

## **DOCUMENT MADE AVAILABLE UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)**

International application number:	<b>PCT/EP2018/072332</b>
International filing date:	<b>17 August 2018 (17.08.2018)</b>
Document type:	<b>Certified copy of priority document</b>
Document details:	Country/Office: <b>DE</b>
	Number: <b>10 2017 119 369.3</b>
	Filing date: <b>24 August 2017 (24.08.2017)</b>
Date of receipt at the International Bureau:	<b>05 September 2018 (05.09.2018)</b>

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a),(b) or (b-bis)

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung DE 10 2017 119 369.3 ✓ über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 10 2017 119 369.3

**Anmeldetag:** 24. August 2017 ✓

**Anmelder/Inhaber:** OSRAM Opto Semiconductors GmbH,  
93055 Regensburg, DE ✓

**Bezeichnung:** Strahlungsemitterender Halbleiterkörper  
und Verfahren zu dessen Herstellung

**IPC:** H01L 33/06; H01L 29/207

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der Teile der am 24. August 2017 eingereichten elektronischen Dokumente dieser Patentanmeldung unabhängig von gegebenenfalls durch das Druckverfahren bedingten Farbabweichungen.

München, den 13. Juli 2018  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Die Präsidentin

Im Auftrag

Weiss

A 91b...



## Beschreibung

Strahlungsemitterender Halbleiterkörper und Verfahren zu dessen Herstellung

Die vorliegende Anmeldung betrifft einen strahlungsemitterenden Halbleiterkörper und ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Bei strahlungsemitterenden Halbleiterbauelementen wie beispielsweise Leuchtdioden im sichtbaren Spektralbereich können Leckströme deren Effizienz beeinträchtigen. Eine der Ursachen hierfür ist, dass positive Ladungsträger (Löcher) am Übergang zwischen dem zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich und dem n-leitenden Bereich aufgrund einer zu geringen Potentialbarriere in den n-leitenden Bereich gelangen und dort nicht-strahlend rekombinieren. Dieser Effekt verstärkt sich mit zunehmender Betriebstemperatur.

Durch Verwendung von Halbleitermaterial, welches im Vergleich zum Material des aktiven Bereichs eine große Bandlücke aufweist, kann nur ein Teil der Löcher vom Eindringen in den n-leitenden Bereich abgehalten werden. Zudem ist es bei Materialsystemen wie beispielsweise AlInGaP oftmals nicht mehr möglich, durch eine Anpassung der Anteile der Gruppe-III-Elemente für den n-leitenden Bereich eine noch höhere Bandlücke und damit eine ausreichend hohe Potentialbarriere zu erzielen.

Eine Aufgabe ist es, einen Halbleiterkörper anzugeben, der sich durch eine hohe Effizienz auszeichnet. Weiterhin soll

- 2 -

ein Verfahren angegeben werden, mit dem der Halbleiterkörper hergestellt werden kann.

Diese Aufgaben werden unter anderem durch einen Halbleiterkörper beziehungsweise ein Verfahren gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Weitere Ausgestaltungen und Zweckmäßigkeiten sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Es wird ein strahlungsemitterender Halbleiterkörper mit einer Halbleiterschichtenfolge angegeben. Die Halbleiterschichtenfolge ist insbesondere epitaktisch abgeschieden, beispielsweise mittels MOCVD.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers weist die Halbleiterschichtenfolge einen zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich, eine n-leitende Halbleiterschicht und eine p-leitende Halbleiterschicht auf. Der aktive Bereich ist insbesondere zwischen der n-leitenden Halbleiterschicht und der p-leitenden Halbleiterschicht angeordnet. Der aktive Bereich, die n-leitende Halbleiterschicht und die p-leitende Halbleiterschicht können jeweils einschichtig oder mehrschichtig ausgebildet sein. Beispielsweise weist der aktive Bereich eine Quantenstruktur auf.

Die Bezeichnung Quantenstruktur umfasst im Rahmen der Anmeldung insbesondere jegliche Struktur, bei der Ladungsträger durch Einschluss ("confinement") eine Quantisierung ihrer Energiezustände erfahren können. Insbesondere beinhaltet die Bezeichnung Quantenstruktur keine Angabe über die Dimensionalität der Quantisierung. Sie

umfasst somit unter anderem Quantentöpfe (quantum wells), Quantendrähte (quantum wires), Quantenstäbchen (quantum rods) und Quantenpunkte (quantum dots) und jede Kombination dieser Strukturen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers weist die n-leitende Halbleiterschicht einen ersten Dotierbereich auf. Der erste Dotierbereich ist insbesondere mit einem n-Dotierstoff dotiert. Eine Dicke des ersten Dotierbereichs, also eine Ausdehnung des ersten Dotierbereichs in einer senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene der Halbleiterschichten der Halbleiterschichtenfolge erstreckenden Richtung, ist insbesondere klein gegenüber der Gesamtdicke der n-leitenden Halbleiterschicht. Beispielsweise beträgt die Dicke des ersten Dotierbereichs höchstens 5 % der Dicke der n-leitenden Halbleiterschicht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers weist die n-leitende Halbleiterschicht einen zweiten Dotierbereich auf. Der zweite Dotierbereich ist insbesondere mit einem n-Dotierstoff dotiert, wobei der zweite Dotierbereich den gleichen n-Dotierstoff wie der erste Dotierbereich oder einen anderen n-Dotierstoff aufweisen kann.

Der erste Dotierbereich weist eine höhere Dotierstoffkonzentration als der zweite Dotierbereich auf. Insbesondere bildet der erste Dotierbereich einen Bereich der n-leitenden Halbleiterschicht, in dem die Dotierung hoch, beispielsweise mindestens doppelt so hoch, ist, wie in einem zumindest an einer Seite des ersten Dotierbereichs angrenzenden Halbleitermaterial des zweiten Dotierbereichs.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers weist der erste Dotierbereich eine Dicke von höchstens 5 nm, vorzugsweise von höchstens 2 nm, auf. Beispielsweise weist der erste Dotierbereich eine Dicke zwischen einschließlich einer Monolage und fünf Atomlagen auf. Die Dicke des zweiten Dotierbereichs ist zum Beispiel groß gegenüber der Dicke des ersten Dotierbereichs. Beispielsweise ist der zweite Dotierbereich mindestens fünfmal so dick oder mindestens zehnmal so dick wie der erste Dotierbereich.

