten Halbleiterkörper 1 ist im Unterschied zu dem vorhergehend im Zusammenhang mit **Fig. 2** beschriebenen Beispiel zumindest ein Teil des elektrischen Kontaktmaterials 4 in der Ausnehmung 3 mit einem elektrisch isolierenden Material 43 unterlegt. Beispielsweise ist das Bondpad 41 teilweise oder vollständig mit dem isolierenden Material 43 unterlegt. Als isolierendes Material eignet sich ein Dielektrikum, beispielsweise Siliziumdioxid. Das isolierende Material ist auf der Bodenfläche 221 der Ausnehmung aufgebracht, es grenzt insbesondere an die Bodenfläche an. Durch das elektrisch isolierende Material 43 kann vermieden werden, dass bei Betrieb des Halbleiterkörpers eine zu hohe lokale elektrische Stromdichte unterhalb des Bondpads 41 besteht, die sich negativ auf die Funktionalität des optoelektronischen Halbleiterkörpers auswirken könnte.

[0059] Bei dem in **Fig. 4** veranschaulichten Beispiel weist die Ausnehmung 3 unterschiedlich tief ausgebildete Bereiche auf. Beispielsweise sind Teile der Ausnehmung 3, in denen die elektrische Kontaktbahn 42 angeordnet ist, tiefer ausgebildet als Teile der Ausnehmung, in denen das Bondpad 41 angeordnet ist. Grundsätzlich ist es auch möglich, dass das Bondpad 41 teilweise oder ganz außerhalb der Ausnehmung 3 angeordnet ist, das heißt das Bondpad ist zumindest teilweise auf der Außenfläche 211 angeordnet.

[0060] Im Bereich der Kontaktbahnen 42 ist das Kontaktmaterial 4 vollständig innerhalb der Ausnehmung 3 angeordnet, das heißt das Kontaktmaterial ragt nicht aus der Ausnehmung 3 heraus. Im Bereich des Bondpads 41 ragt das Kontaktmaterial 4 dagegen zumindest teilweise vom Halbleiterschichtenstapel 2 weg, was günstig hinsichtlich der äußereren elektrischen Kontaktierbarkeit des Halbleiterkörpers 1 ist. Es ist jedoch grundsätzlich auch möglich, dass auch das elektrische Kontaktmaterial 4, das das Bondpad 41 bildet, zumindest in Teilbereichen oder insgesamt vollständig in der Ausnehmung 3 angeordnet ist und nicht über die Ausnehmung 3 hinausragt oder bis zum Rand der Ausnehmung hinreicht.

[0061] In den **Fig. 5** bis **Fig. 7** ist ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens veranschaulicht. Bei dem Verfahren wird eine Halbleiterschichtenfolge 2 bereitgestellt, die eine Pufferschicht 21, eine Kontaktsschicht 22, eine n-leitend dotierte Schicht 23, eine aktive Zone 24 und eine p-leitend dotierte Schicht 25 aufweist. Die Halbleiterschichtenfolge

kann noch weitere Schichten enthalten, beispielsweise zwischen der n-leitend dotierten Schicht 23 und der aktiven Zone 24.

[0062] Auf einer ihrer zwei Hauptseiten weist die Halbleiterschichtenfolge eine Außenfläche 211 auf. Diese Außenfläche ist beispielsweise durch eine der zwei Hauptflächen der Pufferschicht 21 gebildet.

[0063] Die epitaktische Halbleiterschichtenfolge 2 kann hergestellt werden, indem die Schichten auf einem geeigneten Epitaxiesubstrat aufgewachsen werden. Das Epitaxiesubstrat weist beispielsweise Siliziumcarbid oder Saphir auf. Die Halbleiterschichtenfolge 2 wird dabei zum Beispiel mit der Pufferschicht 21 beginnend auf dem Epitaxiesubstrat aufgewachsen. Nachfolgend wird das Epitaxiesubstrat zum Beispiel von der Halbleiterschichtenfolge entfernt.

