



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 38 313 T2** 2008.05.21

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 890 997 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 38 313.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 305 437.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **08.07.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.01.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **29.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.05.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 33/00** (2006.01)
H01S 5/323 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

9714468 10.07.1997 GB

(73) Patentinhaber:

Sharp K.K., Osaka, JP

(74) Vertreter:

**Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Duggan, Geoffrey, Deddington, Oxford, OX15 0SJ,
GB**

(54) Bezeichnung: **Optoelektronische Halbleiteranordnung auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf optoelektronische Halbleiteranordnungen auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III, wie lichtemittierende Dioden und Laserdioden, und Verfahren zur Herstellung dieser Anordnungen. Es wird vom Fachmann im Stand der Technik gut verstanden, dass eine optoelektronische Halbleiteranordnung auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III eine Gruppe III-V-Halbleiterverbindung umfasst, in der das Gruppe V-Element Stickstoff oder Nitrid enthält.

[0002] Optische Datenspeichertechnologie ist dazu in der Lage, Daten, wie Audio- oder Videoinformationen, mit sehr hohen Dichten zu speichern und hat viele Anwendungen, sowohl in Verbraucher- als auch professionellen Bereichen. Wie gut bekannt ist, wird derartige optische Datenspeichertechnologie beim Lesen und Schreiben von Kompaktdisks (CD) genauso wie beim Lesen und Schreiben von jüngst entwickelten digitalen Videodisks (DVD) verwendet. Die Einführung der DVD resultierte in einer Zunahme der Datenspeicherkapazität von mehr als dem 10-fachen, verglichen mit der CD, wobei diese Zunahme durch eine Kombination von strengeren Systemtoleranzen und eine Abnahme der verwendeten Laserwellenlänge, um Information auf die Disk zu lesen oder zu schreiben, beispielsweise von 780 bis etwa 650 nm, erreicht wurde. Ein weiterer Anstieg der Datenspeicherkapazität ist verwirklichtbar, wenn die Laserwellenlänge weiter zu blauen und ultravioletten (UV-)Teilen des Spektrums reduziert wird.

[0003] Es gibt zwei Gruppen von Halbleiterverbindungen und Legierungen, die dazu in der Lage sind, Licht im blauen und UV-Teil des Spektrums zu emittieren. Diese sind die Gruppe II-VI-Halbleitermaterialien, allgemein bezeichnet als (Zn, Mg) (S, Se), wobei diese Bezeichnung die verschiedenen Verbindungen angibt, die durch Kombinieren von entweder Zink (Zn) oder Magnesium (Mg) mit Schwefel (S) oder Selen (Se) gebildet werden, sowie Gruppe III-V-Halbleitermaterialien aus dem Legierungssystem, bezeichnet mit (Al, Ga, In)N, wobei diese Bezeichnung die Legierungen angibt, die durch Kombinieren von Aluminium (Al), Gallium (Ga) oder Indium (In) mit Stickstoff (N) gebildet werden. Die vorangehende Gruppe ist am meisten zur Emission im blaugrünen Teil des Spektrums geeignet, während Legierungen und Verbindungen der letzteren Gruppe insbesondere für Emission in einem Wellenlängenbereich, der Orange bis Blau zu UV überspannt, geeignet sind.

[0004] Der Fortschritt bei der Entwicklung von Gruppe II-VI-Halbleitermaterialien zur Verwendung in lichtemittierenden Vorrichtungen resultierte in der Bekanntgabe des 100-Stunden-cw-Betriebs einer blaugrünen Laserdiode (LD) von S. Taniguchi et al., Electron. Letters, 32, 552 (1996). Während dies einen ein-

drucksvollen Erfolg darstellt, wurde der Fortschritt bei der Entwicklung von Gruppe III-V-Halbleitermaterialien über die letzten paar Jahre noch signifikanter. 1994 wurde die erfolgreiche Verwirklichung einer (InGa)-N/(AlGa)N-Doppel-Heterostruktur, einer blauen lichtemittierenden Diode, großer Helligkeit von S. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett., 64, 1687 (1994), berichtet. Dies wurde 1995 durch die Bekanntgabe der erfolgreichen Verwirklichung blauer und violetter lichtemittierender Dioden großer Helligkeit von S. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett., 67, 1868 (1995), gefolgt, basierend auf der Verwendung von (InGa)N-Quantentöpfen (QW; quantum wells) im aktiven Bereich der Diode. 1996 wurde ein gepulster Betrieb bei Raumtemperatur einer (InGa)N-Quantentopf-Laserdiode von S. Nakamura et al., Jpn. J. Appl. Phys., 35, L74 (1996) beschrieben. In jüngster Zeit wurde der gepulste Betrieb einer (InGa)N-Quantentopf-Laserdiode in Toshiba Corporation, Press Release, 11. September 1996, bekanntgegeben, und der cw-Betrieb einer 412 nm-(InGa)N-MQW-Laserdiode bei Raumtemperatur von S. Nakamura et al. in der Veröffentlichung letzter Neuigkeiten beim IEEE-LEOS Jahrestreffen, Boston, November 1996, angekündigt.

[0005] Diese berichteten Ergebnisse haben dazu geführt, dass beträchtliches Interesse für das Wachstum von III-Nitrid-Halbleitermaterialien und der Herstellung von lichtemittierenden Dioden und Laserdioden, basierend auf derartigen Materialien gezeigt wurde. Derartige Materialien wurden hauptsächlich durch das Verfahren von epitaxialem Wuchs, bekannt als metallorganische chemische Dampfabscheidung (MOCVD), die ebenfalls als metallorganische Dampfphasenepitaxie (MOVPE) bekannt ist, hergestellt. Jedoch sollte bemerkt werden, dass derartige Materialien ebenfalls durch epitaxiales Wachstumsverfahren, bekannt als molekulare Strahlenepitaxie (Molecular Beam Epitaxy; MBE), wie berichtet beispielsweise von R.J. Molnar et al., Appl. Phys. Lett., 66, 268 (1995), hergestellt werden können. Dieser Vorschlag resultierte in dem Ergebnis einer Dotierung vom p-Typ und schwacher Elektrolumineszenz (EL) bei Raumtemperatur für sowohl lichtemittierende GaN-Homoübergangs-Dioden und lichtemittierende (InGa)N/GaN-Heteroübergangs-Dioden. Während die aus den Halbleitermaterialien, hergestellt durch das MBE-Wachstumsverfahren, erhaltenen Ergebnisse derzeit schlechter sind als Ergebnisse, erhalten aus Halbleitermaterialien, hergestellt durch das MOCVD-Wachstumsverfahren, gibt es potentielle Vorteile bei der Herstellung derartiger Halbleitermaterialien unter Verwendung des MBE-Wachstumsverfahrens aufgrund der Tatsache, dass die Temperaturdifferenz zwischen den Wachstumstemperaturen von (InGa)N und GaN (oder (AlGa)N) kleiner sind, wenn das MBE-Wachstumsverfahren verwendet wird, als wenn das MOCVD-Wachstumsverfahren verwendet wird, wie nachfolgend in näheren Einzelheiten be-

schrieben wird.

[0006] Ein signifikantes Problem beim Epitaxialwuchs von III-Nitrid-Halbleitermaterialien ist die heteroepitaxiale Natur des Wachstumsverfahrens. Das GaN-Halbleitermaterial ist nur in kommerziell unbrauchbaren Stücken in Abmessungen von wenigen Millimetern erhältlich, so dass der meiste Wuchs von GaN auf einem Saphirsubstrat durchgeführt wird. Alternative Substratmaterialien wurden versucht, wie Siliciumcarbid (SiC), verschiedene Oxide von zum Beispiel Lithiumgallat und Spinel. Ohne Ausnahme ist GaN von diesen Substraten gitterfehlangepasst. Beispielsweise ist die Gitterkonstante von Saphir etwa 12,5% größer als diejenige von GaN, und dies führt zur Erzeugung von vielen Defekten an der Grenzfläche zwischen dem GaN und dem Saphir. Jedoch scheint es, dass GaN viel mehr Fehlertoleranz als andere Gruppe-III-V-Halbleitermaterialien aufweist, und lichtemittierende Dioden auf GaN-Basis können erfolgreich für ausgedehnte Zeitspannen arbeiten, selbst wenn es etwa 10^{10} Defekte pro cm^2 im Material gibt. Zusätzlich kann die differentielle thermische Ausdehnung zwischen der Epischicht und dem Substrat zur Erzeugung von Verschiebungen bzw. Verlagerungen der Schichten der Anordnung führen, wenn die Belastungsenergie elastisch nicht aufgenommen wird.

[0007] Bis kommerziell brauchbare GaN-Substrate erhältlich werden, scheinen die Probleme der Heteroepitaxie und der resultierenden Verlagerungen, die diese einführen, unvermeidbar. Während dessen ist eine empirische Lösung eine ausreichend dicke Schicht von GaN (auf einer geeigneten Pufferschicht) wachsen zu lassen, bis die Schicht vollständig entspannt wird. Weitere Schichten können dann epitaxial auf die Schicht mit der GaN-Gitterkonstante abgeschieden werden. Es ist ebenfalls wahrscheinlich, dass viele der Verlagerungen, die bei der Substrat-Puffergrenzfläche eingeführt werden, sich umlegen und daher nicht durch die gesamte GaN-Schicht penetrieren, wenn diese ausreichend dick ist.

