



(10) DE 11 2012 005 397 B4 2025.02.06

(12)

## Patentschrift

- (21) Deutsches Aktenzeichen: 11 2012 005 397.4  
 (86) PCT-Aktenzeichen: PCT/IB2012/002396  
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2013/093581  
 (86) PCT-Anmelddatum: 12.11.2012  
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: 27.06.2013  
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
 in deutscher Übersetzung: 25.09.2014  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: 06.02.2025

(51) Int Cl.: **H01L 21/02 (2006.01)**  
**H10H 20/825 (2025.01)**  
**H10F 10/142 (2025.01)**  
**H10F 71/00 (2025.01)**

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).

(30) Unionspriorität:  
**61/580,095** 23.12.2011 US

(73) Patentinhaber:  
**Soitec, Bernin, FR**

(74) Vertreter:  
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB,  
 80802 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Arena, Chantal, Mesa, Ariz., US; Scott, Robin,  
 Chandler, Ariz., US; Canizares, Claudio, Chandler,  
 Ariz., US**

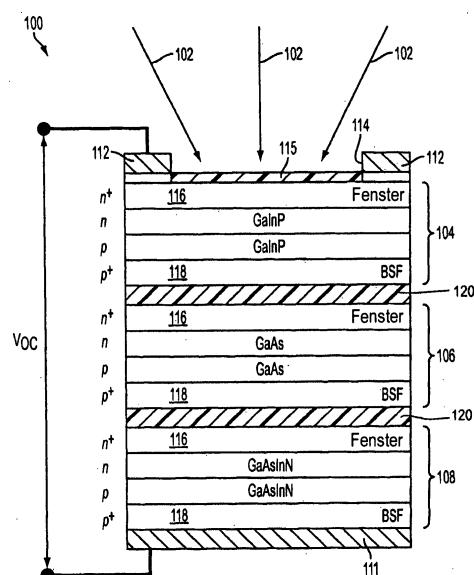
(56) Ermittelter Stand der Technik:

|    |                  |    |
|----|------------------|----|
| US | 2004 / 0 026 710 | A1 |
| US | 2010 / 0 047 947 | A1 |
| US | 2011 / 0 303 268 | A1 |
| JP | 2006 - 66 935    | A  |

**SAKAI, S. [et al.]: Green light emission from  
 GaInNAs/GaN multiple quantum well. In:  
 Japanese journal of applied physics, Vol. 37,  
 1998, No. 12B, S. L1508. – ISSN 0021-4922**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung von photoaktiven Vorrichtungen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung einer photoaktiven Vorrichtung, das umfasst:  
 Ausbilden von GaInN auf einem Substrat (300) innerhalb einer Kammer (302), das zumindest im Wesentlichen von As frei ist; und anschließend Austauschen von einigen N-Atomen innerhalb des GaInN gegen As-Atome, um zumindest einen Teil des GaInN in GaInNAs zu transformieren, wobei das Austauschen von einigen der N-Atome innerhalb des GaInN gegen die As-Atome durch Erhitzen des GaInN in der Kammer (302) in Gegenwart eines Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs erfolgt.



**Beschreibung****GEBIET**

**[0001]** Ausführungsformen der Offenbarung beziehen sich im Allgemeinen auf Verfahren zur Herstellung von photoaktiven Vorrichtungen.

**HINTERGRUND**

**[0002]** Photoaktive Vorrichtungen sind Halbleitervorrichtungen, die ein Halbleitermaterial verwenden, um elektromagnetische Strahlung in elektrische Energie umzusetzen oder elektrische Energie in elektromagnetische Strahlung umzusetzen. Photoaktive Vorrichtungen umfassen beispielsweise Solarzellen, Leuchtdioden und Laserdioden.

**[0003]** Photovoltaikzellen (auf dem Fachgebiet auch als „Solarzellen“ oder „photoelektrische Zellen“ bezeichnet) werden verwendet, um Energie von Licht (z. B. Sonnenlicht) in Elektrizität umzusetzen. Solarzellen umfassen im Allgemeinen einen oder mehrere pn-Übergänge und können unter Verwendung von herkömmlichen Halbleitermaterialien wie z. B. Silizium sowie III-V-Halbleitermaterialien hergestellt werden. Photonen von auftreffender elektromagnetischer Strahlung (z. B. Licht) werden vom Halbleitermaterial nahe dem pn-Übergang absorbiert, was zur Erzeugung von Elektronen-Loch-Paaren führt. Die Elektronen und die Löcher, die durch die auftreffende Strahlung erzeugt werden, werden durch ein eingebautes elektrisches Feld über dem pn-Übergang in entgegengesetzte Richtung getrieben, was zu einer Spannung zwischen dem n-Bereich und dem p-Bereich auf entgegengesetzten Seiten des pn-Übergangs führt. Diese Spannung kann verwendet werden, um Elektrizität zu erzeugen. Defekte in den Kristallgittern der Halbleitermaterialien am pn-Übergang schaffen Stellen, an denen Elektronen und Löcher, die vorher durch Absorption von Strahlung erzeugt wurden, sich rekombinieren können, wodurch die Effizienz verringert wird, mit der die Strahlung durch die Solarzellen in Elektrizität umgesetzt wird.

**[0004]** Die Photonen der elektromagnetischen Strahlung, die auf eine Solarzelle auftreffen, müssen genügend Energie aufweisen, um die Bandlückenenergie des Halbleitermaterials zu überwinden, um ein Elektronen-Loch-Paar zu erzeugen. Folglich hängt die Effizienz der Solarzelle vom Prozentsatz der auftreffenden Photonen ab, die eine Energie aufweisen, die der Bandlückenenergie des Halbleitermaterials entspricht. Anders ausgedrückt, die Effizienz der Solarzelle hängt zumindest teilweise von der Beziehung zwischen der Wellenlänge oder den Wellenlängen der Strahlung, die auf die Solarzelle auftrifft, und der Bandlückenenergie des Halbleitermaterials ab. Sonnenlicht wird über einen Bereich

von Wellenlängen emittiert. Folglich wurden Solarzellen entwickelt, die mehr als einen pn-Übergang umfassen, wobei jeder pn-Übergang ein Halbleitermaterial mit einer anderen Bandlückenenergie umfasst, um Licht mit verschiedenen Wellenlängen zu erfassen und die Effizienzen der Solarzellen zu erhöhen. Solche Solarzellen werden als Solarzellen „mit mehreren Übergängen“ oder „MJ“-Solarzellen bezeichnet.

**[0005]** Folglich kann die Effizienz einer Solarzelle mit mehreren Übergängen durch Auswählen der Halbleitermaterialien an den pn-Übergängen so, dass sie Bandlückenenergien aufweisen, die auf die Wellenlängen von Licht abgeglichen sind, die den Wellenlängen mit höchster Intensität im von den Solarzellen zu absorbierenden Licht entsprechen, und durch Verringern der Konzentration von Defekten in den Kristallgittern der Halbleitermaterialien an den pn-Übergängen erhöht werden. Eine Möglichkeit zum Verringern der Konzentration von Defekten in den Kristallgittern der Halbleitermaterialien besteht darin, Halbleitermaterialien zu verwenden, die Gitterkonstanten und Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen, die eng aufeinander abgestimmt sind.

**[0006]** Es wurde vorgeschlagen das verdünnte Nitrid-III-V-Halbleitermaterial  $Ga_{1-y}In_yN_xAs_{1-x}$ , wobei  $y$  etwa 0,08 ist und  $x$  etwa 0,028 ist, in einem pn-Übergang einer Solarzelle mit mehreren Übergängen zu verwenden. Ein solches verdünntes Nitrid-III-V-Halbleitermaterial kann eine Bandlückenenergie von etwa 1,0 eV bis etwa 1,1 eV aufweisen.