Der erste Dotierbereich mit der höheren Dotierstoffkonzentration als der zweite Dotierbereich und der geringen Dicke von weniger als 5 nm wirkt bei dem strahlungsemitterenden Halbleiterkörper vorteilhaft als Ladungsträgerbarriere für Löcher. Durch den vergleichsweise dünnen n-dotierten ersten Dotierbereich wird vorteilhaft eine Potentialbarriere für Löcher im Valenzband erzeugt, die Löcher daran hindert, den aktiven Bereich zu verlassen. Auf diese Weise wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Ladungsträger im aktiven Bereich unter Emission von Strahlung rekombinieren und so die Effizienz des Halbleiterkörpers vorteilhaft erhöht.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers ist der erste Dotierbereich mit Tellur dotiert. In diesem Fall ist der Dotierstoff Tellur auf Gruppe-V-Gitterplätzen eingebaut und ersetzt an diesen Stellen beispielsweise Phosphor-Atome. Tellur fungiert hierbei als n-Dotierstoff.

Gemäß zumindest einer weiteren Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers ist der erste Dotierbereich mit Silizium dotiert. In diesem Fall ist der Dotierstoff Silizium auf Gruppe-III-Gitterplätzen eingebaut und ersetzt an diesen Stellen beispielsweise Aluminium-Atome oder Indium-Atome. Silizium fungiert hierbei als n-Dotierstoff.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers basiert die Halbleiterschichtenfolge auf einem Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial oder Arsenid-Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial. Insbesondere basiert die Halbleiterschichtenfolge auf dem Verbindungshalbleitermaterialsystem  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}_z\text{As}_{1-z}$  basiert. Hierbei gelten  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $x + y \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$ . Vorzugsweise ist  $z \geq 0,9$  oder  $z = 1$ . Dieses Materialsystem ist für die Erzeugung von Strahlung mit einer Wellenlänge vom roten über den gelben bis in den grünen Spektralbereich besonders geeignet. „Basierend“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass mindestens eine Schicht des Halbleiterkörpers, beispielsweise alle Schichten des Halbleiterkörpers, ein solches Material aufweisen oder aus einem solchen Material bestehen. Dabei muss dieses Material nicht zwingend eine mathematisch exakte Zusammensetzung nach obiger Formel aufweisen. Vielmehr kann es beispielsweise ein oder mehrere Dotierstoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen. Der Einfachheit halber beinhaltet obige Formel jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters (Al, Ga, In, As, P), auch wenn diese teilweise durch geringe Mengen weiterer Stoffe ersetzt und/oder ergänzt sein können.

Die Dotierstoffkonzentration in dem ersten Dotierbereich beträgt vorzugsweise  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  oder mehr.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemittierenden Halbleiterkörpers ist der erste Dotierbereich zwischen dem aktiven Bereich und dem zweiten Dotierbereich angeordnet. Mittels des ersten Dotierbereichs kann im Betrieb des Halbleiterkörpers ein Eindringen von Löchern in den zweiten Dotierbereich unterdrückt oder zumindest verringert werden. Beispielsweise grenzt der erste Dotierbereich unmittelbar an den aktiven Bereich an. Bei einem aktiven Bereich mit einer oder mehreren Quantenschichten kann der erste Dotierbereich unmittelbar an die nächstgelegene Quantenschicht angrenzen oder von der nächstgelegenen Quantenschicht beabstandet sein.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemittierenden Halbleiterkörpers grenzen der erste Dotierbereich und der zweite Dotierbereich unmittelbar aneinander an. Insbesondere sind der erste Dotierbereich und der zweite Dotierbereich in vertikaler Richtung übereinander angeordnet.

Zum Beispiel weisen der erste Dotierbereich und der zweite Dotierbereich im Wesentlichen dieselbe Zusammensetzung bezüglich der Gruppe-III-Elemente und/oder der Gruppe-V-Elemente auf. Mit anderen Worten unterscheiden sich der erste Dotierbereich und der zweite Dotierbereich im Wesentlichen durch den in den jeweiligen Bereich eingebrachten Dotierstoff. Beispielsweise unterscheiden sich die prozentualen Anteile der Gruppe-III-Elemente, beispielsweise Al, Ga, In, im ersten Dotierbereich um jeweils höchstens 5 Prozentpunkte von den jeweiligen Anteilen im zweiten



Dotierbereich. Für den Al-Gehalt bedeutet dies exemplarisch  $|x_1 - x_2| \leq 0,05$ , wobei  $x_1$  der Al-Gehalt im ersten Dotierbereich und  $x_2$  der Al-Gehalt im zweiten Dotierbereich ist. Dies gilt analog für die übrigen Gruppe-III-Elemente, insbesondere den In-Gehalt  $y$ .

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers bildet der erste Dotierbereich eine Ladungsträgerbarriere für Löcher. Es hat sich gezeigt, dass durch die räumlich in vertikaler Richtung begrenzte und gleichzeitig hohe Dotierkonzentration im ersten Dotierbereich eine effiziente Ladungsträgerbarriere erzielt werden kann. Insbesondere wird diese Ladungsträgerbarriere im Unterschied zu konventionellen Ladungsträgerbarrieren nicht durch eine Variation der Gruppe-III-Elemente des Halbleitermaterials erzielt, sondern ausschließlich oder zumindest überwiegend aufgrund der vergleichsweise hohen Dotierkonzentration.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers weist die n-leitende Halbleiterschicht einen weiteren ersten Dotierbereich auf, der eine höhere Dotierstoffkonzentration als der zweite Dotierbereich aufweist und eine Dicke von höchstens 5 nm aufweist. Der weitere erste Dotierbereich kann insbesondere eines oder mehrere der im Zusammenhang mit dem ersten Dotierbereich genannten Merkmale aufweisen. Beispielsweise weist der weitere erste Dotierbereich eine Dicke von höchstens 2 nm auf. In vertikaler Richtung sind der erste Dotierbereich und der weitere erste Dotierbereich voneinander beabstandet. Ein Abstand zwischen dem ersten Dotierbereich und dem weiteren ersten Dotierbereich beträgt

vorzugsweise höchstens 5 nm. Die n-leitende Halbleiterschicht kann auch mehrere erste Dotierbereiche aufweisen.