[0008] Ein weiteres Problem beim Wachsenlassen von III-Nitrid-Halbleitermaterialien ist die Funktion des Designs der verwendeten lichtemittierenden Diodenstruktur. [Fig. 1](#) veranschaulicht diagrammartig die lichtemittierende Diodenstruktur, verwendet von S. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett., 64, 1687 (1994), wie oben angegeben. Diese Struktur wurde unter Verwendung eines MOCVD-Wachstumsverfahrens hergestellt. Eine GaN-Pufferschicht **2** einer Dicke von etwa 300 Å wurde auf einem Saphirsubstrat **1** bei etwa 510°C wachsen gelassen, gefolgt von einer n-dotierten GaN-Kontaktschicht **3** einer Dicke von etwa 4 µm, einer n-dotierten (AlGa)N-Mantelschicht **4** einer Dicke von etwa 1,5 µm und einer Zn-dotierten aktiven (InGa)N-Schicht **5** einer Dicke von etwa 500 Å. Nach Wachsenlassen der aktiven

Schicht **5** ließ man p-dotierte Mantel- und Kontaktschichten **6** und **7** von (AlGa)N und GaN mit einer Dicke von jeweils etwa 0,15 µm und 0,5 µm wachsen, und schließlich ließ man eine Elektrode vom n-Typ **8** und eine Elektrode vom p-Typ **9** auf der n-dotierten Kontaktschicht **3** und der p-dotierten Kontaktschicht **7** aufdampfen.

[0009] Weiterhin zeigt [Fig. 2](#) eine Darstellung der Variation der Gitterkonstante a gegen die Bandlückenenergie für ein quartäres System (Al, Ga, In)N. In der lichtemittierenden Diodenstruktur von [Fig. 1](#) ist die In-Mol-Fraktion in der aktiven Schicht **5** der Anordnung etwa 0,06, während die Al-Mol-Fraktion in den umgebenden Mantelschichten **4** und **6** etwa 0,15 beträgt. Es wird aus [Fig. 2](#) abgeschätzt, dass keine der (AlGa)N-Mantelschichten **4** und **6** und der aktiven (InGa)N-Schicht **5** mit GaN oder miteinander gitterangepasst sind, wobei die Spannung etwa $\pm 1\%$, bezogen auf GaN, beträgt. Wenn ein Teil der resultierenden Spannung elastisch nicht aufgenommen wird, dann wird die Energie in Form von Verschiebungen in der aktiven Region der lichtemittierenden Diode oder Laserdiode freigesetzt. Derartige Verlagerungen würden klarerweise einen schädlichen Effekt auf die Effizienz des Betriebs der Anordnung haben.

[0010] Eine weitere Komplikation resultiert aus dem Bedarf, die aktive (InGa)N-Schicht **5** bei einer Substrattemperatur wachsen zu lassen, die etwa 200 bis 300°C niedriger ist als die Temperatur, die verwendet wird, um entweder die GaN-Kontaktschicht **7** oder die (AlGa)N-Mantelschicht **6** wachsen zu lassen, d.h. bei einer Temperatur von 700 bis 800°C, verglichen mit einer Temperatur von 1020°C, zum Wachsenlassen der Schichten **6** und **7**, aufgrund der erneuten Verdampfung von Indium aus der wachsenden Oberfläche bei erhöhten Temperaturen. Dieser Re-Verdampfungseffekt kann signifikant sein, wie gezeigt durch C.-K. Sun et al., Appl. Phys. Lett., 69, 1936 (1996), wo eine abgestufte (InGa)N-Schicht durch Herunterfahren der Wachstumstemperatur von 760 auf 700°C, während Verdampfung des Indiums, hergestellt wurde. Die resultierende Variation der Indium-Mol-Fraktion über die Schicht als Funktion des Abstands von der Grenzfläche ist in der Darstellung von [Fig. 3](#) gezeigt.

[0011] Das US-Patent Nr. 5 476 811 offenbart ein Verfahren zur Herstellung einer Laserdiode mit einer GRIN-SCH-Struktur und umfassend eine aktive GaAs-Schicht dazwischengeschoben, zwischen zwei abgestuften Schichten einer Zusammensetzung $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, wo die Al-Zusammensetzung über die Schicht gemäß einem exakt gesteuerten Zusammensetzungsprofil variiert wird. Die AlGaAs-abgestuften Schichten werden durch metallorganische Molekularstrahlepitaxie erzeugt, während die Temperatur des Substrats geändert wird, so dass der Zusammensetzungsparameter x während dem Wachstum einer

ersten abgestuften Schicht vor dem Wachsenlassen der aktiven Schicht abnimmt, und der Parameter x während dem Wachsen lassen der zweiten abgestuften Schicht auf der aktiven Schicht zunimmt. Ein derartiger epitaxialer Wuchs von abgestuften Schichten definierter Dicke unter Verwendung einer definierten Kristallorientierung dient dazu, optische Einschränkungsschichten zwischen der aktiven GaAs-Region und den AlGaAs-Mantelregionen zu bilden, die eine Energiebandstruktur liefert, welche die Träger der aktiven Region begrenzen. Jedoch unterliegen derartige Vorrichtungen bzw. Anordnungen schädlichen Effekten aufgrund der Verlagerungen, verursacht durch Gitterfehlangepassung zwischen der aktiven Schicht und den Mantelschichten. Weiterhin wären die abgestuften Schichten, offenbart im US-Patent Nr. 5 476 811, nicht zur Verwendung zur Kompensierung von Gitterfehlangepassungen in einer GaN-Heterostruktur im Hinblick auf ihre Zusammensetzung und Dicke geeignet, die speziell an ihre beabsichtigte Funktion als Einschränkungsschichten angepasst sind.

[0012] Die WO 96/42114 offenbart eine lichtemittierende Anordnung, wachsen gelassen auf einem LiGaO_2 -Substrat und mit einer aktiven InN:Si,Zn -Region, angeordnet zwischen oberen und unteren AlGaIn-Schichten, die ihrerseits zwischen oberen und unteren GaN-Schichten angeordnet sind. Diese offenbart, dass der "schrittweise Anstieg von In aus Injektionsschichten zu aktiven Schichten hilft, die Spannung zu reduzieren". Diese bezieht sich ebenfalls auf das Wachsenlassen "multipler Schichten, um den In-Gehalt stufenweise zu erhöhen und abzusinken", wobei eine aktive Region mit einem großen In-Gehalt erforderlich ist.

[0013] Die US 5 646 953 betrifft lichtmittierende Anordnungen im (Al, Ga, In)N-Materialsystem. Es wird vorgeschlagen, eine Differenz der Gitterkonstante zwischen zwei Schichten durch Bereitstellen einer "Schicht zum Abbauen der Kristallspannung" zwischen einer Schicht und der anderen bereitzustellen. Es wird speziell vorgeschlagen, dass "es bevorzugt ist, dünne Schichten bereitzustellen, deren Zusammensetzung sich zwischen jeder Schicht jeweils graduell ändert".

[0014] Die US 5 592 501 beschreibt lichtemittierende Anordnungen, hergestellt über einem SiC-Substrat. Eine Anordnung weist ein SiC-Substrat auf mit ersten und zweiten Pufferschichten, wachsen gelassen über dem Substrat. Die Pufferschichten weisen jeweils eine abgestufte Zusammensetzung auf. Mantelschichten, Wellenleiterschichten und eine aktive Schicht lässt man über den Pufferschichten wachsen.

[0015] Es ist ein Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Bereitstellung einer optoelektronischen Anordnung auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III

bereitzustellen, wie eine lichtemittierende Halbleiteranordnung, die es ermöglicht, die Ergebnisse einer Gitterfehlangepassung und die resultierende schädliche Verlagerung zu reduzieren.

[0016] Erfindungsgemäß wird eine optoelektronische Anordnung auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III mit einer aktiven Region eines Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterials bereitgestellt, das gitterfehlangepasst ist mit einem weiteren Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial von einer oder mehr Mantelregionen, wobei die Anordnung ein Substrat und nacheinander auf dem Substrat gebildet eine erste Kontaktregion eines Dotierungstyps, eine erste Mantelregion des einen Dotierungstyps, eine aktive Region, eine zweite Mantelregion des entgegengesetzten Dotierungstyps und eine zweite Kontaktregion des entgegengesetzten Dotierungstyps umfasst, worin, um die Gitterfehlangepassung zwischen der aktiven Region und einer oder beiden Mantelregionen zu kompensieren, eine abgestufte Schicht zwischen der aktiven Region und eine oder beide der Mantelregionen eingeschoben ist, die so ist, dass eine Seite der abgestuften Schichten mit der benachbarten aktiven Region gitterangepasst ist, und die andere Seite der abgestuften Schicht mit der benachbarten Mantelregion gitterangepasst ist, und die abgestufte Schicht einen Aufbau aufweist, beispielsweise eine Gruppe III-Zusammensetzung, die von der einen Seite zur anderen Seite der abgestuften Schicht abgestuft ist.