**[0007]** Solche verdünnten Nitrid-III-V-Halbleitermaterialien haben sich als schwierig herzustellen erwiesen, zumindest in einem kommerziellen Maßstab. Diese Schwierigkeiten liegen teilweise an den Ungleichheiten der Atomradien der verschiedenen Elemente des Materials, die im Bereich von etwa 0,75 Angström bis etwa 1,62 Angström liegen. Beispiele von Verfahren, die verwendet wurden, um  $GaInNAs$  herzustellen, sind beispielsweise in Dimroth et al., Comparison of Dilute Nitride Growth on a Single- and 8x4-inch Multiwafer MOVPE System for Solar Cell Applications, JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH 272 (2004) 726-731, and in Chalker et al., The Microstructural Influence of Nitrogen Incorporation in Dilute Nitride Semiconductors, JOURNAL OF PHYSICS: CONDEN-SED MATTER 16 (2004) S3161-S3170, offenbart, von denen jedes in seiner Gesamtheit durch den Hinweis hier aufgenommen wird.

**[0008]** In der US 2004 / 0 026 710 A1 wird eine lichtemittierende Nitrid-Halbleitervorrichtung beschrieben, die eine lichtemittierende Schicht mit einer Quantum-Well-Struktur, in der Quantum-Well-Schichten und Sperrsichten abwechselnd laminert sind, beschrieben, wobei die Quantum-Well-

Schicht aus einem In enthaltenden Nitrid-Halbleiter gebildet ist und die Sperrsicht aus einer As, P oder Sb enthaltenden Nitrid-Halbleiterschicht gebildet ist.

**[0009]** Sakai, S. et al., beschreiben in „Green light emission from GaInNAs/GaN multiple quantum well“, in Japanese journal of applied physics, Bd. 37, Nr. 12B, S. L1508, eine Quantum-Well-Struktur von GaN/GaInN/GaInNAs/GaInN über GaN.

**[0010]** In der US 2011 / 0 303 268 A1 wird eine InGaAsN-Solarzelle beschrieben, die eine InGaAsN-Struktur mit einer Bandlücke zwischen 1,0 eV und 1,05 eV und einer Breite des Verarmungsbereichs von mindestens 1,0  $\mu\text{m}$  umfasst.

#### KURZE ZUSAMMENFASSUNG

**[0011]** Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer photoaktiven Vorrichtung bereitgestellt, das umfasst:

Ausbilden von GaInN auf einem Substrat innerhalb einer Kammer, das zumindest im Wesentlichen von As frei ist; und anschließend

Austauschen von einigen N-Atomen innerhalb des GaInN gegen As-Atome, um zumindest einen Teil des GaInN in GaInNAs zu transformieren, wobei das Austauschen von einigen der N-Atome innerhalb des GaInN gegen die As-Atome durch Erhitzen des GaInN in der Kammer in Gegenwart eines Arsen enthaltenen Gases oder Dampfs erfolgt.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0012]** Die vorliegende Offenbarung kann durch Bezugnahme auf die folgende ausführliche Beschreibung von Beispielausführungsformen vollständiger verstanden werden, die in den beigefügten Figuren dargestellt sind, in denen:

**Fig. 1** ein vereinfachtes schematisches Diagramm ist, das eine teilweise Querschnittsansicht einer Solarzelle mit dreifachem Übergang darstellt, die ein verdünntes Nitrid-III-V-Halbleitermaterial umfasst, das gemäß Ausführungsformen von Verfahren der Offenbarung hergestellt werden kann;

**Fig. 2** ein vereinfachtes schematisches Diagramm ist, das eine teilweise Querschnittsansicht einer Solarzelle mit vierfachem Übergang darstellt, die ein verdünntes Nitrid-III-V-Halbleitermaterial umfasst, das gemäß Ausführungsformen von Verfahren der Offenbarung hergestellt werden kann; und

**Fig. 3 bis 5** vereinfachte schematische Diagramme sind, die die Herstellung eines verdünnten Nitrid-III-V-Halbleitermaterials innerhalb einer Abscheidungskammer gemäß Ausführungsformen von Verfahren der Offenbarung darstellen.

rungsformen von Verfahren der Offenbarung darstellen.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0013]** Die hier präsentierten Darstellungen sollen keine tatsächlichen Ansichten irgendeiner speziellen photoaktiven Vorrichtung oder irgendeines speziellen Abscheidungssystems sein, sondern sind lediglich idealisierte Darstellungen, die verwendet werden, um Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung zu beschreiben.

**[0014]** Wie hier verwendet, bedeutet und umfasst der Begriff „III-V-Halbleitermaterial“ irgendein Halbleitermaterial, das zumindest vorwiegend aus einem oder mehreren Elementen von der Gruppe IIIA des Periodensystems (B, Al, Ga, In und Ti) und einem oder mehreren Elementen von der Gruppe VA des Periodensystems (N, P, As, Sb und Bi) besteht. III-V-Halbleitermaterialien umfassen beispielsweise GaN, GaP, GaAs, InN, InP, InAs, AlN, AlP, AlAs, InGaN, InGaP, GaInN, InGaNAs, GaInNAs usw., sind jedoch nicht darauf begrenzt.

**[0015]** **Fig. 1** stellt eine photoaktive Vorrichtung dar, die unter Verwendung von Ausführungsformen von Verfahren der vorliegenden Offenbarung ausgebildet werden kann. Die photoaktive Vorrichtung von **Fig. 1** umfasst eine Photovoltaikzelle 100 (z. B. eine Solarzelle). Die Solarzelle 100 ist dazu konfiguriert, elektromagnetische Strahlung 102 (z. B. Licht), die auf die Solarzelle 100 auftrifft, in Elektrizität umzusetzen. Die Solarzelle 100 von **Fig. 1** ist eine Solarzelle 100 mit mehreren Übergängen, die eine erste Unterzelle 104, eine zweite Unterzelle 106 und eine dritte Unterzelle 108 umfasst. Jede der Unterzellen 104, 106, 108 umfasst einen mehrlagigen Stapel von Halbleitermaterialien. Mindestens eine der Unterzellen 104, 106, 108 umfasst ein verdünntes Nitrid-III-V-Halbleitermaterial.

**[0016]** Jeder mehrlagige Stapel von Halbleitermaterialien in den Unterzellen 104, 106, 108 umfasst einen pn-Übergang. Mit anderen Worten, jeder mehrlagige Stapel von Halbleitermaterialien umfasst eine Schicht eines Materials vom p-Typ und eine benachbarte Schicht eines Halbleitermaterials vom n-Typ, so dass ein pn-Übergang an der Grenzfläche zwischen den benachbarten Halbleitermaterialien vom p-Typ und vom n-Typ definiert ist. Wie dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt ist, werden ein Ladungsverarmungsbereich (auf dem Fachgebiet auch als Raumladungsschicht bezeichnet) und ein internes elektrisches Feld am pn-Übergang entwickelt. Wenn Photonen der elektromagnetischen Strahlung 102 in die Solarzelle 100 eintreten, können sie innerhalb der Halbleitermaterialien in den mehrlagigen Stapeln des Halbleitermaterials in den Unterzellen 104, 106, 108 absorbiert werden. Wenn ein

Photon eine Energie aufweist, die der Bandlückenenergie des jeweiligen Halbleitermaterials entspricht, in dem das Photon absorbiert wird, kann ein Elektronen-Loch-Paar innerhalb des Halbleitermaterials erzeugt werden. Wenn Photonen in den Ladungsverarmungsbereichen an den pn-Übergängen absorbiert werden und zur Bildung von Elektronen-Loch-Paaren darin führen, treibt das interne elektrische Feld am pn-Übergang das Elektron in Richtung des Bereichs vom n-Typ und das Loch in der entgegengesetzten Richtung in Richtung des Bereichs vom p-Typ, was zu einer Spannung über dem pn-Übergang führt. Die Spannungen der Unterzellen 104, 106, 108 werden (z. B. in Reihe) über der ganzen Solarzelle 100 akkumuliert, um eine Leerlaufspannung  $V_{oc}$  zwischen einer ersten Kontaktsschicht 111 auf einer Seite der Solarzelle 100 und einer zweiten Kontaktsschicht 112 auf einer entgegengesetzten Seite der Solarzelle 100 zu liefern. Die erste Kontaktsschicht 111 und die zweite Kontaktsschicht 112 können leitfähige Metalle oder Metalllegierungen umfassen. Die zweite Kontaktsschicht 112 kann diskontinuierlich sein, um mindestens eine Öffnung 114 durch die zweite Kontaktsschicht 112 bereitzustellen, durch die die elektromagnetische Strahlung 102 hindurchtreten und in die Unterzellen 104, 106, 108 eintreten kann. Eine Antireflexbeschichtung (AR-Beschichtung) 115 kann auf der Solarzelle 100 in der Öffnung 114 vorgesehen sein, wie in **Fig. 1** gezeigt.