[0064] Vorzugsweise vor dem Entfernen des Epitaxiesubstrats kann die in den **Fig. 2** bis **Fig. 4** jeweils dargestellte Kontaktstruktur mit einer elektrisch isolierenden Schicht 7 und einem elektrischen Kontaktmaterial 6 ausgebildet werden, was in den **Fig. 5** bis **Fig. 7** jedoch nicht veranschaulicht ist. Das Ausbilden dieser Kontaktstruktur kann jedoch grundsätzlich auch nach dem Entfernen des Epitaxiesubstrats erfolgen.

[0065] Nachfolgend wird in der Halbleiterschichtenfolge 2 mindestens eine Ausnehmung 3 ausgebildet. Das Ausbilden der Ausnehmung kann beispielsweise fotolithografisch unter Verwendung einer fotostrukturierbaren Maskenschicht erfolgen. Eine derartige Maskenschicht ist in den **Fig. 6** und **Fig. 7** nicht dargestellt, obwohl sie in einer zweckmäßigen Ausführungsform auch während des Aufbringens des elektrischen Kontaktmaterials 4 vorhanden sein kann, siehe **Fig. 7**. Unerwünschtes elektrisches Kontaktmaterial kann dann mit Vorteil in einem Lift-off Prozess zusammen mit der fotostrukturierbaren Maskenschicht entfernt werden. Derartige Verfahrensschritte sind dem Fachmann grundsätzlich bekannt.

[0066] Das Ausbilden der Ausnehmung kann beispielsweise unter Verwendung von Reaktivem-Ionen-Ätzen und/oder beispielsweise nasschemisch erfolgen. Auch für das Aufbringen von dem elektrischen Kontaktmaterial 4 können herkömmliche Verfahrensschritte wie zum Beispiel Aufdampfen und/oder Aufputtern verwendet werden.

[0067] Bei dem Ausführungsbeispiel des Verfahrens erfolgt ein Verfahrensschritt zum Aufrauen der Außenfläche 211 erst nach dem Anordnen des elektrischen Kontaktmaterials in der Ausnehmung 3. Dadurch kann auf einfache Weise gewährleistet werden, dass die Bodenfläche der Ausnehmung 221

möglichst eben oder glatt ausgebildet wird und durch einen Verfahrensschritt zum Aufrauen diesbezüglich nicht mehr beeinträchtigt werden kann. Ein Verfahren zum Aufrauen der Außenfläche 211 ist beispielsweise in der WO 2005/106972 offenbart, deren Offenbarungsgehalt vorhergehend bereits durch Rückbezug in dieser Anmeldung aufgenommen ist. Der aus dem Verfahren resultierende Halbleiterkörper 1 ist in **Fig. 2** veranschaulicht.