[0017] Der Effekt der abgestuften Schicht ist es, die Spannung an der Grenzfläche zwischen den Regionen, die durch die Schicht getrennt sind, die unter signifikanter Gitterfehlangepassung leiden, zu reduzieren und hierdurch die Möglichkeit von schädlichen Verschiebungen, eingeführt an der Grenzfläche, die sich durch die aktive Region der Anordnung dann fortpflanzen könnte, zu minimieren. Durch Entfernen oder Reduzieren der Verschiebungen bzw. Verlagerungen wird die Betriebseffizienz der Anordnung erhöht. Jedoch ist es für die Anordnung nicht notwendig, dass sie um die aktive Region symmetrisch ist, und insbesondere die Mantelregionen können verschiedene Zusammensetzungen und/oder Dicken aufweisen. Wo abgestufte Schichten auf beiden Seiten der aktiven Region bereitgestellt werden, können diese verschiedene Zusammensetzungen und/oder Dicken aufweisen.

[0018] Bevorzugt weist die abgestufte Schicht zwischen der aktiven Region und einer oder beiden Mantelregionen einen ersten Aufbau auf, der über die Schicht in einer Richtung abgestuft ist, und einen zweiten Aufbau, der über die Schicht in der entgegengesetzten Richtung abgestuft ist. Weiterhin liegt die Dicke der oder jeder abgestuften Schicht bevorzugt im Bereich von 20 bis 400 Å, am meisten bevorzugt im Bereich von 30 bis 300 Å.

[0019] Bevorzugt umfassen eine oder beide der Mantelregionen ein III-Nitrid-Halbleitermaterial, das mit einem III-Nitrid-Halbleitermaterial der benachbarten Kontaktregion gitterfehlangepasst ist, und eine weitere abgestufte Schicht ist zwischen eine oder beide der Mantelregionen und der benachbarten Kontaktregion dazwischen geschoben, derart, dass eine Seite der weiteren abgestuften Schicht mit der benachbarten Mantelregion gitterangepasst ist, und die andere Seite der weiteren abgestuften Schicht gitterangepasst mit der benachbarten Kontaktregion ist, und die weitere abgestufte Schicht eine Zusammensetzung hat, beispielsweise eine Gruppe-III-Zusammensetzung, die von der einen Seite zur anderen Seite der weiteren abgestuften Schicht abgestuft ist.

[0020] In einer Ausführungsform umfasst die aktive Region einen Quantentopf oder Multi-Quantentopf, angeordnet zwischen zwei Leitregionen, und eine zusätzliche abgestufte Schicht ist zwischen eine oder beide der Leitregionen und dem Topf eingeschoben. Diese Ausführungsform ist für eine Laserdiode einsetzbar.

[0021] Jede der Kontaktregionen, der Mantelregionen und der aktiven Region, beinhaltet Gallium als Bestandteil, und am meisten bevorzugt beinhaltet die aktive Region Indium, wohingegen die Mantelregionen Aluminium beinhalten.

[0022] Das Substrat kann ein Saphirsubstrat oder ein GaN-Substrat sein.

[0023] Die Erfindung liefert ebenfalls ein Verfahren zum Wachsenlassen einer optoelektronischen Anordnung auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III mit einer aktiven Region eines Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterials, das gitterfehlangepasst ist mit einem weiteren Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial von einer oder mehreren Mantelregionen, wobei die Anordnung ein Substrat und nacheinander auf dem Substrat gebildet eine erste Kontaktregion eines Dotierungstyps, eine erste Mantelregion des einen Dotierungstyps, eine aktive Region, eine zweite Mantelregion des entgegengesetzten Dotierungstyps und eine zweite Kontaktregion des entgegengesetzten Dotierungstyps umfasst, wobei das Verfahren die Schritte umfasst: Das aufeinanderfolgende Wachsenlassen der ersten Kontaktregion, der ersten Mantelregion, der aktiven Region, der zweiten Mantelregion und der zweiten Kontaktregion auf dem Substrat, und das Wachsenlassen einer abgestuften Schicht zwischen dem Wachsenlassen der aktiven Region und dem Wachsenlassen einer oder beider der Mantelregionen, wobei die abgestufte Schicht so ist, dass eine Seite der abgestuften Schicht mit der benachbarten aktiven Region gitterangepasst ist, und die andere Seite der abgestuften Schicht mit der benachbarten Mantelregion gitterangepasst ist, und die abgestufte Schicht einen Aufbau aufweist, der

von der einen Seite zur anderen Seite der abgestuften Schicht abgestuft ist, um die Gitterfehlangepassung zwischen der aktiven Region und einer oder beiden der Mantelregionen zu kompensieren.

[0024] Die aktive Region kann bei einer ersten Temperatur wachsen gelassen werden, während eine erste Aufbaukomponente zur Substratoberfläche zugeführt wird, eine oder beide der Mantelregionen können bei einer zweiten Temperatur wachsen gelassen werden, während eine zweite Aufbaukomponente zur Substratoberfläche zugeführt wird, und die abgestufte Schicht kann durch Zuführen mindestens einer der ersten und zweiten Aufbaukomponenten zur Substratoberfläche wachsen gelassen werden, während die Substrattemperatur zwischen der ersten und zweiten Temperatur geändert wird. In einer Ausführungsform ist die zweite Temperatur größer als die erste Temperatur, und die abgestufte Schicht wächst, nach dem Wachsenlassen der ersten Mantelregion und vor dem Wachsenlassen der aktiven Region, indem mindestens eine der ersten und zweiten Aufbaukomponenten zur Substratoberfläche zugeführt wird, während die Substrattemperatur herunter gefahren wird. In einer weiteren Ausführungsform ist die zweite Temperatur größer als die erste Temperatur, und die abgestufte Schicht wächst nach dem Wachsenlassen der aktiven Region und vor dem Wachsenlassen der zweiten Mantelregion, indem mindestens eine der ersten und zweiten Aufbaukomponenten zur Substratoberfläche zugeführt wird, während die Substrattemperatur heraufgefahren wird.

[0025] Weiterhin kann die erste Aufbaukomponente zur Substratoberfläche während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht zugeführt werden, aber wobei die Zuführung der zweiten Aufbaukomponente zur Substratoberfläche während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht gestoppt wird. Alternativ können sowohl die erste Aufbaukomponente als auch die zweite Aufbaukomponente zur Substratoberfläche während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht zugeführt werden. In diesem Fall kann die zweite Aufbaukomponente zur Substratoberfläche mit einer Rate zugeführt werden, die während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht zwischen einer maximalen Rate, mit der die zweite Aufbaukomponente während dem Wachsenlassen der Mantelregion zugeführt wird, und einer minimalen Rate monoton variiert wird.

[0026] In einer weiteren Ausführungsform umfassen eine oder beide der Mantelregionen ein Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial, das zu einem Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial der benachbarten Kontaktregion gitterfehlangepasst ist, und zwischen dem Wachsenlassen von einer oder beiden Mantelregionen und dem Wachsenlassen der benachbarten Kontaktregion wird eine weitere abgestufte Schicht so wachsen gelassen, dass eine Seite der weiteren

abgestuften Schicht mit der benachbarten Mantelregion gitterangepasst ist, und die andere Seite der weiteren abgestuften Schicht mit der benachbarten Kontaktregion gitterangepasst ist, und die weitere abgestufte Schicht einen Aufbau aufweist, der von der einen Seite zur anderen Seite der weiteren abgestuften Schicht abgestuft ist. In diesem Fall wächst eine oder beide der Mantelregionen während eine Aufbaukomponente zur Substratoberfläche zugeführt wird, und die weitere abgestufte Schicht wächst durch Zuführen dieser Aufbaukomponente zur Substratoberfläche mit einer Rate, die zwischen einer maximalen Rate, bei der die Aufbaukomponente während dem Wachsenlassen der Mantelregion zugeführt wird, und einer minimalen Rate monoton variiert wird.

[0027] Das Substrat kann ein Saphirsubstrat oder ein GaN-Substrat sein.