**[0017]** Jede der Unterzellen 104, 106, 108 kann dazu konfiguriert sein, elektromagnetische Strahlung 102 hauptsächlich mit verschiedenen Wellenlängen unter Verwendung von Halbleitermaterialien an dem pn-Übergang, die verschiedene Zusammensetzungen und Bandlückenenergien aufweisen, zu absorbieren. Als Beispiel und nicht zur Begrenzung kann die erste Unterzelle 104 einen pn-Übergang umfassen, der in einem InGaP-III-V-Halbleitermaterial mit einer Bandlückenenergie von ungefähr 1,88 eV ausgebildet ist, die zweite Unterzelle 106 kann einen pn-Übergang umfassen, der in einem InGaAs-III-V-Halbleitermaterial mit einer Bandlückenenergie von ungefähr 1,42 eV ausgebildet ist, und die dritte Unterzelle 108 kann einen pn-Übergang umfassen, der in einem GaInNAs-III-V-Halbleitermaterial mit einer Bandlückenenergie von ungefähr 1,00 eV ausgebildet ist.

**[0018]** Mindestens eine der Unterzellen 104, 106, 108 umfasst ein verdünntes Nitrid-III-V-Halbleitermaterial, das in der Ausführungsform von **Fig. 1** das verdünnte GaInNAs-Nitrid-III-V-Halbleitermaterial in der dritten Unterzelle 108 ist. Das GaInNAs kann  $Ga_1-yIn_yN_xAs_{1-x}$  umfassen, wobei  $y$  größer als 0,0 und kleiner als 1,0 (z. B. zwischen etwa 0,08 und etwa 1,0) ist und  $x$  zwischen etwa 0,1 und etwa 0,5 liegt. Andere verdünnte Nitridmaterialien wie z. B. GaInNAsSb können in zusätzlichen Ausführungsformen der Offenbarung verwendet werden.

**[0019]** Mit fortgesetztem Bezug auf **Fig. 1** kann jede der Unterzellen 104, 106, 108 zusätzliche Materialschichten umfassen, die beispielsweise Fensterschichten 116 und Rückseitenfeldschichten (BSF-Schichten) 118 umfassen können. Die Fensterschichten 116 und BSF-Schichten 118 werden verwendet, um die Materialzusammensetzung über der Solarzelle 100 in einer Weise zu überführen, die Defekte mildert und daher den Stromfluss ohne Elektronen-Loch-Rekombination fördert und die ermöglicht, dass sich die elektromagnetische Strahlung 102 durch die Solarzelle 100 zu den verschiedenen Unterzellen 104, 106, 108 ausbreitet.

**[0020]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, können Tunnelübergangsschichten 120 zwischen den Unterzellen 104, 106, 108 angeordnet sein. Die Tunnelübergangsschichten 120 werden verwendet, um eine Verbindung zwischen den entgegengesetzten Bereichen vom n- und vom p-Typ der Unterzellen benachbart zu den Tunnelübergangsschichten 120 auf entgegengesetzten Seiten davon zu schaffen, die einen geringen elektrischen Widerstand aufweist. Die Tunnelübergangsschichten 120 können zumindest im Wesentlichen für die elektromagnetische Strahlung 102 durchlässig sein, um zu ermöglichen, dass die elektromagnetische Strahlung 102 die Tunnelübergangsschichten 120 zu darunter liegenden Unterzellen durchdringt. Jede Tunnelübergangsschicht 120 kann eine stark dotierte Schicht vom n-Typ und eine stark dotierte Schicht vom p-Typ (nicht dargestellt) umfassen. Das Halbleitermaterial oder die Halbleitermaterialien der stark dotierten Schichten vom n- und vom p-Typ können eine breite Bandlücke aufweisen. In dieser Konfiguration kann der Verarmungsbereich relativ schmal sein und das Tunneln von Elektronen vom Leitungsband im Bereich vom n-Typ zum Valenzband im Bereich vom p-Typ wird erleichtert. Folglich können die Tunnelübergangsschichten 120 mehrere Schichten aus Halbleitermaterial (z. B. III-V-Halbleitermaterial) umfassen.

**[0021]** Solarzellen mit weniger oder mehr Unterzellen (z. B. einer, zwei, vier, fünf usw.) können auch gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung hergestellt werden. **Fig. 2** stellt beispielsweise eine andere Solarzelle 200 dar, die zur Solarzelle 100 von **Fig. 1** im Allgemeinen ähnlich ist. Die Solarzelle 200 umfasst jedoch ferner eine vierte Unterzelle 110. Als Beispiel und nicht zur Begrenzung kann die vierte Unterzelle 110 einen pn-Übergang umfassen, der in einem Ge-Halbleitermaterial mit einer Bandlückenenergie von ungefähr 0,66 eV ausgebildet ist. Durch Aufnehmen der zusätzlichen vierten Unterzelle 110 kann die Effizienz der Solarzelle 200 von **Fig. 2** höher sein als jene der Solarzelle 100 von **Fig. 1**.

**[0022]** Zusätzlich zu den optischen und elektrischen Eigenschaften, die von den verschiedenen Material-

schichten in den Solarzellen 100, 200 dargelegt werden sollen, sind die verschiedenen III-V-Halbleitermaterialien darin kristallin (und bestehen häufig im Wesentlichen aus einem Einkristall des Materials) und können physikalischen Einschränkungen und Erwägungen unterliegen. Die Anwesenheit von Defekten in der kristallinen Struktur der verschiedenen III-V-Halbleitermaterialien kann Stellen bereitstellen, an denen Elektronen und Löcher sich sammeln und rekombinieren, wodurch die Effizienz der Solarzellen 100, 200 verringert wird. Folglich ist es erwünscht, die verschiedenen III-V-Halbleitermaterialien so auszubilden, dass sie relativ niedrige Defektkonzentrationen darin aufweisen. Um die Konzentration von Defekten an der Grenzfläche zwischen den verschiedenen III-V-Halbleitermaterialien zu verringern, können die Zusammensetzungen der verschiedenen Schichten derart ausgewählt werden, dass benachbarte Materialschichten im Allgemeinen übereinstimmende Gitterkonstanten und Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen. Diese zusätzlichen Konstruktionsparameter schaffen weitere Einschränkungen für die Materialien, die in den verschiedenen III-V-Halbleitermaterialien innerhalb der Solarzellen 100, 200 erfolgreich verwendet werden können.