Weiterhin wird ein Verfahren zur Herstellung des Halbleiterkörpers angegeben. Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird ein Substrat bereitgestellt und eine Halbleiterschichtenfolge, die einen zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich, eine n-leitende Halbleiterschicht und eine p-leitende Halbleiterschicht aufweist, wird aufgewachsen. Der aktive Bereich ist zwischen der n-leitenden Halbleiterschicht und der p-leitenden Halbleiterschicht angeordnet. Die n-leitende Halbleiterschicht weist einen ersten Dotierbereich und einen zweiten Dotierbereich auf, wobei der erste Dotierbereich eine höhere Dotierstoffkonzentration als der zweite Dotierbereich aufweist. Der erste Dotierbereich weist eine Dicke von höchstens 5 nm, vorzugsweise von höchstens 2 nm auf.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird der erste Dotierbereich bei einer geringeren Wachstumstemperatur abgeschieden als der zweite Dotierbereich. Durch die geringere Wachstumstemperatur wird der Einbau des Dotierstoffs in dem ersten Dotierbereich begünstigt.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird der erste Dotierbereich bei einer Wachstumstemperatur von höchstens 600 °C, insbesondere von höchstens 580 °C, abgeschieden.

Für die Abscheidung des zweiten Dotierbereichs kann die Wachstumstemperatur erhöht werden, beispielsweise auf mindestens 650 °C.

Weiterhin kann auch die Abscheidung des aktiven Bereichs bei einer höheren Wachstumstemperatur erfolgen als die Abscheidung des ersten Dotierbereichs, beispielsweise bei der Wachstumstemperatur des zweiten Bereichs. Zwischen der Abscheidung des zweiten Dotierbereichs und des aktiven Bereichs kann also zeitweise eine Absenkung der Wachstumstemperatur für die Ausbildung des ersten Dotierbereichs erfolgen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird zur Herstellung des ersten Dotierbereichs ausschließlich Gas mit dem n-Dotierstoff, beispielsweise Tellur, ohne Zuführung eines weiteren Gases für die Gruppe-III-Atome und Gruppe-V-Atome zugeführt. Auf diese Weise können besonders hohe Konzentrationen des n-Dotierstoffs im ersten Dotierbereich erzielt werden.

Das beschriebene Verfahren eignet sich besonders zur Herstellung des zuvor beschriebenen Halbleiterkörpers. In Zusammenhang mit dem Halbleiterkörper angeführte Merkmale können daher auch für das Verfahren herangezogen werden und umgekehrt.

Weitere Ausgestaltungen und Zweckmäßigkeiten ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den Figuren.

Es zeigen:

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines Halbleiterkörpers in schematischer Schnittansicht,

Figur 2 einen schematischen Bandkantenverlauf des Leitungsbands  $E_c$  und des Valenzbands  $E_v$  entlang einer Abscheiderichtung  $z$  bei einem Ausführungsbeispiel des Halbleiterkörpers,

Figur 3A Messergebnisse einer Sekundärionenmassenspektroskopie (SIMS)-Messung einer Tellurkonzentration und einer Aluminiumkonzentration jeweils als Funktion der Eindringtiefe  $d$  bei einem nicht erfindungsgemäßen Vergleichsbeispiel,

Figur 3B Messergebnisse einer Sekundärionenmassenspektroskopie (SIMS)-Messung einer Tellurkonzentration und einer Aluminiumkonzentration jeweils als Funktion der Eindringtiefe  $d$  bei einem Ausführungsbeispiel,

Figur 4 Messergebnisse der relativen externen Quanteneffizienz  $EQE_{\text{Test}}/EQE_{\text{Ref}}$  in Abhängigkeit von der Stromdichte  $J$ ,

Figur 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Halbleiterkörpers in schematischer Schnittansicht, und

Figuren 6A und 6B ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Herstellung eines Halbleiterkörpers anhand von jeweils in schematischer Schnittansicht dargestellten Zwischenschritten.

Gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Die Figuren sind jeweils schematische Darstellungen und daher nicht unbedingt maßstabsgetreu. Vielmehr können

vergleichsweise kleine Elemente und insbesondere Schichtdicken zur Verdeutlichung übertrieben groß dargestellt sein.

In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel eines Halbleiterkörpers 1 gezeigt. Der Halbleiterkörper 1 weist eine Halbleiterschichtenfolge 2 auf. Die Halbleiterschichtenfolge ist auf einem Substrat 5 angeordnet, beispielsweise einem Aufwachssubstrat für eine epitaktische Abscheidung der Halbleiterschichtenfolge 2.

Die Halbleiterschichtenfolge 2 weist einen zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich 20 auf, der zwischen einer n-leitenden Halbleiterschicht 21 und einer p-leitenden Halbleiterschicht 22 angeordnet ist. Ein mittels des Halbleiterkörpers 1 gebildetes strahlungsemitterendes Bauelement wie beispielsweise ein Leuchtdioden-Halbleiterchip weist zweckmäßigerweise zur elektrischen Kontaktierung der n-leitenden Halbleiterschicht 21 und der p-leitenden Halbleiterschicht 22 jeweils einen extern zugänglichen elektrischen Kontakt auf, sodass durch Anlegen einer externen elektrischen Spannung zwischen diesen Kontakten Ladungsträger von gegenüber liegenden Seiten in den aktiven Bereich 20 injiziert werden und dort unter Emission von Strahlung rekombinieren können. Diese Kontakte sind zur vereinfachten Darstellung nicht explizit gezeigt.

Der aktive Bereich 20 weist eine Quantenstruktur mit einer Mehrzahl von Quantenschichten 201 und dazwischen angeordneten Barrierschichten 202 auf. In der Figur sind lediglich exemplarisch drei Quantenschichten 201 gezeigt. Der aktive Bereich 20 kann jedoch auch nur eine oder zwei

Quantenschichten 202 oder mehr als drei Quantenschichten aufweisen.