[0068] Ein alternatives Beispiel für das Verfahren ist in den **Fig. 8** und **Fig. 9** veranschaulicht. Ein Unterschied ist, dass ein Verfahrensschritt zum Aufrauen der Außenfläche 211 vor dem Ausbilden der Ausnehmung 3 erfolgt. Die Ausnehmung 3 wird beispielsweise durch ein Ätzen in eine raue Oberfläche hinein erstellt, was zur Folge hat, dass die Bodenfläche 211 der Ausnehmung 3 ebenfalls rau ist. Die Rauigkeit der Bodenfläche 221 kann dabei etwas weniger stark ausgeprägt sein als die Rauigkeit der Außenfläche 211. Beispielsweise ist die Rauigkeit der Bodenfläche 221 jedoch weniger als 5-mal oder weniger als 2-mal kleiner als die Rauigkeit der Außenfläche 211. Es wurde festgestellt, dass selbst bei einer rauen Bodenfläche 221 ein guter elektrisch leitfähiger Kontakt zwischen dem elektrischen Kontaktmaterial 4 und der Kontaktsschicht 22 ausgebildet werden kann. Obwohl eine möglichst glatte Bodenfläche der Ausnehmung vorteilhaft erscheint, kann die Bodenfläche 221 jedoch auch rau ausgebildet sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Halbleiterkörpers (1) mit den Schritten:
Bereitstellen einer epitaktischen Halbleiterschichtenfolge (2), die auf Nitrid-Verbindungshalbleitern basiert, mit einer epitaktischen Pufferschicht (21), einer aktiven Zone (24) und einer epitaktischen Kontaktsschicht (22), wobei
die Pufferschicht (21) nominell undotiert oder zumindest teilweise n-leitend dotiert ist,
die aktive Zone (24) geeignet ist, eine elektromagnetische Strahlung zu emittieren oder zu empfangen,
die Kontaktsschicht (22) zwischen der Pufferschicht (21) und der aktiven Zone (24) angeordnet ist, und eine n-Dotierstoffkonzentration in der Kontaktsschicht (22) größer ist als in der Pufferschicht (21);
Ausbilden einer Ausnehmung (3) durch die Pufferschicht (21) und mindestens bis zur Kontaktsschicht (22); und Anordnen von elektrischem Kontaktmaterial (4) in der Ausnehmung (3), so dass es an die Kontaktsschicht (22) angrenzt, wobei
eine Außenfläche (211) der Pufferschicht (21) nach dem Anordnen des Kontaktmaterials (4) in der Ausnehmung (3) aufgeraut wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Ausnehmung (3) derart tief ausgebildet wird, dass sie sich in die Kontaktsschicht (22) hinein erstreckt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Pufferschicht (21) eine Dicke (5) von größer als oder gleich $0,15 \mu\text{m}$ aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Pufferschicht (21) eine Dicke (5) von größer als oder gleich $0,5 \mu\text{m}$ aufweist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei eine Außenfläche (211) der Pufferschicht (21) eine mittlere Rauigkeit aufweist, die mehr als 2-mal so groß ist wie die mittlere Rauigkeit einer Bodenfläche (221) der Ausnehmung (3).
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die mittlere Rauigkeit der Außenfläche (211) der Pufferschicht (21) mindestens 5-mal so groß ist wie die mittlere Rauigkeit der Bodenfläche (221) der Ausnehmung (3).
7. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei das elektrische Kontaktmaterial (4) mit einem Bondpad (41) des Halbleiterkörpers (1) elektrisch leitend verbunden ist oder ein Bondpad (41) bildet.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die Kontaktsschicht (22) eine Dotierstoffkonzentration von größer als oder gleich $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die Kontaktsschicht (22) eine Dotierstoffkonzentration von größer als oder gleich $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ aufweist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei sich die Ausnehmung (3) in die Kontaktsschicht (22) hinein erstreckt.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei der Halbleiterkörper (1) frei von einem Epitaxiesubstrat ist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei auf einer der Ausnehmung (3) gegenüberliegenden Seite der Halbleiterschichtenfolge (2) ein weiteres elektrisches Kontaktmaterial angeordnet ist.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die mittlere Rauigkeit der Außenfläche (211) der Pufferschicht (21) mindestens 5-mal so groß ist wie die mittlere Rauigkeit einer von der Halbleiterschichtenfolge (2) abge-

wandten Fläche des elektrischen Kontaktmaterials
(4).