**[0023]** Photovoltaikvorrichtungen, die ein verdünntes Nitrid-III-V-Halbleitermaterial umfassen, wie z. B. die Photovoltaikvorrichtung 100 von **Fig. 1** und die Photovoltaikvorrichtung 200 von **Fig. 2**, die das verdünnte Nitrid-III-V-Halbleitermaterial GaInNAs in der dritten Unterzelle 108 umfassen, haben sich als in hohen Volumina und mit hoher Ausbeute schwierig herzustellen erwiesen. Die Konzentration von Stickstoff in GaInNAs, die dazu führt, dass das GaInNAs eine Bandlückenenergie von etwa 1,00 eV aufweist, ist etwa zwei Atomprozent (2 Atom-%). Die Elemente in GaInNAs weisen varierende Atomradien auf, wie in der nachstehenden Tabelle 1 gezeigt.

TABELLE 1

| ELEMENT | ATOMRADIUS (Å) |
|---------|----------------|
| Ga      | 1,22           |
| In      | 1,62           |
| As      | 1,21           |
| N       | 0,75           |

**[0024]** Aufgrund zumindest teilweise der ungleichen Atomradien dieser Elemente besteht eine Tendenz, dass eine GaAsN-Phase aus dem GaInNAs ausscheidet, wenn der Stickstoffgehalt im GaInNAs zunimmt. Obwohl die Zugabe von mehr Indium (das einen relativ großen Atomradius aufweist) diesen Effekt in einem gewissen Umfang mildern kann, suchen auf Defekt bezogene Rekombinationszentren weiterhin derzeit erhältliche GaInNAs- und

andere verdünnte Nitrid-III-V-Halbleitermaterialien heim.

**[0025]** Gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung können GaInNAs und andere verdünnte Nitrid-III-V-Halbleitermaterialien zur Verwendung in photoaktiven Vorrichtungen, wie z. B. der Photozelle 100 von **Fig. 1** und der Photozelle 200 von **Fig. 2**, Leuchtdioden, Lasern und anderen photoaktiven Vorrichtungen, durch zuerst Ausbilden eines Nitridmaterials, das zumindest im Wesentlichen von Arsen (As) frei ist, und anschließend Austauschen von einigen N-Atomen gegen Arsenatome innerhalb des Nitridmaterials, um zumindest einen Teil des Nitridmaterials in ein verdünntes Nitrid-III-V-Halbleitermaterial zu transformieren, das Arsen umfasst, ausgebildet werden. Diese Verfahren können in einigen Ausführungsformen innerhalb einer Abscheidungskammer zur metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung (MOCVD) oder Hydrid-Gasphasenepitaxie (HVPE) ausgeführt werden, die zuerst verwendet werden kann, um das Nitridmaterial in einem MOCVD- oder HVPE-Prozess auszubilden und anschließend Arsen durch Austauschen von Stickstoff im Nitridmaterial gegen Arsen in das Nitridmaterial einzugliedern.

**[0026]** Als Beispiel und nicht zur Begrenzung kann GaInNAs durch Ausbilden von GaInN auf einem Substrat innerhalb einer Kammer und Austauschen von einigen N-Atomen innerhalb des GaInN gegen As-Atome, um zumindest einen Teil des GaInN in GaInNAs zu transformieren, hergestellt werden. Einige N-Atome innerhalb des GaInN können gegen die As-Atome durch Erhitzen des GaInN in einer Kammer in Gegenwart eines Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs wie z. B. Arsin oder eines metallorganischen Arsinvorläuferdampfs ausgetauscht werden. Ein solches Verfahren wird nachstehend mit Bezug auf **Fig. 3 bis 5** genauer beschrieben.

**[0027]** Mit Bezug auf **Fig. 3** kann ein Substrat 300 innerhalb einer Abscheidungskammer 302 angeordnet werden. Die Abscheidungskammer 302 kann eine MOCVD- oder eine HVPE-Abscheidungskammer umfassen. Die Abscheidungskammer 302 kann einen oder mehrere Einlässe 304, durch die ein oder mehrere Gase und/oder Dämpfe in die Reaktionskammer 302 während eines Abscheidungsprozesses eingeführt werden können, und einen oder mehrere Auslässe 306, durch die Gase und/oder Dämpfe aus der Abscheidungskammer 302 während eines Abscheidungsprozesses entlüftet werden können, umfassen.

**[0028]** Das Substrat 300 kann eine oder mehrere vorher ausgebildete Materialschichten umfassen. In einigen Ausführungsformen kann das Substrat 300 eine zumindest teilweise ausgebildete photoaktive Vorrichtung umfassen. In einigen Ausführungsfor-

men kann das Substrat 300 beispielsweise den Abschnitt der Solarzelle 100 von **Fig. 1**, der unter den GaInNAs-Schichten der dritten Unterzelle 108 gezeigt ist, oder den Abschnitt der Solarzelle 200 von **Fig. 2**, der unter den GaInNAs-Schichten der dritten Unterzelle 108 gezeigt ist, umfassen. In einigen Ausführungsformen kann das Substrat 300 eine Pufferschicht umfassen, die an der oberen Hauptoberfläche des Substrats 300 freiliegt, die einen Gitterparameter nahe jenem des GaInN oder einer anderen darauf auszubildenden Nitridschicht aufweisen kann. Wenn es beispielsweise erwünscht ist, GaInN auf dem Substrat 300 epitaxial zu züchten, kann das Substrat 300 eine GaN-Pufferschicht darauf umfassen, die an der oberen Hauptoberfläche des Substrats 300 freiliegt. Das GaInN kann dann direkt auf der freiliegenden oberen Oberfläche der GaN-Pufferschicht epitaxial gezüchtet werden. In einigen Ausführungsformen kann eine Basis des Substrats 300 beispielsweise ein Saphirsubstrat ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Substrat) umfassen.

**[0029]** Mit Bezug auf **Fig. 4** kann eine Schicht 308 aus GaInN auf dem Substrat 300 innerhalb der Abscheidungskammer 302 unter Verwendung eines MOCVD- oder eines HVPE-Prozesses abgeschieden (z. B. epitaxial gezüchtet) werden. Als Beispiel und nicht zur Begrenzung sind HVPE-Prozesse, die verwendet werden können, um die Schicht 308 aus GaInN auf dem Substrat 300 epitaxial abzuscheiden, in der US-Patentanmeldung Veröffentlichung Nr. US 2009/0223442 A1 beschrieben, die am 10. September 2009 im Namen von Arena et al. veröffentlicht wurde, deren Offenbarung durch diesen Hinweis in ihrer Gesamtheit hier aufgenommen wird.

**[0030]** Mit Bezug auf **Fig. 5** kann nach dem Ausbilden der Schicht 308 aus GaInN auf dem Substrat 300 ein Gas oder Dampf, das/der Arsen umfasst, in die Reaktionskammer 302 eingeführt und verwendet werden, um einige N-Atome innerhalb der Schicht 308 aus GaInN gegen As-Atome auszutauschen, um zumindest einen Teil der Schicht 308 aus GaInN in ein GaInNAs-Material 310 zu transformieren.

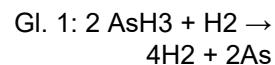
**[0031]** Das Gas oder der Dampf, das/der Arsen umfasst, kann beispielsweise  $\text{AsR}_3$  umfassen, wobei jedes R individuell aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Wasserstoff-, Alkyl-, Aryl- und Vinylgruppen besteht. In einigen Ausführungsformen kann jedes R individuell aus der Gruppe ausgewählt sein, die aus Wasserstoff- und Tertiärbutylgruppen besteht. Als nicht begrenzende Beispiele kann das Gas oder der Dampf, das/der Arsen umfasst, Arsin ( $\text{AsH}_3$ ), Tertiärbutylarsin ( $\text{AsH}_2\text{C}(\text{CH}_3)_3$ ) (TBAs) oder ein Gemisch von Arsin und TBAs sein. Wie nachstehend genauer erörtert, ist TBAs ein metallorganischer Arsinvorläufer, der unter Bildung von Arsin zersetzt werden kann. Andere metallorganische Arsinvorläufer können auch als Arsen enthaltendes

Gas oder Arsen enthaltender Dampf verwendet werden.