Die n-leitende Halbleiterschicht 21 weist einen ersten Dotierbereich 211 mit einem n-Dotierstoff auf. Beispielsweise ist der n-Dotierstoff Tellur oder Silizium. Tellur wirkt als Donator durch einen Einbau an Gruppe-V-Gitterplätzen und Silizium wirkt als Donator durch den Einbau an Gruppe-III-Gitterplätzen.

Die n-leitende Halbleiterschicht 21 weist weiterhin einen zweiten Dotierbereich 212 auf, wobei der zweite Dotierbereich eine geringere Dotierstoffkonzentration aufweist als der erste Dotierbereich. Der zweite Dotierbereich kann den gleichen oder einen anderen n-Dotierstoff aufweisen als der erste Dotierbereich.

Die nachfolgende Beschreibung erfolgt anhand einer Halbleiterschichtenfolge, die auf dem Verbindungshalbleitermaterialsystem  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}_z\text{As}_{1-z}$  basiert. Hierbei gelten  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $x + y \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$ . Das Verfahren ist jedoch auch auf andere Verbindungshalbleitermaterialsysteme anwendbar.

Als Aufwachssubstrat für die Halbleiterschichtenfolge eignet sich beispielsweise Galliumarsenid. Für den aktiven Bereich gilt insbesondere  $z \geq 0,9$ , beispielsweise  $z = 1$ . Alternativ kann jedoch auch ein anderes Halbleitermaterial, insbesondere ein anderes III-V-Verbindungshalbleitermaterial Anwendung finden.

Der erste Dotierbereich 211 weist im Vergleich zum zweiten Dotierbereich 212 eine vergleichsweise geringe Dicke auf.

Beispielsweise ist der zweite Dotierbereich 212 mindestens fünfmal so dick oder mindestens zehnmal so dick wie der erste Dotierbereich 211.

Der erste Dotierbereich 211 ist zwischen dem zweiten Dotierbereich 212 und dem aktiven Bereich 20 angeordnet. Insbesondere grenzt der erste Dotierbereich 211 unmittelbar an den aktiven Bereich 20 an. In vertikaler Richtung, also parallel zur Abscheiderichtung z und senkrecht zu einer Hauptstreckungsebene der Halbleiterschichten der Halbleiterschichtenfolge, ist der erste Dotierbereich 211 insbesondere die letzte n-leitende Halbleiterschicht des Halbleiterkörpers 1 vor dem aktiven Bereich 20.

Es hat sich gezeigt, dass durch geeignete Wahl der Abscheidebedingungen die Herstellung eines insbesondere mit Tellur oder Silizium dotierten ersten Dotierbereichs 211 erzielt werden kann, der sich durch eine hohe zweidimensionale Flächendotierdichte auszeichnet und in vertikaler Richtung eine geringe Dicke aufweisen kann. Beispielsweise beträgt die Dicke des ersten Dotierbereichs 211 zwischen einschließlich einer Monolage und einschließlich 2 nm. Eine solche Dotierung in einem sehr kleinen Dickenbereich kann als  $\delta$ -Dotierung (engl.  $\delta$ -doping) bezeichnet werden.

Die n-leitende Halbleiterschicht 21 weist also zwei Dotierbereiche 211, 212 auf, in denen jeweils eine n-Dotierung erfolgt, wobei der erste Dotierbereich 211 eine geringere Dicke und gleichzeitige eine höhere Dotierstoffkonzentration aufweist als der zweite Dotierbereich 212.

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist eine Kontaktschicht 223 auf der p-leitenden Halbleiterschicht 22 angeordnet, die den Halbleiterkörper 1 in vertikaler Richtung begrenzt. Für diese Kontaktschicht 223 kann ein Halbleitermaterial mit einem niedrigen Phosphor-Gehalt, beispielsweise  $z \leq 0,1$  oder  $z = 0$  Anwendung finden, etwa eine AlGaAs-Halbleiterschicht. Die Kontaktschicht 223 dient insbesondere einer verbesserten elektrischen Kontaktierung des Halbleiterkörpers 1 über einen auf dem Halbleiterkörper aufgetragenen Kontakt (nicht explizit dargestellt).

Wie der in Figur 2 dargestellte Bandkantenverlauf für das Leitungsband  $E_c$  und das Valenzband  $E_v$  zeigt, wird mittels des ersten Dotierbereichs 211 im Valenzband eine Ladungsträgerbarriere gebildet, die Löcher von einem Übertritt vom aktiven Bereich 20 in die n-leitende Halbleiterschicht 21 hindert. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Ladungsträger im aktiven Bereich 20 strahlend rekombinieren. Bezüglich der Gruppe-III-Anteile müssen sich der erste Dotierbereich 211 und das an den ersten Dotierbereich 211 angrenzende Material des zweiten Dotierbereichs 212 hierfür nicht unterscheiden.

In der Figur 3A sind Messergebnisse von SIMS-Messungen für den Tellur-Gehalt  $c_{Te}$  (Kurve 31) und den Aluminium-Gehalt  $c_{Al}$  (Kurve 32) bei einem nicht erfindungsgemäßen Vergleichsbeispiel gezeigt. Anhand des Aluminium-Gehalts ist die räumliche Position des aktiven Bereichs 20 deutlich zu erkennen, da dieser einen vergleichsweise geringen Al-Gehalt aufweist. Weiterhin sind in der Figur 3B Messergebnisse von SIMS-Messungen für den Tellur-Gehalt  $c_{Te}$  (Kurve 33) und den Aluminium-Gehalt  $c_{Al}$  (Kurve 34) bei einem Ausführungsbeispiel Halbleiterkörpers gezeigt. Die Kurve 33 zeigt, dass der n-



Dotierstoff Tellur in dem ersten Dotierbereich 211 mit einer hohen Konzentration und einer geringen vertikalen Ausdehnung entlang der Eindringtiefe  $d$  vorliegt. Insbesondere erfolgt der Einbau in ein Halbleitermaterial mit einem hohen Phosphor-Anteil, etwa einem Phosphor-Anteil von  $z \geq 0,9$ , etwa  $z = 1$ . Der erste Dotierbereich kann insbesondere AlInP aufweisen. Eine Dotierstoffkonzentration im ersten Dotierbereich beträgt beispielsweise zwischen einschließlich  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  und einschließlich  $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ .

Die Figur 4 zeigt die relative externe Quanteneffizienz  $\text{EQE}_{\text{Test}}/\text{EQE}_{\text{Ref}}$  für ein Ausführungsbeispiel des strahlungsemittierenden Halbleiterkörpers in Abhängigkeit von der Betriebsstromdichte  $J$ . Die externe Quanteneffizienz eines strahlungsemittierenden Halbleiterkörpers ohne den ersten Dotierbereich wurde als Referenzkurve ( $\text{EQE}_{\text{Ref}}$ ) herangezogen ist deshalb auf 100% normiert worden. Es zeigt sich, dass der strahlungsemittierende Halbleiterkörper gemäß dem Ausführungsbeispiel von sehr kleinen bis zu sehr großen Stromdichten eine höhere externe Quanteneffizienz als das Referenzbeispiel aufweist. Die Steigerung der externen Quanteneffizienz ist insbesondere dann signifikant, wenn die Betriebsstromdichte vergleichsweise niedrig ist. Bei dem Ausführungsbeispiel ergibt sich eine besonders hohe Quanteneffizienz, wenn die Betriebsstromdichte nicht mehr als etwa  $0,2 \text{ A/cm}^2$  oder bevorzugt nicht mehr als  $0,1 \text{ A/cm}^2$  beträgt.

Das in Figur 5 gezeigte Ausführungsbeispiel für einen Halbleiterkörper entspricht im Wesentlichen dem im Zusammenhang mit der Figur 1 beschriebenen Ausführungsbeispiel. Im Unterschied hierzu weist die  $n$ -leitende Halbleiterschicht 21 zusätzlich zum ersten

Dotierbereich 211 und zweiten Dotierbereich 212 einen weiteren ersten Dotierbereich 213 auf. Der weitere erste Dotierbereich 213 kann insbesondere wie im Zusammenhang mit dem ersten Dotierbereich 211 beschrieben ausgebildet sein. Die n-leitende Halbleiterschicht 21 weist also zwei Dotierbereiche 211, 213 mit dem n-Dotierstoff auf, wobei zwischen diesen beiden Dotierbereichen ein Teilbereich des zweiten Dotierbereichs 212 angeordnet ist.

Ein Abstand zwischen dem ersten Dotierbereich 211 und dem weiteren ersten Dotierbereich 213 beträgt vorzugsweise höchstens 5 nm. Ein solcher weiterer erster Dotierbereich 213 kann zu einer Verstärkung des Effekts der Ladungsträgerbarriere führen.

Ein Ausführungsbeispiel für ein Verfahren zur Herstellung des Halbleiterkörpers ist in den Figuren 6A und 6B gezeigt. Ein Substrat 5, insbesondere in Form eines Auswachssubstrats wird bereitgestellt. Beispielsweise eignet sich GaAs.

Auf dem Substrat 5 wird eine Halbleiterschichtenfolge 2 aufgewachsen, die einen zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich 20 aufweist, welcher zwischen einer n-leitenden Halbleiterschicht 21 und einer p-leitenden Halbleiterschicht 22 angeordnet ist. Die n-leitende Halbleiterschicht 21 weist einen ersten Dotierbereich 211 und einen zweiten Dotierbereich 212 auf, wobei der erste Dotierbereich 211 eine höhere Dotierstoffkonzentration aufweist. Die Abscheideparameter bei der Herstellung des ersten Dotierbereichs 211 sind so gewählt, dass ein effizienter Einbau des n-Dotierstoffs erfolgt.

Es hat sich gezeigt, dass sich durch vergleichsweise geringe Wachstumstemperaturen von höchstens 600 °C ein effizienter Einbau von Tellur auf Gruppe-V-Gitterplätzen oder Silizium auf Gruppe-III-Gitterplätzen ergibt. Bei üblichen Wachstumstemperaturen von 650 °C oder mehr für das Halbleitermaterialsystem AlInGaAsP ist der Einbau der Dotierstoffe dagegen weniger effizient. Der zweite Halbleiterbereich 212 und der aktive Bereich 20 werden beispielsweise bei einer Wachstumstemperatur von mindestens 650 °C abgeschieden.

Zur Herstellung von Halbleiterbauelementen wie beispielsweise Lumineszenzdioden-Halbleiterchips kann die Halbleiterschichtenfolge nachfolgend zu einzelnen Halbleiterkörpern weiterverarbeitet werden.

Beispielsweise weisen die n-leitende Halbleiterschicht 21 und die p-leitende Halbleiterschicht 22 jeweils AlInP auf, wobei diese Schichten zweckmäßigerweise bezüglich des Aufwachssubstrats, etwa GaAs, gitterangepasst oder zumindest nahezu gitterangepasst sind, etwa mit einer maximalen relativen Abweichung der Gitterkonstante von 2 %. In diesem Fall beträgt der Phosphor-Gehalt  $z = 1$ . Es kann jedoch auch ein geringerer Phosphor-Gehalt Anwendung finden, beispielsweise  $z \geq 0,9$ .

Die Effizienz verringernde Leckströme werden bei dem Halbleiterkörper mittels des ersten Dotierbereichs 211 effektiv unterdrückt, wodurch sich eine höhere Effizienz der Strahlungserzeugung ergibt.

Die beschriebene Ausgestaltung einer Ladungsträgerbarriere mittels eines Dotierbereichs mit einer besonders hohen

Dotierkonzentration eignet sich insbesondere für Halbleiterschichten, deren Bandlücke durch Variation der Zusammensetzung der Gruppe-III-Atome nicht mehr ohne Weiteres gesteigert werden kann.

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 den Ausführungsbeispielen angegeben ist.