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig 1

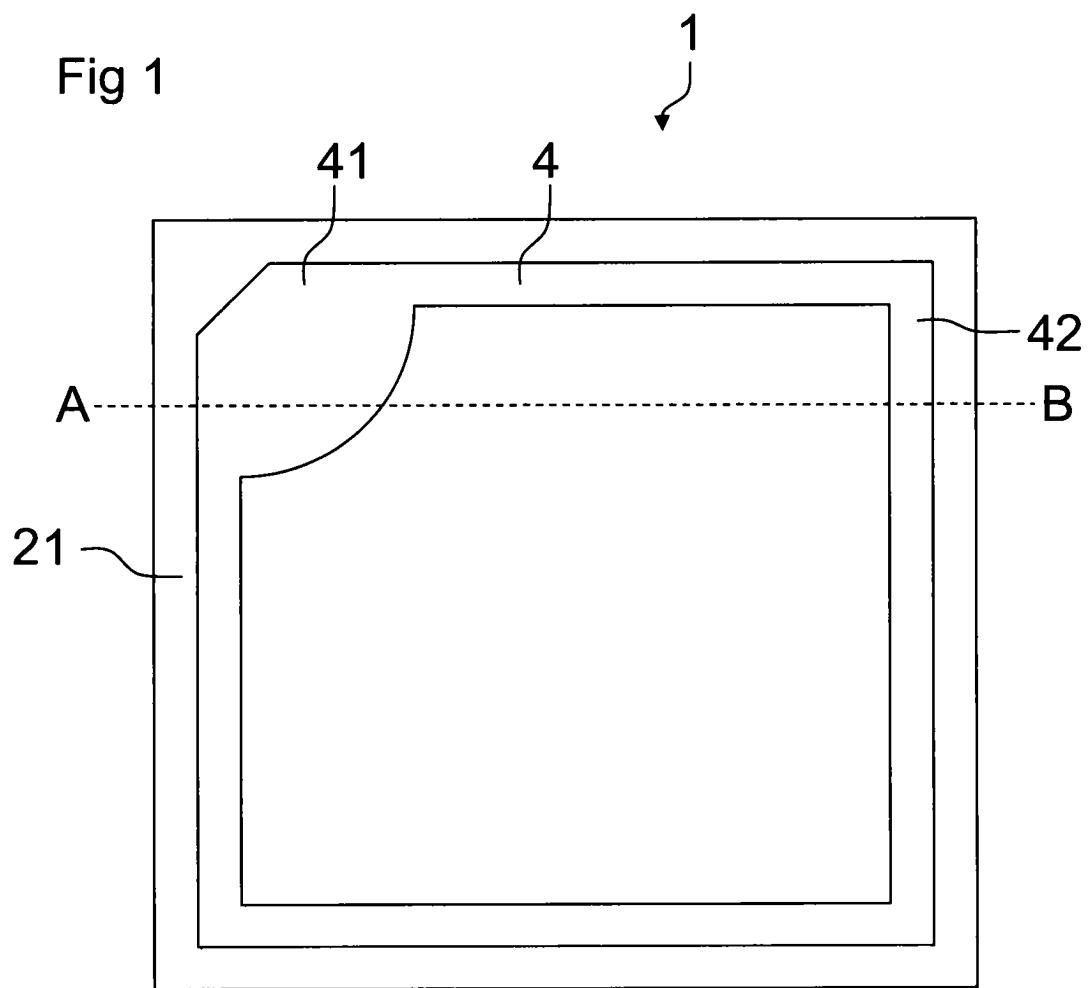