**[0032]** Die Schicht 308 aus GaInN (**Fig. 4**) kann in der Zersetzungskammer 302 auf eine Temperatur erhitzt werden, bei der das GaInN geringfügig instabil ist, während das Gas oder der Dampf, das/der Arsen enthält, durch die Abscheidungskammer 302 über das GaInN strömen lassen wird. GaInN ist beispielsweise bei Temperaturen oberhalb etwa 600 °C geringfügig instabil. Bei diesen Temperaturen können Stickstoffatome aus dem GaInN freigesetzt werden. Wenn die Stickstoffatome aus dem GaInN freigesetzt werden, können Arsenatome in das GaInN von dem Arsen enthaltenden Gas oder Dampf innerhalb der Abscheidungskammer 302 eingesetzt werden, um das GaInNAs-Material 310 auszubilden. Die Temperatur der Abscheidungskammer 302 kann auch ausreichend hoch sein, um zu bewirken, dass zumindest einiges des Gases oder Dampfs, das/der Arsen enthält, sich zersetzt, was zur Bildung von diskreten As-Atomen (z. B. As-Ionen) innerhalb der Abscheidungskammer 302 führt. Arsin kann zu etwa fünfzig Prozent (50 %) bei etwa 600 °C pyrolysiert werden. TBAs kann zu etwa fünfundzwanzig Prozent (25 %) bei Temperaturen von weniger als etwa 500 °C zersetzt werden und kann bei etwa 610 °C im Wesentlichen vollständig zersetzt werden. Gemäß einigen Ausführungsformen kann folglich die Schicht 308 aus GaInN (**Fig. 4**) in der Kammer 302 in Gegenwart eines Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs wie z. B. Arsin und/oder eines metallorganischen Arsinvorläufers (z. B. TBAs) auf mindestens etwa 500 °C und spezieller auf mindestens etwa 600 °C erhitzt werden.

**[0033]** In einigen Ausführungsformen kann Ammoniak in die Reaktionskammer 302 zur gleichen Zeit, wie das Gas oder der Dampf, das/der Arsen enthält, in die Kammer 302 eingeführt wird, eingeführt werden, was die Oberfläche des InGaN stabilisieren kann, während einige N-Atome innerhalb der Schicht 308 aus GaInN gegen As-Atome ausgetauscht werden, um zumindest einen Teil der Schicht 308 aus GaInN in ein GaInNAs-Material 310 zu transformieren.

**[0034]** Zusätzliche Gase oder Dämpfe können wahlweise in die Abscheidungskammer 302 eingeführt werden, um die Zersetzung des Arsin enthaltenden Gases oder Dampfs, wie erforderlich oder erwünscht, zu unterstützen. Wasserstoffgas kann beispielsweise in die Abscheidungskammer 302 eingeführt werden, um die Zersetzung zu unterstützen. Arsin zersetzt sich in Gegenwart von Wasserstoffgas gemäß der in der nachstehenden Gleichung 1 dargestellten Reaktion.



**[0035]** Die Zersetzung von TBAs kann über zwei Wege stattfinden. In einem ersten Weg kann eine intramolekulare Kopplung zwischen TBAs-Molekülen zur Zersetzung gemäß der in der nachstehenden Gleichung 2 dargestellten Reaktion führen.



**[0036]** Es wird angenommen, dass die intramolekulare Kopplung durch Bindung der Tertiärbutylgruppe mit einem der H-Atome, die an das As-Atom gebunden sind, unter Bildung des  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  vor sich geht. Das durch die Reaktion von Gleichung 2 erzeugte AsH zersetzt sich nicht, bis die Temperatur innerhalb der Abscheidungskammer 302 ausreichend hoch ist, so dass sie ebenso zur Zersetzung von Arsin ( $\text{AsH}_3$ ) führt.

**[0037]** In einem zweiten Weg kann sich TBAs durch  $\beta$ -Beseitigung bei relativ höheren Temperaturen gemäß der in der nachstehenden Gleichung 3 dargestellten Reaktion zersetzen.



**[0038]** Gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung kann folglich TBAs in der Abscheidungskammer 302 unter Bildung von AsH und/oder  $\text{AsH}_3$  zersetzt werden. Das AsH und/oder  $\text{AsH}_3$  kann sich auch innerhalb der Abscheidungskammer 302 unter Bildung von As-Atomen zersetzen, die in die Schicht 308 aus GalN eingegliedert werden können, was zur Bildung des GalnNAS-Materials 310 führt. Wenn die As-Atome in die Schicht 308 aus GalN eingegliedert werden, können sie Stellen im Kristallgitter des Materials belegen, die vorher von Stickstoffatomen belegt waren, die von der Schicht 308 aus GalN desorbiert wurden.

**[0039]** In einigen Ausführungsformen kann die Dicke der vorher ausgebildeten Schicht 308 aus GalN selektiv begrenzt werden, so dass As in der ganzen Schicht 308 aus GalN unter Bildung einer im Allgemeinen homogenen Schicht aus GalnNAS-Material 310 eingesetzt werden kann. Um dickere Schichten aus GalnNAS-Material 310 zu erreichen, können die Handlungen der Ausbildung der Schicht 308 aus GalN und des anschließenden Einsetzens von Arsen in die Schicht 308 aus GalN unter Bildung des GalnNAS-Materials 310, wie vorher beschrieben, ein oder mehrere Male wiederholt werden, um eine Schicht aus GalnNAS-Material 10 mit erwünschter Gesamtdicke zu erreichen.

**[0040]** Während des Austauschs von Stickstoffatomen innerhalb der Schicht 308 aus GalN gegen Arsenatome unter Bildung des GalnNAS-Materials 310, wie vorstehend beschrieben, können die Temperatur und der Druck innerhalb der Reaktionskam-

mer 302 sowie die Durchflussraten und Partialdrücke der Gase und/oder Dämpfe (z. B. Arsen enthaltendes Gas oder Dampf, Wasserstoffgas, Stickstoffträgergas usw.), die durch die Abscheidungskammer 302 strömen, in einer Weise eingestellt werden, die zu einem allgemeinen Gleichgewicht der Desorption von Stickstoff und des Einschlusses von Arsen und daher der Umsetzung der Schicht 308 aus GalN in das GalnNAS-Material 310 führt. Die verschiedenen Parameter, die ein solches allgemeines Gleichgewicht erreichen, können beispielsweise in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs und der gewünschten Zusammensetzung des auszubildenden GalnNAS-Materials 310 variieren.

**[0041]** In einigen Ausführungsformen kann das GalnNAS-Material 310 so ausgebildet werden, dass es  $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}_x\text{As}_{1-x}$  umfasst, wobei  $y$  größer als 0,0 und kleiner als 1,0 ist und  $x$  zwischen etwa 0,1 und etwa 0,5 liegt. Außerdem kann das GalnNAS-Material 310 so ausgebildet werden, dass es eine Zusammensetzung aufweist, so dass das GalnNAS-Material 310 eine Bandlückenenergie zwischen etwa 0,9 eV und etwa 1,2 eV aufweist.

**[0042]** Nach dem Ausbilden des GalnNAS-Materials 310 oder eines anderen verdünnten Nitrid-III-V-Halbleitermaterials, wie vorstehend beschrieben, kann die resultierende Struktur weiter verarbeitet werden, um eine photoaktive Vorrichtung auszubilden, wie z. B. eine der Solarzellen 100, 200 mit mehreren Übergängen von **Fig. 1** und **2**, eine Leuchtdiode oder eine Laserdiode.

**[0043]** Zusätzliche nicht begrenzende Ausführungsformen der Offenbarung werden nachstehend dargestellt:

Ausführungsform 1: Ein Verfahren zur Herstellung einer photoaktiven Vorrichtung, das umfasst: Ausbilden von GalN auf einem Substrat innerhalb einer Kammer; und Austauschen von einigen N-Atomen innerhalb des GalN gegen As-Atome, um zumindest einen Teil des GalN in GalnNAS zu transformieren.