### Bezugszeichenliste

- 1 Halbleiterkörper
- 2 Halbleiterschichtenfolge
- 20 aktiver Bereich
- 201 Quantenschicht
- 202 Barrierschicht
- 21 n-leitende Halbleiterschicht
- 211 erster Dotierbereich
- 212 zweiter Dotierbereich
- 213 weiterer erster Dotierbereich
- 22 p-leitende Halbleiterschicht
- 223 Kontaktschicht
- 31 Kurve
- 32 Kurve
- 33 Kurve
- 34 Kurve
- 5 Substrat

## Patentansprüche

1. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper (1) mit einer Halbleiterschichtenfolge (2), die einen zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich (20), eine n-leitende Halbleiterschicht (21) und eine p-leitende Halbleiterschicht (22) aufweist, wobei der aktive Bereich (20) zwischen der n-leitenden Halbleiterschicht (21) und der p-leitenden Halbleiterschicht (22) angeordnet ist,

wobei

- die n-leitende Halbleiterschicht (21) einen ersten Dotierbereich (211) und einen zweiten Dotierbereich (212) aufweist,

- der erste Dotierbereich (211) eine höhere Dotierstoffkonzentration als der der zweite Dotierbereich (212) aufweist, und

- der erste Dotierbereich (211) eine Dicke von höchstens 5 nm aufweist.

2. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach Anspruch 1, wobei der erste Dotierbereich (211) eine Dicke von höchstens 2 nm aufweist.

3. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der erste Dotierbereich (211) mit Tellur oder Silizium dotiert ist.

4. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der erste Dotierbereich eine Dotierstoffkonzentration von mindestens  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  aufweist.

5. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche,  
wobei die Halbleiterschichtenfolge (2) auf einem Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial oder Arsenid-Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial basiert.

6. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche,  
wobei der erste Dotierbereich (211) zwischen dem aktiven Bereich (20) und dem zweiten Dotierbereich (212) angeordnet ist.

7. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche,  
wobei der erste Dotierbereich (211) und der zweite Dotierbereich (212) unmittelbar aneinander angrenzen.

8. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche,  
wobei der erste Dotierbereich (211) eine Ladungsträgerbarriere für Löcher bildet.

9. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche,  
wobei die n-leitende Halbleiterschicht (21) einen weiteren ersten Dotierbereich (213) aufweist, der eine höhere Dotierstoffkonzentration als der der zweite Dotierbereich (212) aufweist und eine Dicke von höchstens 5 nm aufweist.

10. Strahlungsemitterender Halbleiterkörper nach einem der vorherigen Ansprüche,  
wobei der erste Dotierbereich (211) und der weitere erste

Dotierbereich (213) um höchstens 5 nm voneinander beabstandet sind.

11. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers (1) mit den Schritten:

- a) Bereitstellen eines Substrats (5); und
- b) Aufwachsen einer Halbleiterschichtenfolge (2), die eine n-leitende Halbleiterschicht (21), einen zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich (20) und eine p-leitende Halbleiterschicht (22) aufweist, wobei der aktive Bereich (20) zwischen der n-leitenden Halbleiterschicht (21) und der p-leitenden Halbleiterschicht (22) angeordnet ist und wobei
  - die n-leitende Halbleiterschicht (21) einen ersten Dotierbereich (211) und einen zweiten Dotierbereich (212) aufweist,
  - der erste Dotierbereich (211) eine höhere Dotierstoffkonzentration als der der zweite Dotierbereich (212) aufweist, und
  - der erste Dotierbereich (211) eine Dicke von höchstens 5 nm aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der erste Dotierbereich (211) eine Dicke von höchstens 2 nm aufweist.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei der erste Dotierbereich (211) bei einer geringeren Wachstumstemperatur als der zweite Dotierbereich (212) abgeschieden wird.



14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
wobei der erste Dotierbereich (211) bei einer  
Wachstumstemperatur von höchstens 600 °C abgeschieden wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14,  
wobei der zweite Dotierbereich (212) bei einer  
Wachstumstemperatur von mindestens 650 °C abgeschieden wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15,  
wobei der erste Dotierbereich (211) mit Tellur oder Silizium  
dotiert wird.

## Zusammenfassung

### Strahlungsemitterender Halbleiterkörper und Verfahren zu dessen Herstellung

Es wird ein strahlungsemitterender Halbleiterkörper (1) beschrieben, mit einer Halbleiterschichtenfolge (2), die einen zur Erzeugung von Strahlung vorgesehenen aktiven Bereich (20), eine n-leitende Halbleiterschicht (21) und eine p-leitende Halbleiterschicht (22) aufweist, wobei der aktive Bereich (20) zwischen der n-leitenden Halbleiterschicht (21) und der p-leitenden Halbleiterschicht (22) angeordnet ist, wobei die n-leitende Halbleiterschicht (21) einen ersten Dotierbereich (211) und einen zweiten Dotierbereich (212) aufweist, der erste Dotierbereich (211) eine höhere Dotierstoffkonzentration als der zweite Dotierbereich (212) aufweist, und der erste Dotierbereich (211) eine Dicke von höchstens 5 nm aufweist. Weiterhin wird ein Verfahren zur Herstellung des strahlungsemitterenden Halbleiterkörpers (1) angegeben.