Fig 2

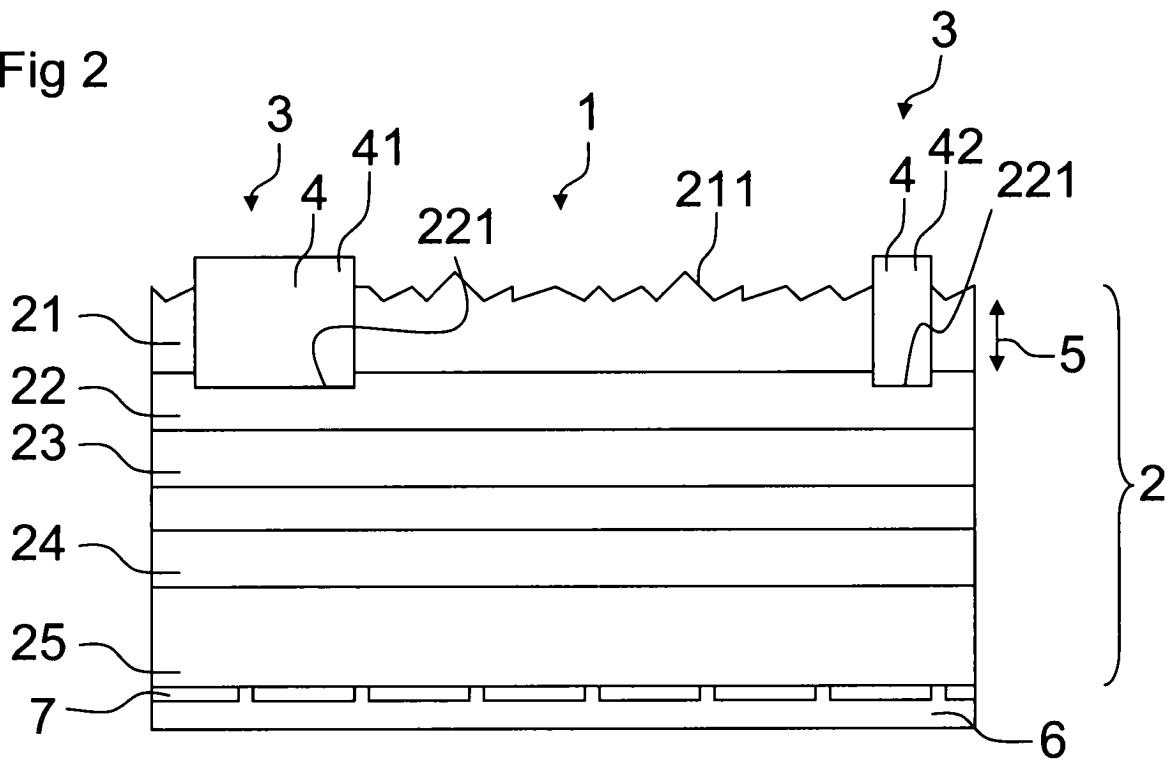


Fig 3

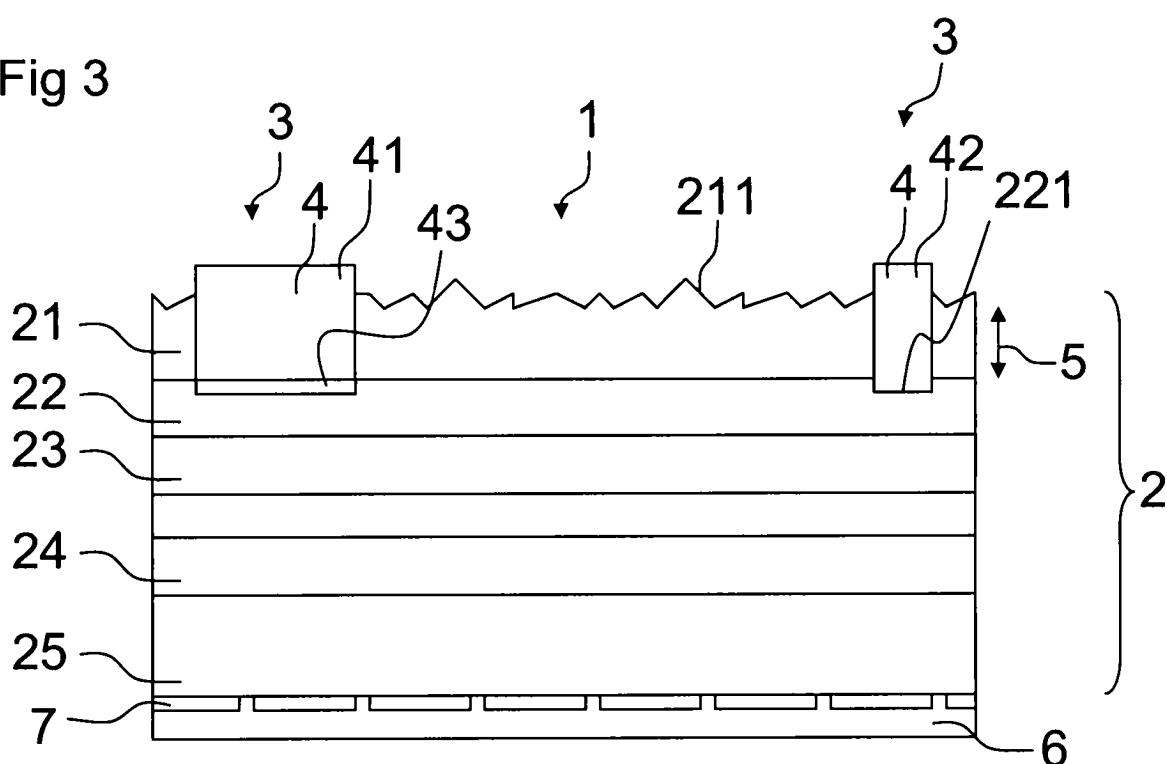