Ausführungsform 2: Das Verfahren der Ausführungsform 1, wobei das Austauschen von einigen der N-Atome innerhalb des GalN gegen die As-Atome das Erhitzen des GalN in der Kammer in Gegenwart eines Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs umfasst.

Ausführungsform 3: Das Verfahren der Ausführungsform 2, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er  $\text{AsR}_3$  enthält, umfasst, wobei jedes R individuell aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Wasserstoff-, Alkyl-, Aryl- und Vinylgruppen besteht.

Ausführungsform 4: Das Verfahren der Ausführungsform 3, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er Arsin und/oder einen metallorganischen Arsinvorläufer enthält, umfasst.

Ausführungsform 5: Das Verfahren der Ausführungsform 4, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er Arsin enthält, umfasst.

Ausführungsform 6: Das Verfahren der Ausführungsform 4, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er Tertiärbutylarsin enthält, umfasst.

Ausführungsform 7: Das Verfahren der Ausführungsform 6, das ferner das Zersetzen des Tertiärbutylarsins in der Kammer unter Bildung von AsH und/oder AsH<sub>3</sub> umfasst.

Ausführungsform 8: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 2 bis 7, wobei das Erhitzen des GaInN in der Kammer in Gegenwart des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs ferner das Erhitzen des GaInN in der Kammer in Gegenwart von Ammoniak umfasst.

Ausführungsform 9: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 2 bis 8, wobei das Erhitzen des GaInN in der Kammer in Gegenwart eines Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs das Erhitzen des GaInN in der Kammer auf mindestens etwa 500 °C umfasst.

Ausführungsform 10: Das Verfahren der Ausführungsform 9, wobei das Erhitzen des GaInN in der Kammer auf mindestens etwa 500 °C das Erhitzen des GaInN in der Kammer auf mindestens etwa 600 °C umfasst.

Ausführungsform 11: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 1 bis 10, wobei das Ausbilden des GaInN auf dem Substrat innerhalb der Kammer das epitaxiale Züchten des GaInN auf dem Substrat innerhalb der Kammer umfasst.

Ausführungsform 12: Das Verfahren der Ausführungsform 11, wobei das epitaxiale Züchten des GaInN auf dem Substrat innerhalb der Kammer das Verwenden eines Prozesses zur metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung (MOCVD) oder zur Hydrid-Gasphasenepitaxie (HVPE) umfasst, um das GaInN auf dem Substrat innerhalb der Kammer epitaxial zu züchten.

Ausführungsform 13: Das Verfahren der Ausführungsform 12, das ferner das Auswählen des Substrats so, dass es GaN enthält, umfasst, und wobei das epitaxiale Züchten des GaInN auf dem Substrat innerhalb der Kammer das epitaxiale Züchten des GaInN direkt auf dem GaN umfasst.

Ausführungsform 14: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 1 bis 13, das ferner das Ausbilden des GaInNAs so, dass es  $_{1-y}^{Ga}In_yN_xAs_{1-x}$  enthält, umfasst, wobei y größer als 0,0 und kleiner als 1,0 ist und x zwischen etwa 0,1 und etwa 0,5 liegt.

Ausführungsform 15: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 1 bis 14, das ferner das Ausbilden des GaInNAs so, dass es eine Bandlückenenergie zwischen etwa 0,9 eV und etwa 1,2 eV aufweist, umfasst.

Ausführungsform 16: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 1 bis 15, das ferner das Ausbilden einer Solarzelle mit mehreren Übergängen mit dem GaInNAs umfasst.

Ausführungsform 17: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 1 bis 15, das ferner das Ausbilden einer Leuchtvorrichtung mit dem GaInNAs umfasst.

Ausführungsform 18: Das Verfahren der Ausführungsform 17, das ferner das Ausbilden der Leuchtvorrichtung so, dass sie eine Laserdiode umfasst, umfasst.

Ausführungsform 19: Ein Verfahren zur Herstellung einer photoaktiven Vorrichtung, das umfasst: epitaxiales Züchten einer GaInN-Schicht in einer Kammer; Erhitzen der GaInN-Schicht in der Kammer auf mindestens 500 °C; Einführen mindestens eines Gases oder Dampfs, das/der As-Atome enthält, in die Kammer; und Umsetzen zumindest eines Teils der GaInN-Schicht in GaInNAs.

Ausführungsform 20: Das Verfahren der Ausführungsform 19, wobei das epitaxiale Züchten der GaInN-Schicht in der Kammer die Verwendung eines Prozesses zur metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung (MOCVD) oder zur Hydrid-Gasphasenepitaxie (HVPE), um die GaInN-Schicht in der Kammer zu züchten, umfasst.

Ausführungsform 21: Das Verfahren der Ausführungsform 19 oder Ausführungsform 20, wobei das Einführen mindestens eines Gases oder Dampfs, das/der As-Atome enthält, in die Kammer das Einführen von Arsin und/oder eines metallorganischen Arsinvorläufers in die Kammer umfasst. Ausführungsform 22: Das Verfahren der Ausführungsform 21, wobei das Einführen von Arsin und/oder eines metallorganischen Arsinvorläufers in die Kammer das Einführen von Tertiärbutylarsin in die Kammer umfasst.

Ausführungsform 23: Das Verfahren von irgend einer der Ausführungsformen 19 bis 22, das ferner das Einführen von Ammoniak in die Kammer umfasst, während das mindestens eine Gas

oder der mindestens eine Dampf, das/der As-Atome enthält, in die Kammer eingeführt wird.

Ausführungsform 24: Das Verfahren von irgend-einer der Ausführungsformen 19 bis 22, wobei das Erhitzen der GaInN-Schicht in der Kammer auf mindestens 500 °C das Erhitzen der GaInN-Schicht in der Kammer auf mindestens 600 °C umfasst.

Ausführungsform 25: Das Verfahren von irgend-einer der Ausführungsformen 19 bis 24, wobei das epitaxiale Züchten der GaInN-Schicht in der Kammer das epitaxiale Züchten der GaInN-Schicht auf einem Substrat, das GaN umfasst, in der Kammer umfasst.

Ausführungsform 26: Das Verfahren von irgend-einer der Ausführungsformen 19 bis 25, das ferner das Ausbilden der GaInNAs-Schicht so, dass sie  $Ga_{1-y}In_yN_xAs_{1-x}$  enthält, umfasst, wobei  $y$  größer als 0,0 und kleiner als 1,0 ist und  $x$  zwischen etwa 0,1 und etwa 0,5 liegt.

Ausführungsform 27: Das Verfahren von irgend-einer der Ausführungsformen 19 bis 26, das ferner das Ausbilden der GaInNAs-Schicht so, dass sie eine Bandlückenenergie zwischen etwa 0,9 eV und etwa 1,2 eV aufweist, umfasst.

Ausführungsform 28: Das Verfahren von irgend-einer der Ausführungsformen 19 bis 27, das ferner das Ausbilden einer Solarzelle mit mehreren Übergängen mit der GaInNAs-Schicht umfasst.

Ausführungsform 29: Das Verfahren von irgend-einer der Ausführungsformen 19 bis 27, das ferner das Ausbilden einer Leuchtvorrichtung mit der GaInNAs-Schicht umfasst.

Ausführungsform 30: Das Verfahren der Ausführungsform 29, das ferner das Ausbilden der Leuchtvorrichtung so, dass sie eine Laserdiode umfasst, umfasst.

Ausführungsform 31: Eine photoaktive Vorrichtung, die durch ein Verfahren, wie in irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 30 angeführt, hergestellt wird.