[0028] Um die Erfindung noch vollständiger zu verstehen, wird beispielhaft auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen, worin:

[0029] [Fig. 1](#) ein schematisches Diagramm einer bekannten lichtemittierenden (InGa)-N/(AlGa)N-Doppel-Heterostruktur(DH)-Diodenstruktur darstellt;

[0030] [Fig. 2](#) eine Darstellung ist, die eine Variation der Gitterkonstante mit der Bandlückenenergie des quartären Systems (Al, Ga, In)N zeigt;

[0031] [Fig. 3](#) eine Darstellung ist, die eine Variation der Indium-Mol-Fraktion, eingeführt in eine Schicht aus (InGa)N zeigt, während die Temperatur von 760 auf 700°C herunter gefahren wird;

[0032] [Fig. 4](#) ein schematisches Diagramm einer bekannten lichtemittierenden (InGa)-N/(AlGa)N-Quantentopf-Diodenstruktur darstellt;

[0033] [Fig. 5](#) ein schematisches Diagramm einer bekannten (InGa)N-MQW-Laserdiodenstruktur darstellt;

[0034] [Fig. 6](#) ein schematisches Diagramm darstellt, das die Schichtstruktur und Energielücken der lichtemittierenden (InGa)N/(AlGa)N-DH-Diodenstruktur von [Fig. 1](#) zeigt;

[0035] [Fig. 7](#) ein schematisches Diagramm darstellt, das die Schichtstruktur und Energielücken einer lichtemittierenden (InGa)N/(AlGa)N-Diodenstruktur gemäß der Erfindung zeigt; und

[0036] [Fig. 8](#) eine Darstellung ist, die eine Variation der Gitterkonstante mit der Bandlückenenergie zeigt, die mögliche Kombinationen von Halbleitermaterialien zeigt, die für die Mantel- und aktiven Schichten einer DH-Laserdiode oder lichtemittierenden Dioden-

struktur, basierend auf (Al, Ga, In)N-Halbleitermaterialien, verwenden könnte.

[0037] Es wurden bereits anhand der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) die Probleme erwähnt, denen man beim MOCVD-Wachsenlassen von (InGa)N/(AlGa)N-DH-Strukturen begegnet. Ähnliche Probleme würde man beim Wachsenlassen derartiger Strukturen durch molekulare Strahlepitaxie (MBE) antreffen. Ein erneutes Verdampfen von Indium aus der gewachsenen Oberfläche tritt möglicherweise auf, selbst bei einer Temperatur im Bereich von 650 bis 850°C, die für das Wachsenlassen der GaN-Schicht im MBE-Wachstumsverfahren erforderlich ist.

[0038] Beim Herstellungsverfahren der Erfindung wird die Leistungsfähigkeit von lichtemittierenden Dioden und Laserdioden, basierend auf derartigen Strukturen, durch Einführen einer abgestuften Gruppe-III-Nitridschicht zwischen den im Wesentlichen gitterfehlangepassten Teilen der lichtemittierenden Dioden- oder Laserdiodenstruktur verbessert. Die Abstufung der abgestuften Schicht kann in einer Vielzahl von Wegen erreicht werden, beispielsweise durch geeignetes Variieren der Ströme („fluxes“) der Gruppe-III-Elemente zwischen den fehlangepassten Schichten oder durch Variieren der Substrattemperatur, da die Zusammensetzungen der Schichten schlagartig geändert werden, oder durch Kombinieren des Effekts einer variierenden Substrattemperatur mit einem variierenden Gruppe-III-Fluss.

[0039] Es sollte verstanden werden, dass die Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform der nachfolgend angegebenen Erfindung anhand einer lichtemittierenden (Al, Ga, In)N-DH-Diodenstruktur nur im Wege eines Beispiels als einfache Anordnungsstruktur angegeben ist, auf die die Erfindung anwendbar ist, und dass dies nicht die einzige Struktur darstellt, die aus der Einführung einer derartigen abgestuften Schicht Nutzen ziehen würde. Es würde vom Fachmann im Stand der Technik für Anordnungsdesigns und/oder Kristallwuchs verstanden werden, dass die Erfindung auf viele andere optoelektronische Halbleiteranordnungen anwendbar ist und auf jegliche Wachstumsverfahren, die zum Wachsenlassen von Halbleitermaterialien für derartige Anordnungen geeignet sind. Weiterhin würde vom Fachmann im Stand der Technik verstanden werden, dass das Substrat aus einem anderen Material als Saphir, wie Lithiumcarbid, verschiedene Oxide, wie Lithiumgallat und Spinel, sein kann.

[0040] Andere Anordnungsstrukturen, auf die die Erfindung anwendbar ist, werden diagrammartig in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigt. [Fig. 4](#) zeigt eine lichtemittierende (InGa)N-Quantentopf-Diodenstruktur, umfassend ein Saphirsubstrat **11**, auf dem eine GaN-Pufferschicht **12** einer Dicke von etwa 300 Å bei einer geringen Temperatur von etwa 500°C vor dem

Wachsenlassen einer n-dotierten GaN-Kontaktschicht **13** einer Dicke von etwa 4 µm bei erhöhter Temperatur wachsen gelassen wurde. Eine n-dotierte (AlGa)N-Mantelschicht **14** einer Dicke von etwa 500 Å wurde dann bei erhöhter Temperatur wachsen gelassen, gefolgt von einer Quantentopf-(quantum well (QW))-Struktur **15**, umfassend eine Schicht undotiertes (AlGa)N, einer p-dotierten (AlGa)N-Mantelschicht **16** einer Dicke von etwa 1000 Å und einer p-dotierten GaN-Kontaktschicht **17** einer Dicke von etwa 0,5 µm. Geeignete Elektroden vom n-Typ **18** und p-Typ **19** wurden dann auf den Kontaktschichten **13** und **17** aufdampfen gelassen.

[0041] [Fig. 5](#) zeigt die Struktur einer (InGa)N-MQW-Laserdiodenstruktur, auf die die Erfindung angewendet werden kann. In diesem Fall ließ man eine GaN-Pufferschicht **22** und eine n-dotierte GaN-Kontaktschicht **23** auf einem Saphirsubstrat **21** wie in der zuvor beschriebenen Struktur wachsen, gefolgt von einer n-dotierten (InGa)N-Schicht **24** einer Dicke von etwa 0,1 µm, einer n-dotierten (AlGa)N-Schicht **25** einer Dicke von etwa 0,4 µm und einer n-dotierten GaN-Schicht **26** einer Dicke von etwa 0,1 µm. Eine Multi-Quantentopf(multiquantum well (MQW))-Struktur, bestehend aus angenommenen 26 Perioden alternierender 25 Å dicken (InGa)N-Topfschichten und 50 Å dicken (InGa)N-Barrierschichten, wurde dann wachsen gelassen, gefolgt von einer p-dotierten (AlGa)N-Schicht **28** einer Dicke von etwa 200 Å, einer p-dotierten GaN-Schicht **29** einer Dicke von etwa 0,1 µm, einer p-dotierten (AlGa)N-Schicht **30** einer Dicke von etwa 0,4 µm und einer p-dotierten GaN-Kontaktschicht **31** einer Dicke von etwa 0,5 µm. Man ließ dann die Elektroden vom n-typ **32** und p-Typ **33** auf den Kontaktschichten **23** und **31** aufdampfen.

[0042] [Fig. 6](#) ist ein schematisches Diagramm, das die Variation der Energielücke jeder Aufbaukomponentenschicht der lichtemittierenden Diodenstruktur von [Fig. 1](#) als Funktion der Position der Schicht in der Struktur zeigt. Ähnliche Bezugszeichen werden verwendet, um dieselben Aufbaukomponentenschichten wie in [Fig. 1](#) zu bezeichnen. Weiterhin werden die Valenz- und Leitungsbänder mit den Bezugszeichen **35** und **36** im Diagramm bezeichnet. Es wird aus diesem Diagramm abgeschätzt, dass jede der (AlGa)N-Mantelschichten **4** und **6** mit den GaN-Kontaktschichten **3** und **7** und ebenfalls mit der aktiven (InGa)N-Schicht **5** gitterfehlangepasst ist, und dies kann zur Erzeugung von Verschiebungen der aktiven Region der Anordnung führen, die eine schädliche Wirkung auf die Effizienz des Betriebs der Anordnung bzw. Vorrichtung hat.

[0043] [Fig. 7](#) ist ein ähnliches schematisches Diagramm einer lichtemittierenden Diodenstruktur gemäß der Erfindung mit denselben grundlegenden Aufbaukomponentenschichten wie die Struktur von [Fig. 1](#), aber mit der Einführung der abgestuften

Schichten **41**, **42**, **43** und **44** an den Grenzflächen zwischen den (AlGa)N-Mantelschichten **4** und **6** und der beiden GaN-Kontaktschichten **3** und **7** und der aktiven (InGa)N-Schicht **5**. Während die abgestuften Schichten **41**, **42**, **43** und **44** an jeder dieser vier Grenzflächen im Diagramm von [Fig. 7](#) gezeigt sind, sollte verstanden werden, dass es ebenfalls im Umfang der Erfindung liegt, abgestufte Schichten **42** und **43** nur an den Grenzflächen zwischen den (AlGa)N-Mantelschichten **4** und **6** und der aktiven (InGa)N-Schicht **5** bereitzustellen, wobei in diesem Fall keine derartige abgestufte Schicht bei den Grenzflächen zwischen den Mantelschichten **4** und **6** und den Kontaktschichten **3** und **7** vorgesehen ist. Es sollte geschätzt werden, dass das Diagramm von [Fig. 7](#) so gemeint ist, dass es nur die Position der abgestuften Schichten **41**, **42**, **43** und **44** und nicht die Positionsabhängigkeit der Energielücke durch die abgestufte Region angibt.