Signifikante Figur: Figur 1

FIG 1

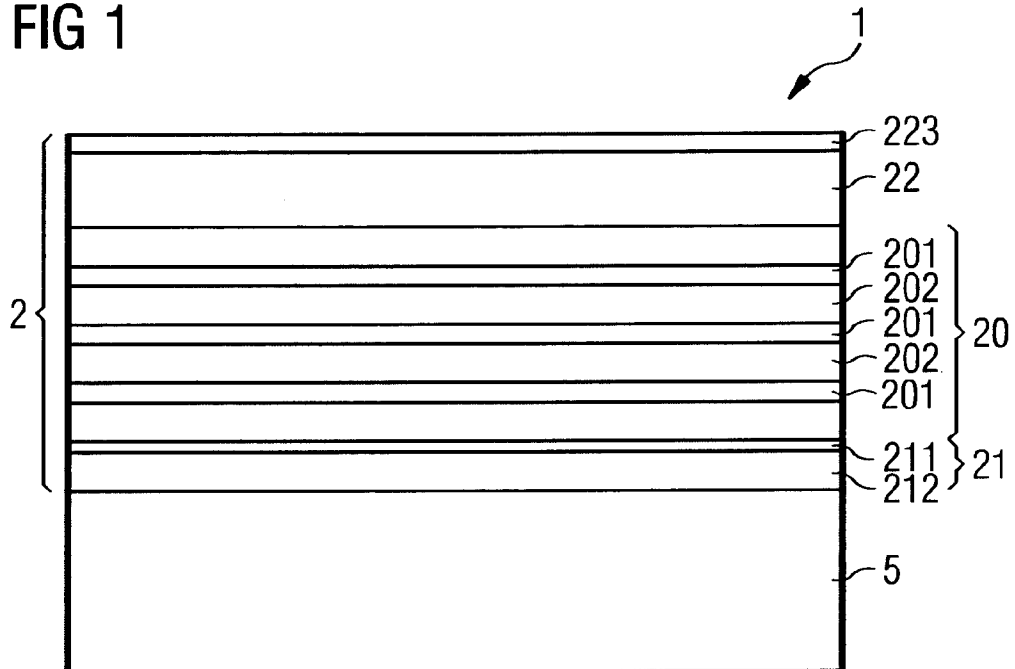


FIG 2

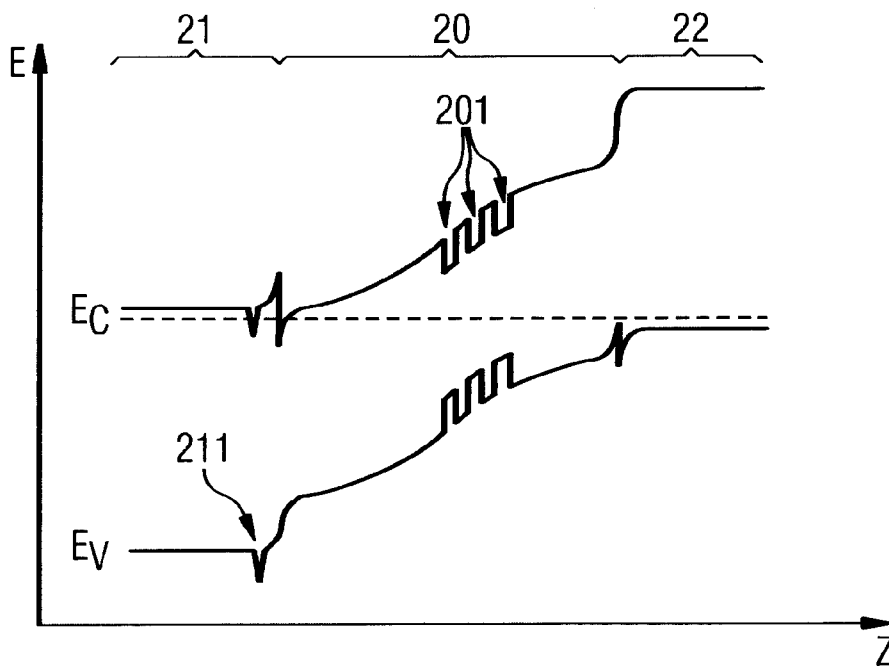


FIG 3A

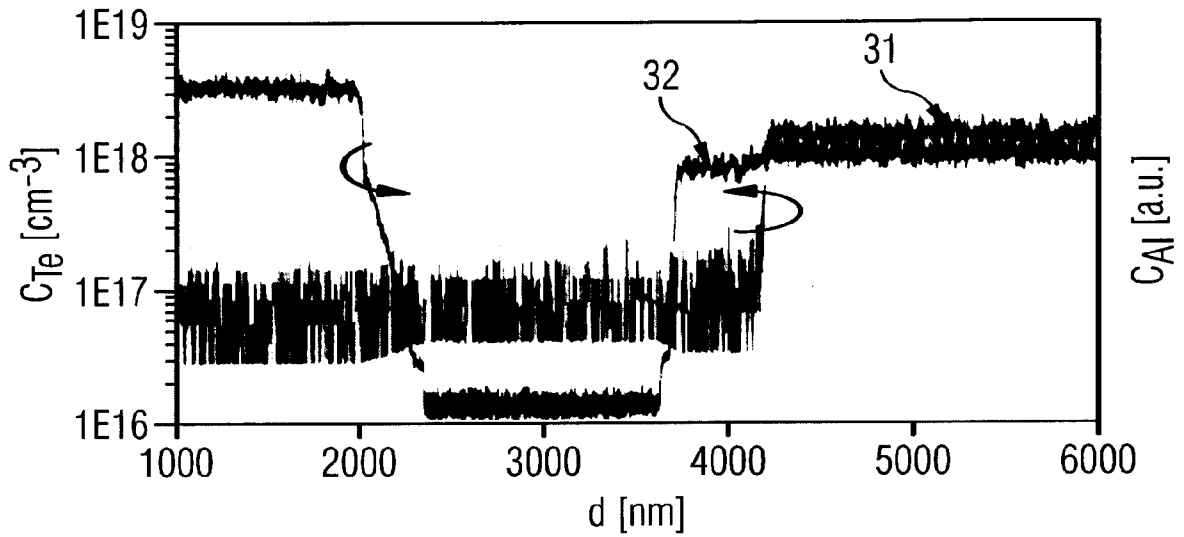


FIG 3B