Ausführungsform 32: Eine photoaktive Vorrichtung, wobei die photoaktive Vorrichtung durch ein Verfahren hergestellt wird, das umfasst: Ausbilden von GaInN auf einem Substrat innerhalb einer Kammer; und Austauschen von einigen N-Atomen innerhalb des GaInN gegen As-Atome, um zumindest einen Teil des GaInN in GaInNAs zu transformieren.

Ausführungsform 33: Die photoaktive Vorrichtung der Ausführungsform 32, wobei die photoaktive Vorrichtung eine Solarzelle umfasst.

Ausführungsform 34: Die photoaktive Vorrichtung der Ausführungsform 32, wobei die photo-

aktive Vorrichtung eine Leuchtvorrichtung umfasst.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer photoaktiven Vorrichtung, das umfasst:

Ausbilden von GaInN auf einem Substrat (300) innerhalb einer Kammer (302), das zumindest im Wesentlichen von As frei ist; und anschließend Austauschen von einigen N-Atomen innerhalb des GaInN gegen As-Atome, um zumindest einen Teil des GaInN in GaInNAs zu transformieren, wobei das Austauschen von einigen der N-Atome innerhalb des GaInN gegen die As-Atome durch Erhitzen des GaInN in der Kammer (302) in Gegenwart eines Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er  $AsR_3$  enthält, umfasst, wobei jedes R individuell aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Wasserstoff-, Alkyl-, Aryl- und Vinylgruppen besteht.

3. Verfahren nach Anspruch 2, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er Arsin und/oder einen metall-organischen Arsinvorläufer enthält, umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 3, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er Arsin enthält, umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 3, das ferner das Auswählen des Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs so, dass es/er Tertiärbutylarsin enthält, umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erhitzen des GaInN in der Kammer (302) in Gegenwart eines Arsen enthaltenden Gases oder Dampfs das Erhitzen des GaInN in der Kammer (302) auf mindestens etwa 500 °C umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ausbilden des GaInN auf dem Substrat (300) innerhalb der Kammer (302) das epitaxiale Züchten des GaInN auf dem Substrat (300) innerhalb der Kammer (302) umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das epitaxiale Züchten des GaInN auf dem Substrat (300) innerhalb der Kammer (302) die Verwendung eines Prozesses zur metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung (MOCVD) oder zur Hydrid-Gasphasenepitaxie (HVPE) umfasst, um das GaInN auf dem Substrat (300) innerhalb der Kammer (302) epitaxial zu züchten.

9. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Ausbilden des GaInNAs so, dass es  $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}_x\text{As}_{1-x}$  enthält, umfasst, wobei y größer als 0,0 und kleiner als 1,0 ist und x zwischen etwa 0,1 und etwa 0,5 liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Ausbilden des GaInNAs so, dass es eine Bandlückenenergie zwischen etwa 0,9 eV und etwa 1,2 eV aufweist, umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Ausbilden einer Solarzelle mit mehreren Übergängen mit dem GaInNAs umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Ausbilden einer Leuchtvorrichtung mit dem GaInNAs umfasst.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