[0044] Jede der abgestuften Schichten **41**, **42**, **43** und **44** der Struktur der Erfindung kann durch irgendeine Reihe an Herstellungsschritten erzeugt werden, und der speziell verwendete Herstellungsschritt hängt von der speziellen Struktur der optoelektronischen Halbleiteranordnung ab, die herzustellen ist, sowie dem erforderlichen Ablaufmodus, genauso wie anderen Herstellungsüberlegungen. In den grundlegenden Herstellungsschritten zur Herstellung der Abstufung der Grenzflächen einer derartigen Struktur müssen die nachfolgenden Variablen berücksichtigt werden:

- (i) die Art, in der der Gruppe-III-Fluss an der Grenzfläche verändert wird,
- (ii) wie die Temperatur des Substrats an der Grenzfläche verändert wird und
- (iii) ob das Wachsenlassen unterbrochen wird, wenn irgendeine dieser Einstellungen durchgeführt wird.

[0045] Punkt (ii) ist von besonderer Bedeutung, wenn man die abgestuften Schichten **42** und **43** an den Grenzflächen zwischen den Mantelschichten **4** und **6** und der aktiven Schicht **5** betrachtet, wo die Aufbaukomponenten der Mantelschichten **4** und **6** und die aktive Schicht **5** idealerweise bei beträchtlich verschiedener Substrattemperatur abgeschieden werden, beispielsweise bei etwa 1000 bzw. 800°C.

[0046] Zwei mögliche Verfahren zur Herstellung derartiger abgestufter Schichten gemäß der Erfindung werden nun beschrieben. Aus Zwecken der Beschreibung dieser Verfahren wird zuerst beispielhaft auf den Heteroübergang (heterojunction (HJ)) zwischen einer Mantelschicht einer Zusammensetzung $\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$ und einer aktiven Schicht einer Zusammensetzung $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ verwiesen, wobei diese Materialien Energielücken und Gitterkonstanten aufweisen, die durch die Punkte A bzw. B in der Darstellung von [Fig. 8](#) gezeigt sind. Während dem Wachsenlas-

sen der $\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$ -Mantelschicht werden Al- und Ga-Ströme (im Falle eines MBE-Wachstumsverfahrens) oder metallorganische Flussraten (im Falle eines MOCVD-Wachstumsverfahrens) eingestellt, um konstant zu sein, und derart eingestellt, dass diese unter geeigneten Wachstumsbedingungen einen molaren Gehalt mit einem Verhältnis von Al:Ga in der Schicht von etwa 1:9 erzeugen. Die Substrattemperatur wird auf einem geeigneten konstanten Wert, wie etwa 1000°C für ein MOCVD-Wachstumsverfahren oder etwa 750°C für ein MBE-Wachstumsverfahren eingestellt. Jedoch sollte verstanden werden, dass diese Temperaturwerte nur im Wege eines Beispiels angegeben werden und nicht den gesamten Bereich von geeigneten Temperaturen darstellen, die verwendbar sein können, um eine derartige Mantelschicht wachsen zu lassen. Der Heteroübergang zwischen der Mantelschicht und der aktiven Schicht kann hergestellt werden, indem der Fluss sowohl von Al als auch Ga gestoppt wird und durch Reduzieren der Substrattemperatur um etwa 200 bis 300°C (im Falle eines MOCVD-Wachstumsverfahrens) oder etwa 200°C (im Falle eines MBE-Wachstumsverfahrens), um durch erneutes Beginnen des Wachsenlassens, wenn die geeignete Temperatur durch Einführen von In- und Ga-Strömen (im Falle eines MBE-Wachstumsverfahrens) oder geeigneter metallorganischer Verbindungen (im Falle eines MOCVD-Wachstumsverfahrens) bei einer Rate, bei der sie konstant sind, und derart eingestellt werden, dass sie unter geeigneten Wachstumsbedingungen einen molaren Gehalt in einem Verhältnis von In:Ga in der Schicht von etwa 1:4 erzeugen, erreicht wurde. Diese resultiert im Wachsenlassen der aktiven $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ -Schicht auf der gitterfehlangepassten $\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$ -Mantelschicht. Die Gitterfehlangepassung zwischen diesen Schichten beträgt etwa 2%, was bedeutet, dass nur eine aktive Schicht von etwa 50 Å Dicke aus dem $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ -Material elastisch auf der $\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$ -Mantelschicht untergebracht werden kann, bevor Verschiebungen eingeführt werden. In einer typischen lichtemittierenden Doppel-Heterostruktur-Diode (DH-LED) weist die erforderliche aktive Schicht eine Dicke signifikant größer als 50 Å auf, und somit würden nicht-radiative Kombinationszentren durch einen derartigen Heteroübergang in einer derartigen Vorrichtung eingeführt und würden die Leistungsfähigkeit der Vorrichtung verschlechtern.

[0047] Jedoch wird in einem ersten erfindungsgemäßen Verfahren eine abgestufte Schicht an der Grenzfläche zwischen der $\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$ -Mantelschicht und der aktiven $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ -Schicht durch Modifizieren des oben beschriebenen grundlegenden Verfahrens hergestellt. Die abgestufte Schicht wird hergestellt durch Aufrechterhalten des Flusses von Al und Ga nachdem das Herunterfahren der Temperatur begonnen wurde, um die Temperatur von der geeigneten Substrattemperatur zum Wachsenlassen der Mantelschicht auf die geeignete Temperatur zum

Wachsenlassen der aktiven Schicht zu reduzieren, unter Einbeziehung einer Reduktion der Temperatur von etwa 200 bis 300°C , und durch Beginnen des In-Flusses beim Beginnen des Herunterfahrens der Temperatur. Beispielsweise kann eine Temperaturreduktion von etwa 200°C allmählich über eine Zeitspanne zwischen 30 Sekunden und 5 Minuten durchgeführt werden. Bei einer Wachstumsrate von etwa 1 Å pro Sekunde würde dies eine abgestufte Schicht einer Dicke zwischen etwa 30 Å und 300 Å erzeugen. Eine Dicke von etwa 30 Å wäre für eine Anordnung wie diejenige von [Fig. 4](#) oder [Fig. 5](#) geeignet, wohingegen eine Dicke von etwa 300 Å für eine Anordnung wie diejenige von [Fig. 1](#) geeignet wäre.

[0048] Der Fluss von Al wird fortgesetzt, bis die geeignete Temperatur für das Wachsenlassen der aktiven Schicht erreicht wurde, wenn der Al-Fluss abrupt ausgeschaltet wird, und hiernach der Fluss von In und Ga mit der Substrattemperatur, aufrechterhalten bei einem konstanten Wert, wie im zuvor beschriebenen Verfahren, fortgesetzt wird, um das Wachsenlassen der aktiven $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ -Schicht durchzuführen. Da die In-Einbeziehungsrate eine Funktion der Substrattemperatur (siehe [Fig. 3](#)) ist, und da die Temperatur nach unten gefahren wird, während der Al-Fluss fortgesetzt wird, und der In-Fluss ebenfalls stattfindet, ändert sich das Al/In-Verhältnis mit abnehmender Temperatur, und eine abgestufte Schicht wird zwischen der Mantelschicht und der aktiven Schicht erzeugt, in der das Al/In-Verhältnis über die Schicht variiert wird. Ein derartiges Verfahren erzeugt eine abgestufte Schicht einer Dicke von etwa 30 bis 300 Å, die eine Al-Mol-Fraktion aufweisen kann, die sich von 0,1 bis Null über die Schicht ändert, und eine In-Mol-Fraktion, die sich von Null bis 0,2 über die Schicht ändert, genauso wie eine Energielücke und ein Gitterkonstantenprofil der Form, die durch Kurve 45 in [Fig. 8](#) gezeigt ist. Vom Al-Gehalt würde erwartet werden, dass er sich im Wesentlichen über die abgestufte Schicht linear ändert, obwohl der In-Gehalt in einer weniger vorhersagbaren Art und Weise variieren würde.

[0049] In einem alternativen erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung einer abgestuften Schicht bei der Grenzfläche zwischen der $\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$ -Mantelschicht und der aktiven $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ -Schicht werden die Al- und Ga-Flüsse fortgesetzt, und der In-Fluss wird gestartet, wenn die Temperatur von der Substrattemperatur, die zum Wachsenlassen der Mantelschicht geeignet ist, auf die Substrattemperatur, die zum Wachsenlassen der aktiven Schicht geeignet ist, herunter gefahren wird, aber anstelle des Al-Flusses, der bei einem konstanten Niveau während der Temperaturreduktion gehalten wird, wie im ersten beschriebenen Verfahren, wird die Al-Flussrate monoton herabgesetzt, bis diese einen Wert von Null bei der Substrattemperatur, die für das Wachsenlassen der aktiven $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ -Schicht geeignet ist, erreicht.

Ein derartiges Verfahren würde eine abgestufte Schicht mit einer Energielücke und einem Gitterkonstantenprofil, wie durch die Kurve 46 in [Fig. 8](#) gezeigt, bereitstellen.