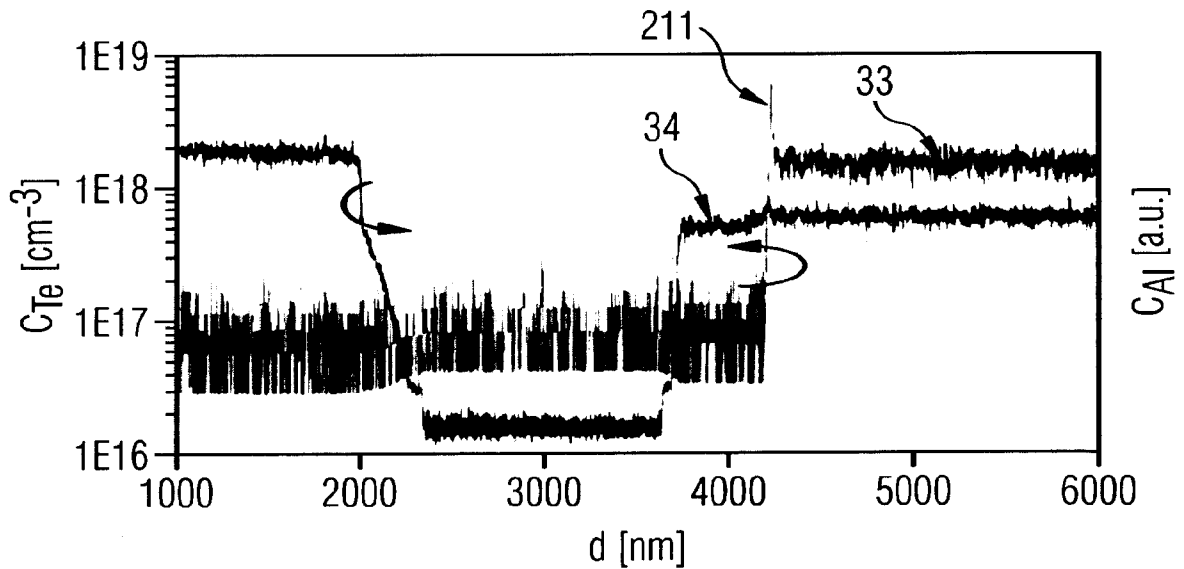


FIG 4

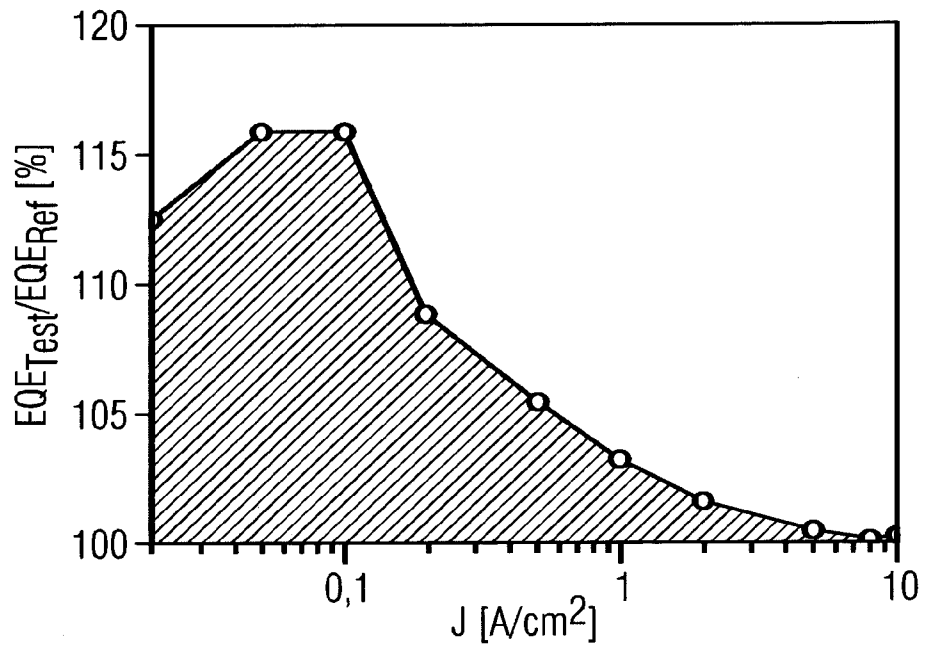


FIG 5

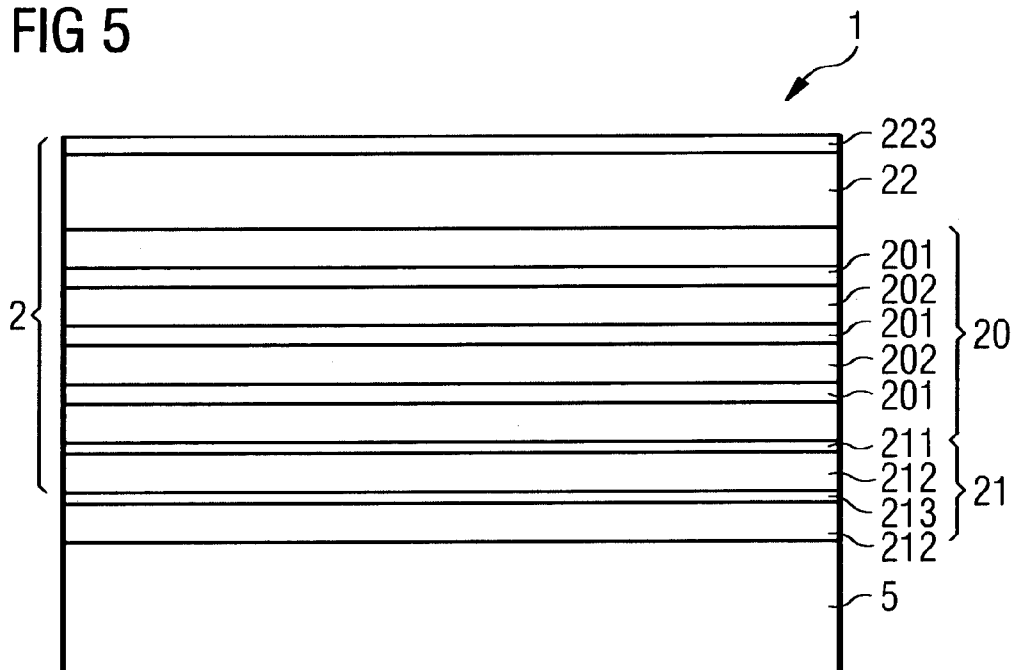


FIG 6A

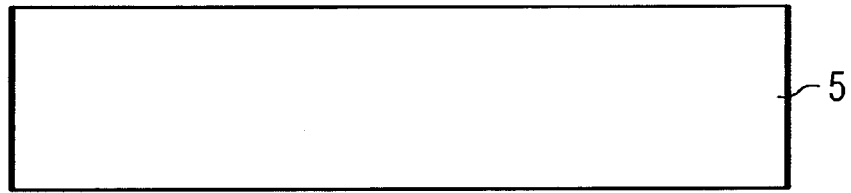


FIG 6B