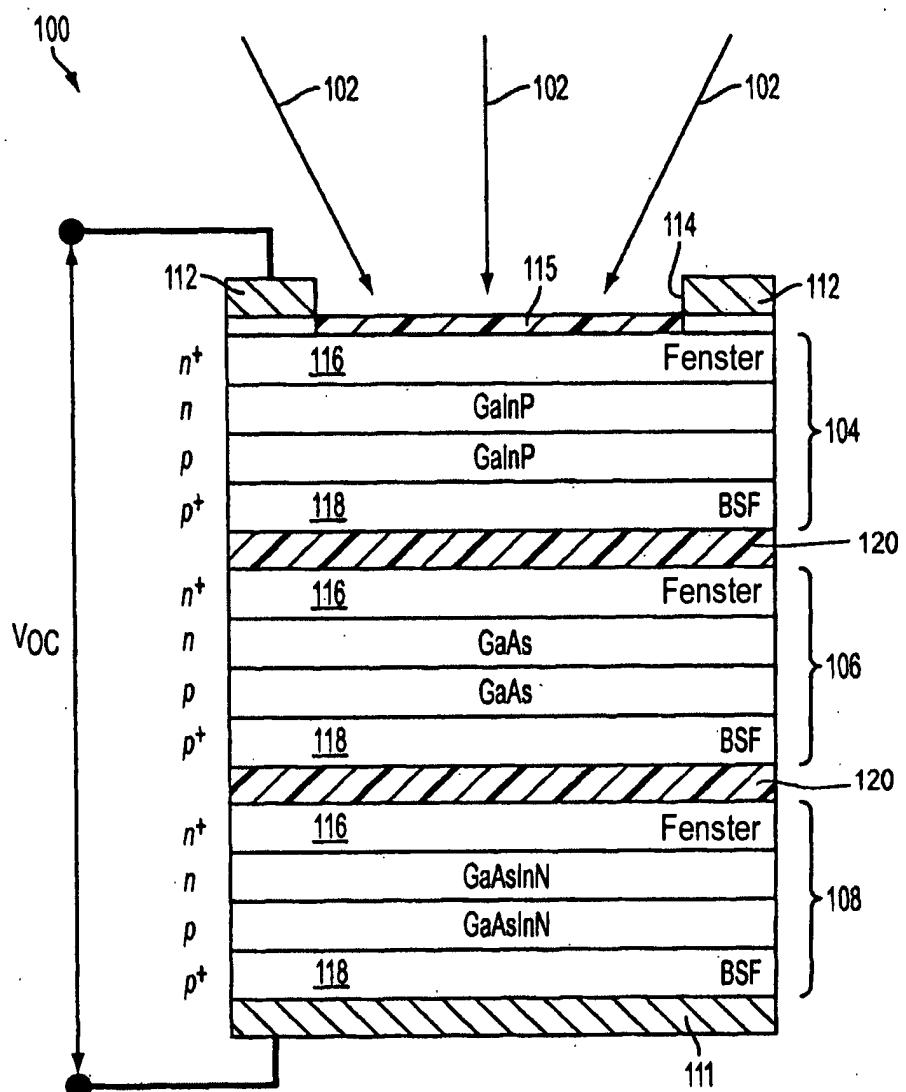


FIG. 1

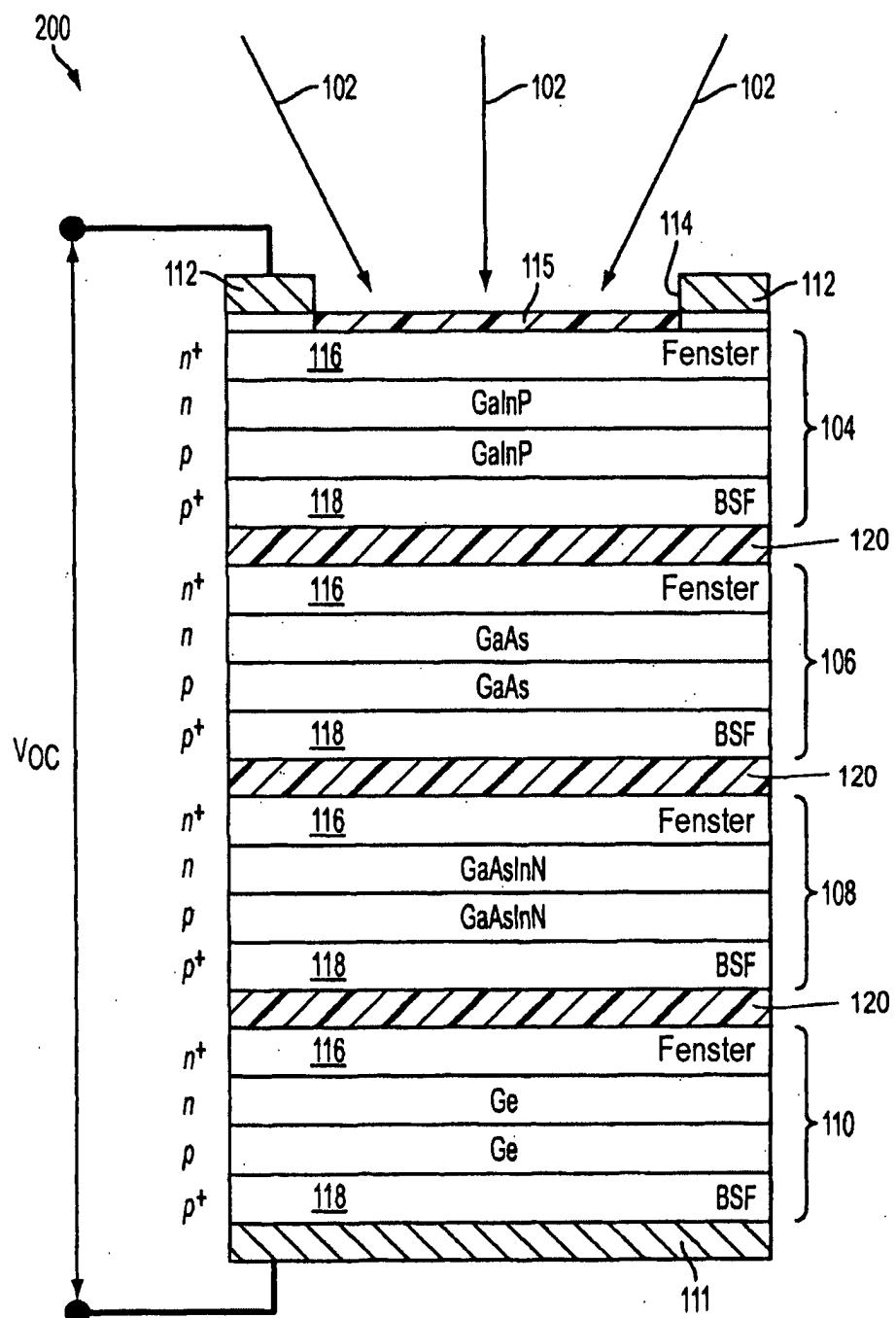


FIG. 2

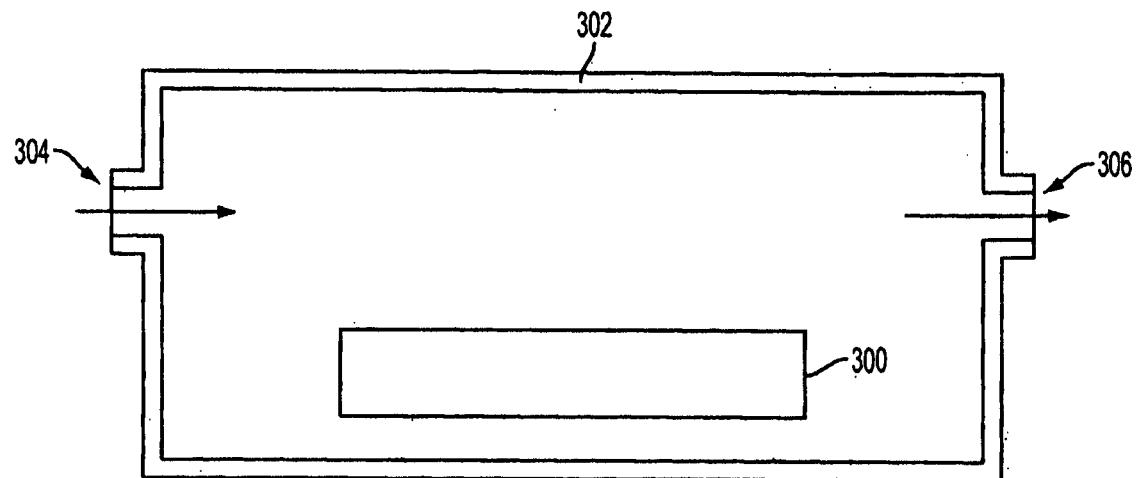


FIG. 3

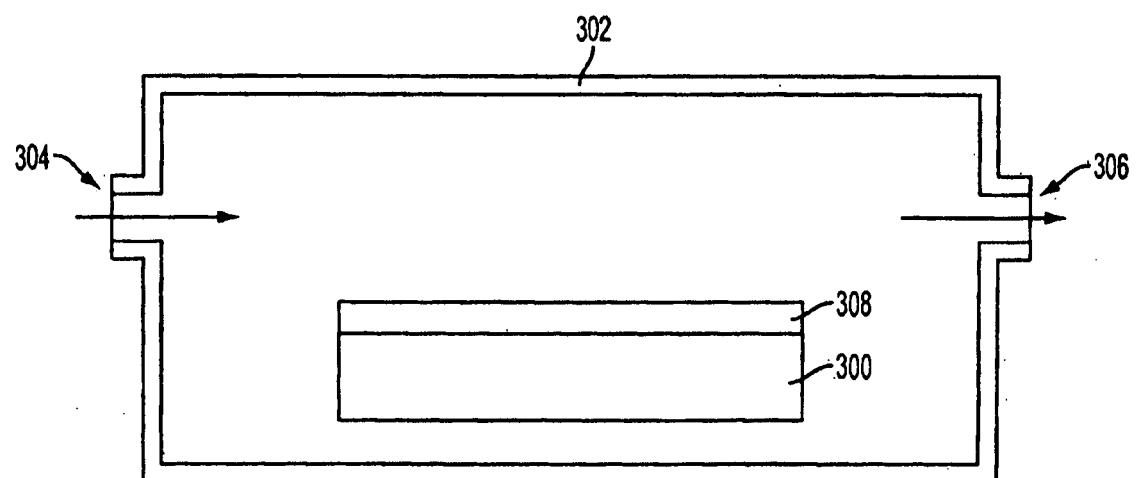


FIG. 4

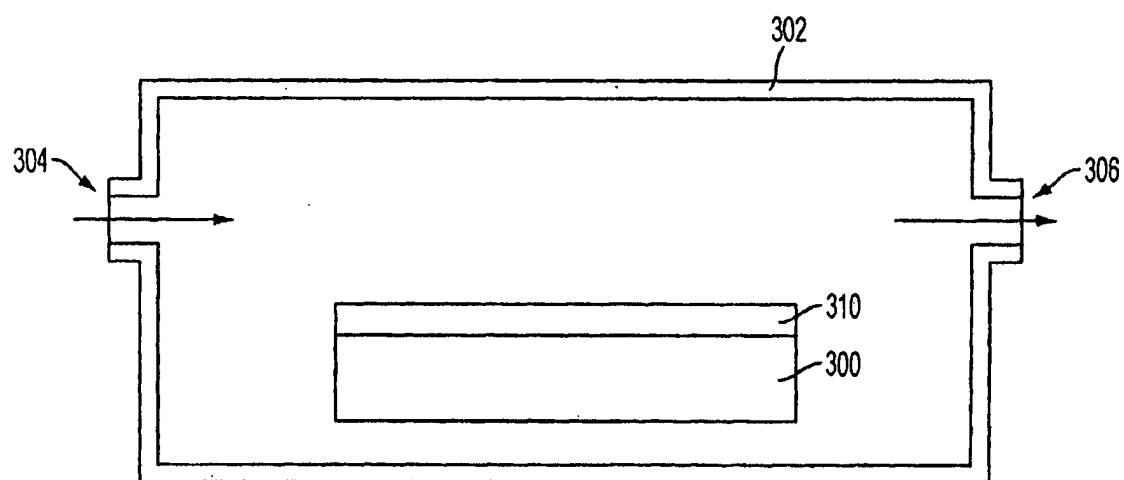


FIG. 5