[0050] Welches dieser zwei Verfahren auch verwendet wird, es werden monoton sich ändernde Bandlücken und Gitterkonstanten an der Grenzfläche zwischen der Mantelschicht und der aktiven Schicht bereitgestellt, wie durch die abgestufte Schicht 42 zwischen der Mantelschicht 4 und der aktiven Schicht 5 in [Fig. 7](#) gezeigt. Die abgestufte Schicht 43 zwischen der aktiven Schicht 5 und der Mantelschicht 6 in [Fig. 7](#) können auf ähnliche Art und Weise hergestellt werden, aber mit einem Temperaturgradienten in umgekehrter Richtung, um von der niedrigeren Temperatur, geeignet zum Wachsenlassen der aktiven Schicht, zur höheren Temperatur, geeignet zum Wachsenlassen der Mantelschicht, zu ändern, während die In- und Ga-Flüsse fortgesetzt werden, um die erforderliche abgestufte Schicht herzustellen. In diesem Fall kann der Al-Fluss entweder abrupt eingestellt werden, wenn die höhere Temperatur erreicht wird, um das Wachsenlassen der Mantelschicht zu beginnen, oder alternativ kann der Al-Fluss zum Zeitpunkt, wo mit dem Herauffahren der Temperatur begonnen wird, eingestellt werden. In beiden Fällen ist es nicht notwendig, den In-Fluss abzustellen, da bei einer bestimmten Temperatur aufgrund der erneuten Verdampfung von In aus der wachsenden Oberfläche kein In mehr in die Schicht einbezogen wird.

[0051] Wo die abgestuften Schichten an den Grenzflächen zwischen den Mantelschichten 4 und 6 und den Kontaktschichten 3 und 7 hergestellt werden, wie durch die abgestuften Schichten 41 und 44 in [Fig. 7](#) gezeigt, gibt es keinen Bedarf, die Wachstumstemperatur zwischen dem Wachsenlassen der Kontakt- und Mantelschichten zu verändern, da diese Schichten kein In enthalten. Bei diesen Grenzflächen können die abgestuften Schichten einfach durch monotones Erhöhen des Al-Flusses zwischen den gewünschten Niveaus zum Wachsenlassen der Kontaktschicht 3 und der Mantelschicht 4 (im Falle der abgestuften Schicht 41) oder monotones Abnehmen des Al-Flusses zwischen den gewünschten Niveaus zum Wachsenlassen der Mantelschicht 6 und der Kontaktschicht 7 (im Falle der abgestuften Schicht 44) hergestellt werden.

[0052] Ähnliche Herstellungsverfahren können bei der Herstellung einer Laserdiode eingesetzt werden, obwohl in diesem Fall, um erforderliche optische Feedbacks bereitzustellen, die aktive Schicht einen Quantentopf umfasst, angeordnet zwischen zwei Führungsregionen, die als Leiter der optischen Welle dienen. Weiterhin, wenn erforderlich, können die abgestuften Schichten bei den Grenzflächen zwischen jeder der Führungsregionen und dem Quantentopf vorgesehen werden, zusätzlich zu den abgestuften

Schichten, vorgesehen zwischen den Führungsregionen und den benachbarten Mantelschichten.

[0053] Weiterhin kann die Anordnung in einer Modifikation der beschriebenen Verfahren auf einem GaN-Substrat gebildet werden, wobei die Mantelschichten aus GaN gebildet werden, um mit dem Substrat gitterangepasst zu sein, in welchem Fall das Vorsehen einer abgestuften Schicht zwischen Substrat und der benachbarten Mantelschicht nicht notwendig wäre. In diesem Fall würden daher abgestufte Schichten nur zwischen den Mantelschichten und der aktiven (InGa)N-Schicht bereitgestellt werden.

Patentansprüche

1. Optoelektronische Anordnung auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III mit einer aktiven Region eines Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterials, das gitterfehlangepasst ist mit einem weiteren Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial von ein oder mehr Mantelregionen, wobei die Anordnung ein Substrat (1) und nacheinander auf dem Substrat gebildet eine erste Kontaktregion (3) eines Dotierungstyps, eine erste Mantelregion (4) des einen Dotierungstyps, eine aktive Region (5), eine zweite Mantelregion (6) des entgegengesetzten Dotierungstyps und eine zweite Kontaktregion (7) des entgegengesetzten Dotierungstyps umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass, um die Gitterfehlangepassung zwischen der aktiven Region (5) und einer oder beiden Mantelregionen (4, 6) zu kompensieren, eine abgestufte (graded) Schicht (42, 43) zwischen die aktive Region (5) und eine oder beide der Mantelregionen (4, 6) eingeschoben ist, die so ist, dass eine Seite der abgestuften Schicht (42, 43) mit der benachbarten aktiven Region (5) gitterangepasst ist, und die andere Seite der abgestuften Schicht (42, 43) mit der benachbarten Mantelregion (4, 6) gitterangepasst ist, und die abgestufte Schicht (42, 43) einen Aufbau aufweist, der von der einen Seite zur anderen Seite der abgestuften Schicht abgestuft ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, worin eine oder beide der Mantelregionen (4, 6) ein Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial umfassen, das gitterfehlangepasst ist zum Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial der benachbarten Kontaktregion (3, 7), und eine weitere abgestufte Schicht (41, 44) zwischen eine oder beide der Mantelregionen (4, 6) und die benachbarte Kontaktregion (3, 7) so eingeschoben ist, dass eine Seite der weiteren abgestuften Schicht (41, 44) mit der benachbarten Mantelregion (4, 6) gitterangepasst ist, und die andere Seite der weiteren abgestuften Schicht (41, 44) mit der benachbarten Kontaktregion (3, 7) gitterangepasst ist, und die weitere abgestufte Schicht (41, 44) weiterhin einen Aufbau aufweist, der von der einen Seite zur anderen Seite der weiteren abgestuften Schicht abgestuft ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, worin die oder jede abgestufte Schicht (41, 42, 43, 44) einen Gruppe-III-Aufbau aufweist, der durch die Schicht hindurch abgestuft ist.

4. Anordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, worin die abgestufte Schicht (42, 43) zwischen der aktiven Region (5) und einer oder beiden der Mantelregionen (4, 6) einen ersten Aufbau aufweist, der durch die Schicht (42, 43) in einer Richtung abgestuft ist, und einen zweiten Aufbau, der durch die Schicht (42, 43) in der entgegengesetzten Richtung abgestuft ist.

5. Anordnung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Dicke jeder abgestuften Schicht (41, 42, 43, 44) im Bereich von 20 bis 400 Å liegt.

6. Anordnung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, worin die aktive Region (5) einen Quantentopf oder einen Multiquantentopf umfasst, angeordnet zwischen zwei Leitregionen, und eine zusätzliche abgestufte Schicht zwischen einer oder beiden der Leitregionen und dem Topf eingeschoben ist.

7. Anordnung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, worin jede der Kontaktregionen (3, 7), der Mantelregionen (4, 6) und der aktiven Region (5) Gallium als Bestandteil beinhaltet.

8. Anordnung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, worin die aktive Region (5) Indium beinhaltet.

9. Anordnung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Mantelregionen (4, 6) Aluminium beinhalten.

10. Anordnung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, worin das Substrat (1) ein Saphirsubstrat oder ein GaN-Substrat darstellt.

11. Verfahren zum Wachsenlassen einer optoelektronischen Anordnung auf Basis einer Nitridverbindung der Gruppe III mit einer aktiven Region eines Gruppe-III-Nitrid-Halbleitersmaterials, das gitterfehlangepasst ist mit einem weiteren Gruppe-III-Nitrid-Halbleitersmaterial von ein oder mehr Mantelregionen, wobei die Anordnung ein Substrat (1) und nacheinander auf dem Substrat gebildet eine erste Kontaktregion (3) eines Dotierungstyps, eine erste Mantelregion (4) des einen Dotierungstyps, eine aktive Region (5), eine zweite Mantelregion (6) des entgegengesetzten Dotierungstyps und eine zweite Kontaktregion (7) des entgegengesetzten Dotierungstyps umfasst, wobei das Verfahren die Schritte umfasst: Das aufeinanderfolgende Wachsenlassen der ersten Kontaktregion (3), der ersten Mantelregion (4), der aktiven Region (5), der zweiten Mantelregion (6) und der zweiten Kontaktregion (7) auf dem Substrat (1)

und das Verfahren gekennzeichnet ist durch das Wachsenlassen einer abgestuften Schicht (42, 43) zwischen dem Wachsenlassen der aktiven Region (5) und dem Wachsenlassen einer oder beider der Mantelregionen (4, 6), wobei die abgestufte Schicht (42, 43) so ist, dass eine Seite der abgestuften Schicht (42, 43) mit der benachbarten aktiven Region (5) gitterangepasst ist, und die andere Seite der abgestuften Schicht (42, 43) mit der benachbarten Mantelregion (4, 6) gitterangepasst ist, und die abgestufte Schicht (42, 43) einen Aufbau aufweist, der von der einen Seite zur anderen Seite der abgestuften Schicht abgestuft ist, um die Gitterfehlangepassung zwischen der aktiven Region (5) und einer oder beider der Mantelregionen (4, 6) zu kompensieren.