Fig 4

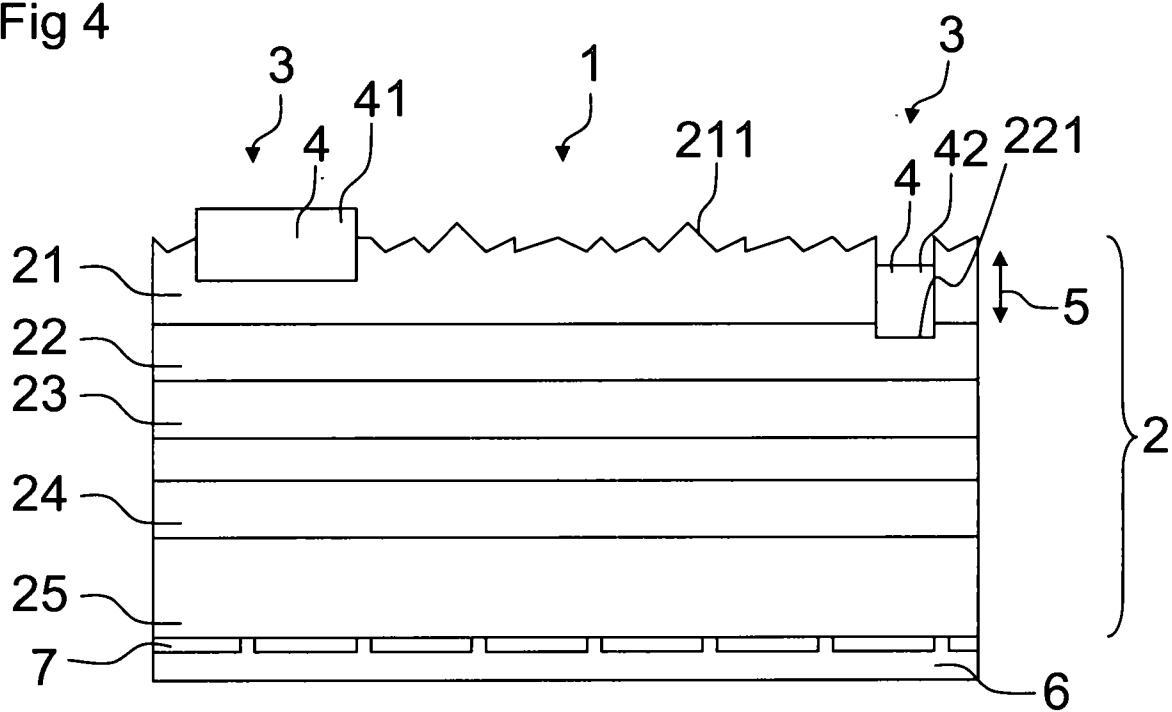


Fig 5