12. Verfahren nach Anspruch 11, worin die oder jede abgestufte Schicht (42, 43) einen Gruppe-III-Aufbau aufweist, der über die Schicht abgestuft ist.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, worin die abgestufte Schicht (42, 43) zwischen der aktiven Region (5) und einer oder beiden der Mantelregionen (4, 6) einen ersten Aufbau besitzt, der über die Schicht in einer Richtung abgestuft ist und einen zweiten Aufbau, der über die Schicht in der entgegengesetzten Richtung abgestuft ist.

14. Verfahren nach Anspruch 11, 12 oder 13, worin die aktive Region (5) bei einer ersten Temperatur wachengelassen wird, während eine erste Aufbaukomponente zur Substratoberfläche zugeführt wird, eine oder beide der Mantelregionen (4, 6) bei einer zweiten Temperatur wachengelassen werden, während eine zweite Aufbaukomponente zur Substratoberfläche zugeführt wird, und die abgestufte Schicht (42, 43) wachengelassen wird durch Zuführen von mindestens einer der ersten und zweiten Aufbaukomponenten zur Substratoberfläche, während die Substrattemperatur zwischen der ersten und der zweiten Temperatur geändert wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, worin die zweite Temperatur größer ist als die erste Temperatur und die abgestufte Schicht wachengelassen wird nach dem Wachsenlassen der ersten Mantelregion (4) und vor dem Wachsenlassen der aktiven Region (5) durch Zuführen von mindestens einer der ersten und zweiten Aufbaukomponenten zur Substratoberfläche während die Substrattemperatur herunter gefahren wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, worin die zweite Temperatur größer ist als die erste Temperatur und die abgestufte Schicht wachengelassen wird nach dem Wachsenlassen der aktiven Region (5) und vor dem Wachsenlassen der zweiten Mantelregion (6) durch Zuführen von mindestens einer der ersten und zweiten Aufbaukomponenten zur Subst-

ratoberfläche während die Substrattemperatur heraufgefahren wird.

17. Verfahren nach Anspruch 14, 15 oder 16, worin die erste Aufbaukomponente während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht zur Substratoberfläche zugeführt wird, aber die Zuführung der zweiten Aufbaukomponente zur Substratoberfläche während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht gestoppt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 14, 15 oder 16, worin sowohl die Gruppe-III-Aufbaukomponente als auch die zweite Aufbaukomponente zur Substratoberfläche während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht zugeführt werden, und die zweite Aufbaukomponente mit einer Rate zur Substratoberfläche zugeführt wird, die während dem Wachsenlassen der abgestuften Schicht (42, 43) zwischen einer maximalen Rate, mit der die zweite Aufbaukomponente während dem Wachsenlassen der Mantelregion (4, 6) zugeführt wird, und einer minimalen Rate monoton variiert wird.

19. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 11 bis 18, worin eine oder beide der Mantelregionen (4, 6) ein Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial umfassen, das zu einem Gruppe-III-Nitrid-Halbleitermaterial der benachbarten Kontaktregion (3, 7) gitterfehlangepasst ist, und zwischen dem Wachsenlassen von einer oder beiden Mantelregionen (4, 6) und dem Wachsenlassen der benachbarten Kontaktregion (3, 7), eine weitere abgestufte Schicht (41, 44) so wachselassen wird, dass eine Seite der weiteren abgestuften Schicht (41, 44) gitterangepasst ist mit der benachbarten Mantelregion (4, 6), und die andere Seite der weiteren abgestuften Schicht (41, 44) gitterangepasst ist mit der benachbarten Kontaktregion (3, 7) und die weitere abgestufte Schicht (41, 44) einen Aufbau aufweist, der abgestuft ist von der einen Seite zur anderen Seite der weiteren abgestuften Schicht.

20. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 11 bis 19, worin die Anordnung durch metallorganische chemische Dampfabcheidung (MOCVD) wachselassen wird.

21. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 11 bis 19, worin die Anordnung durch Molekularstrahlepitaxie (MBE) wachselassen wird.

22. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 11 bis 20, worin das Substrat (1) ein Saphirsubstrat oder ein GaN-Substrat darstellt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

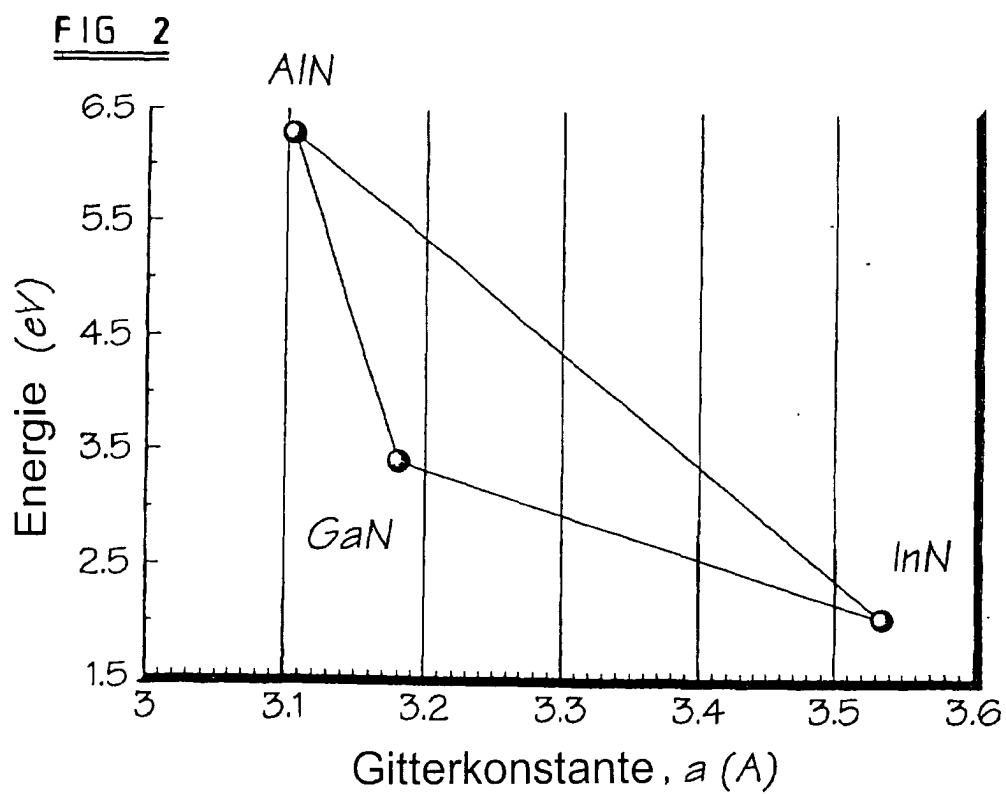
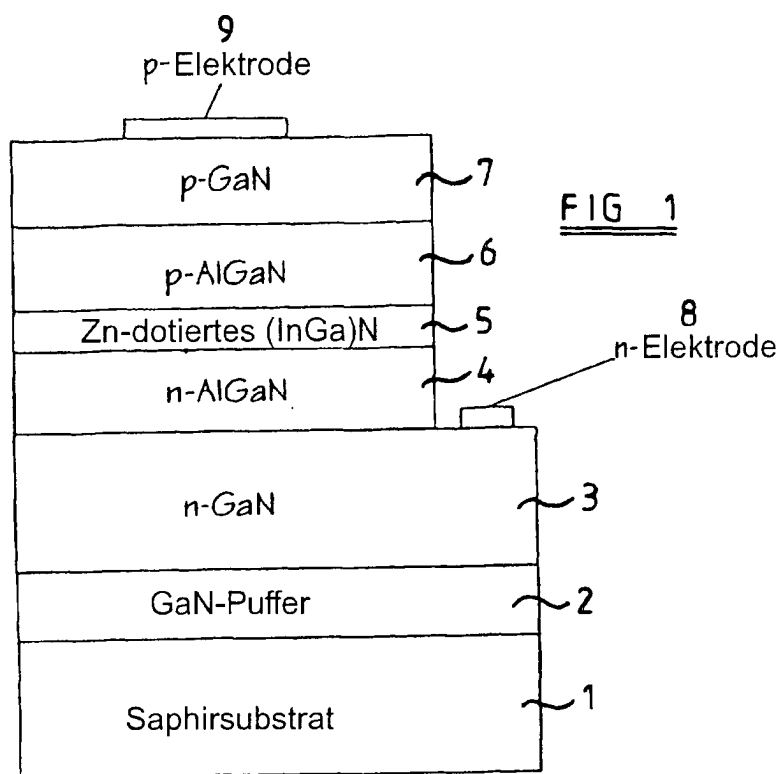