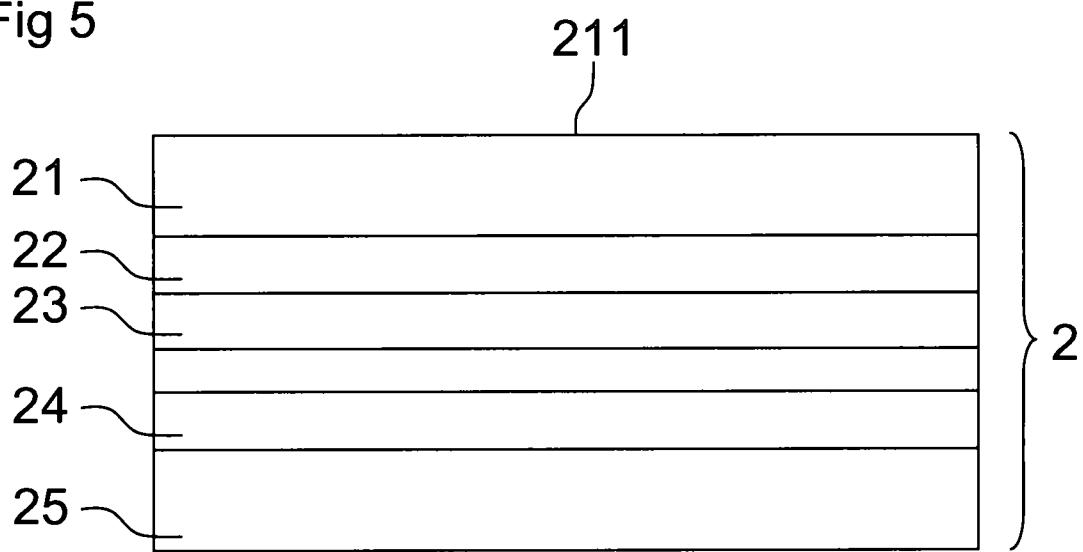


Fig 6

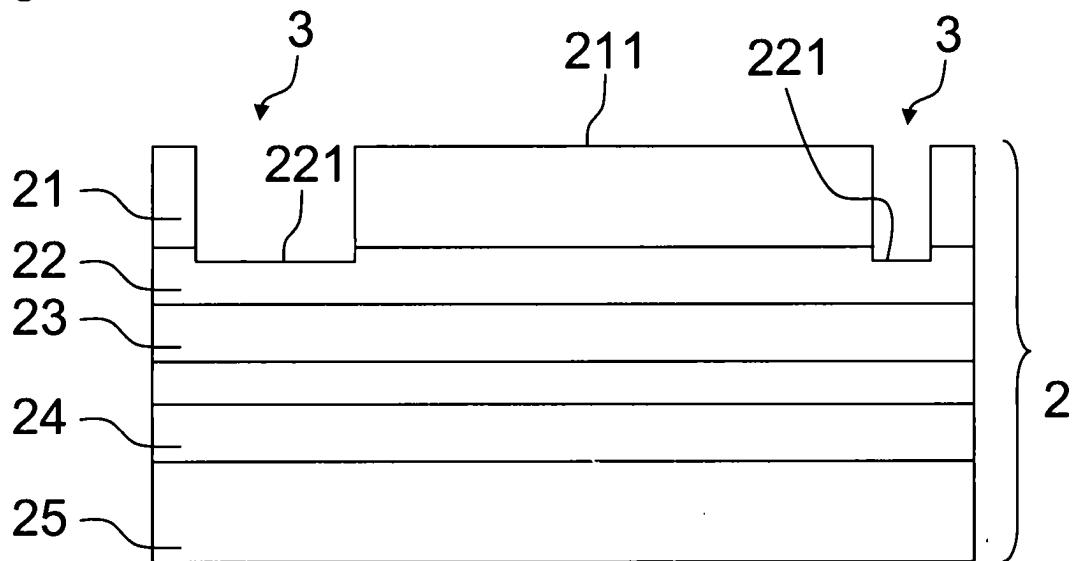


Fig 7

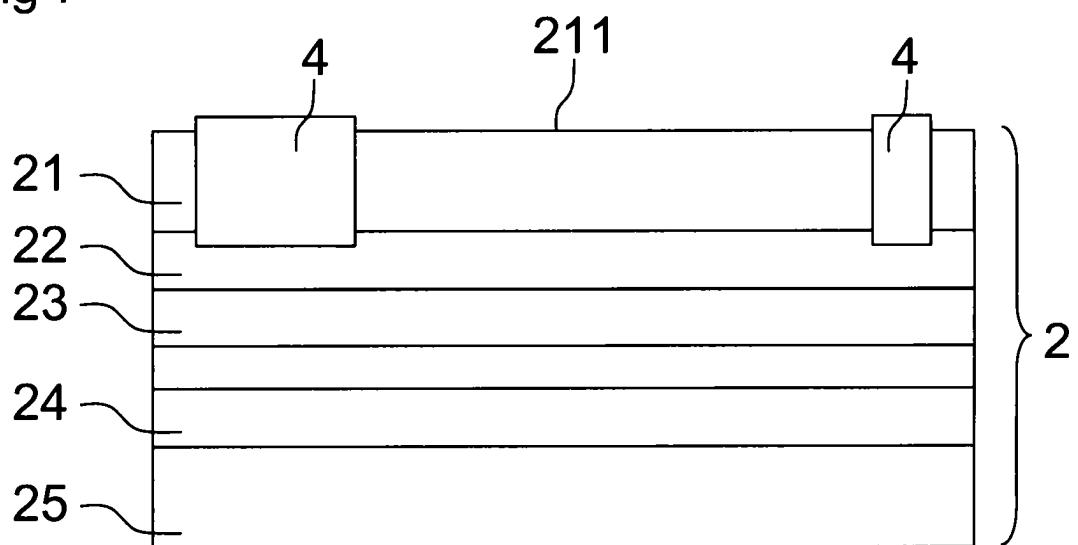


Fig 8

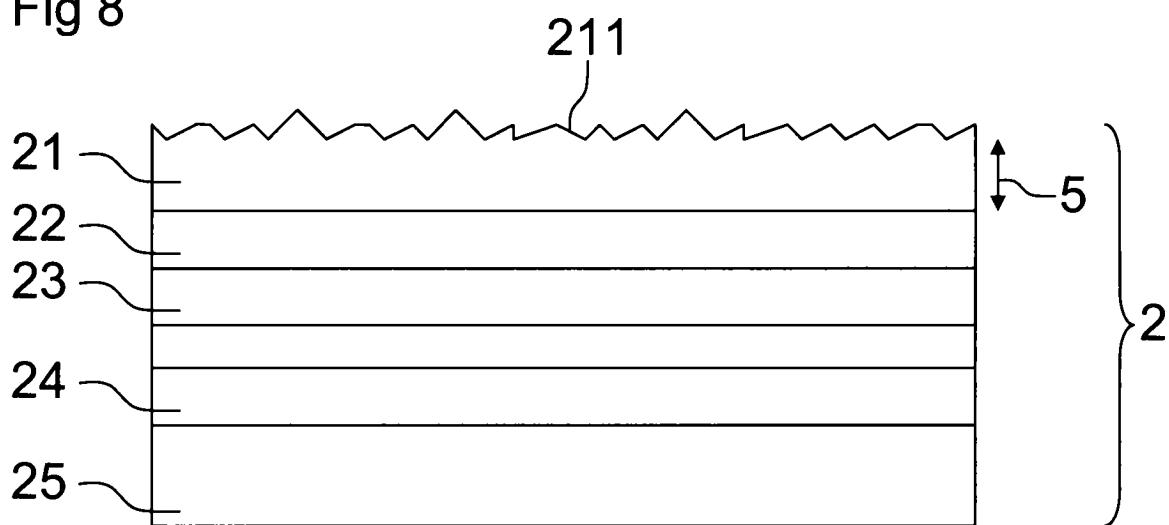


Fig 9