FIG 3

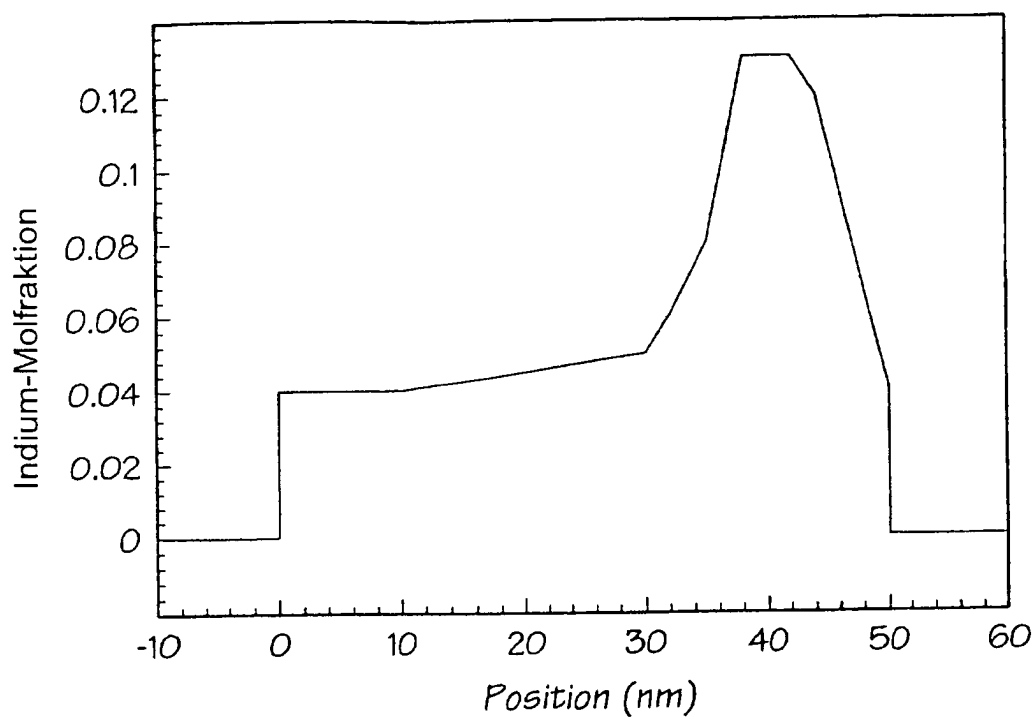


FIG 4

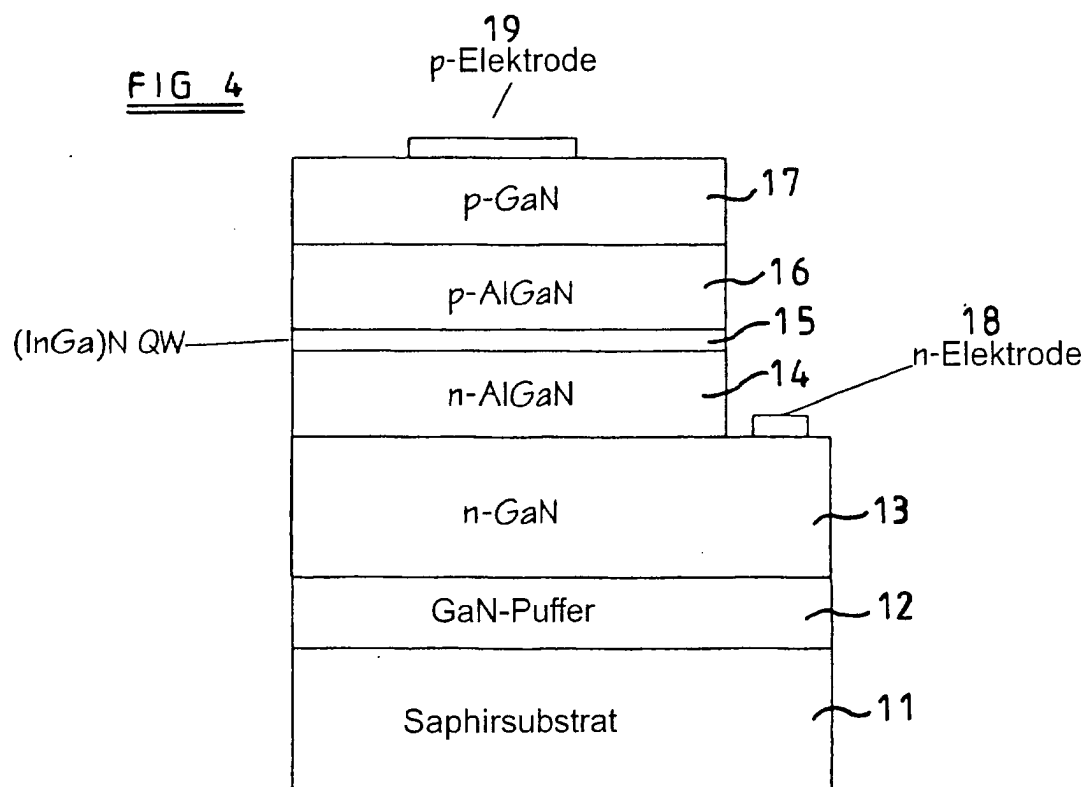


FIG 5

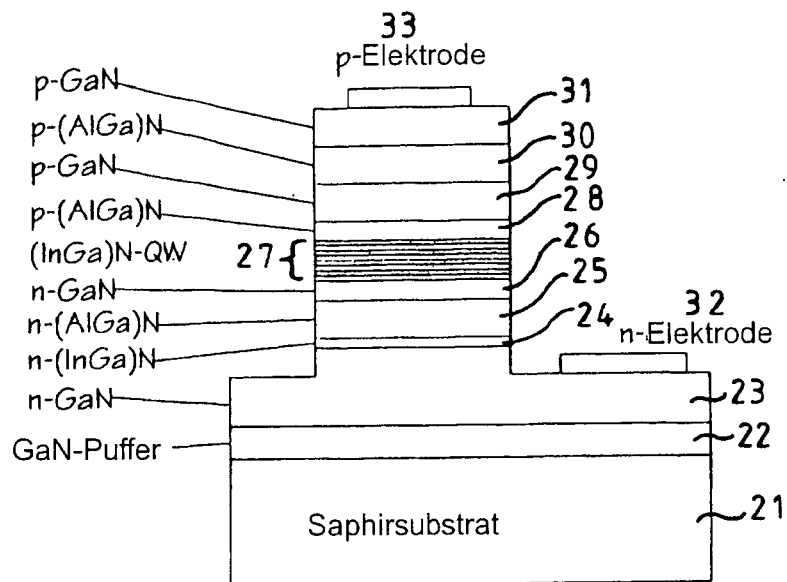


FIG 6

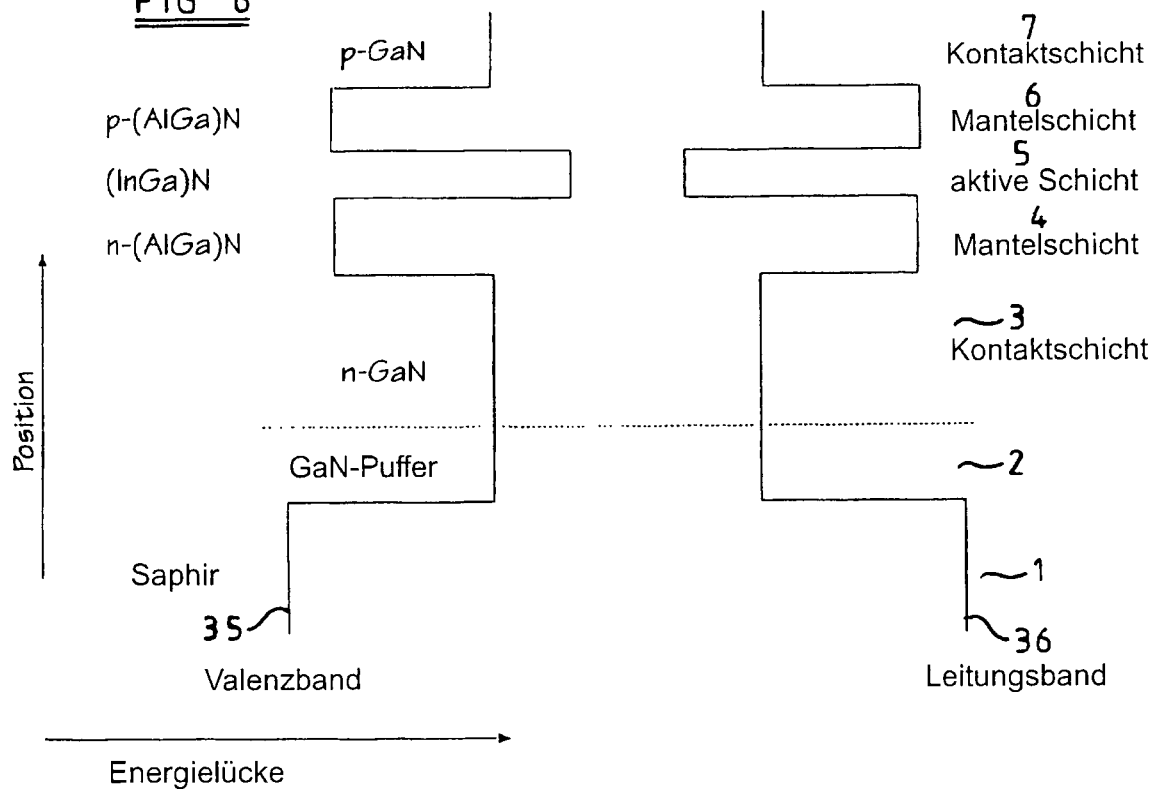
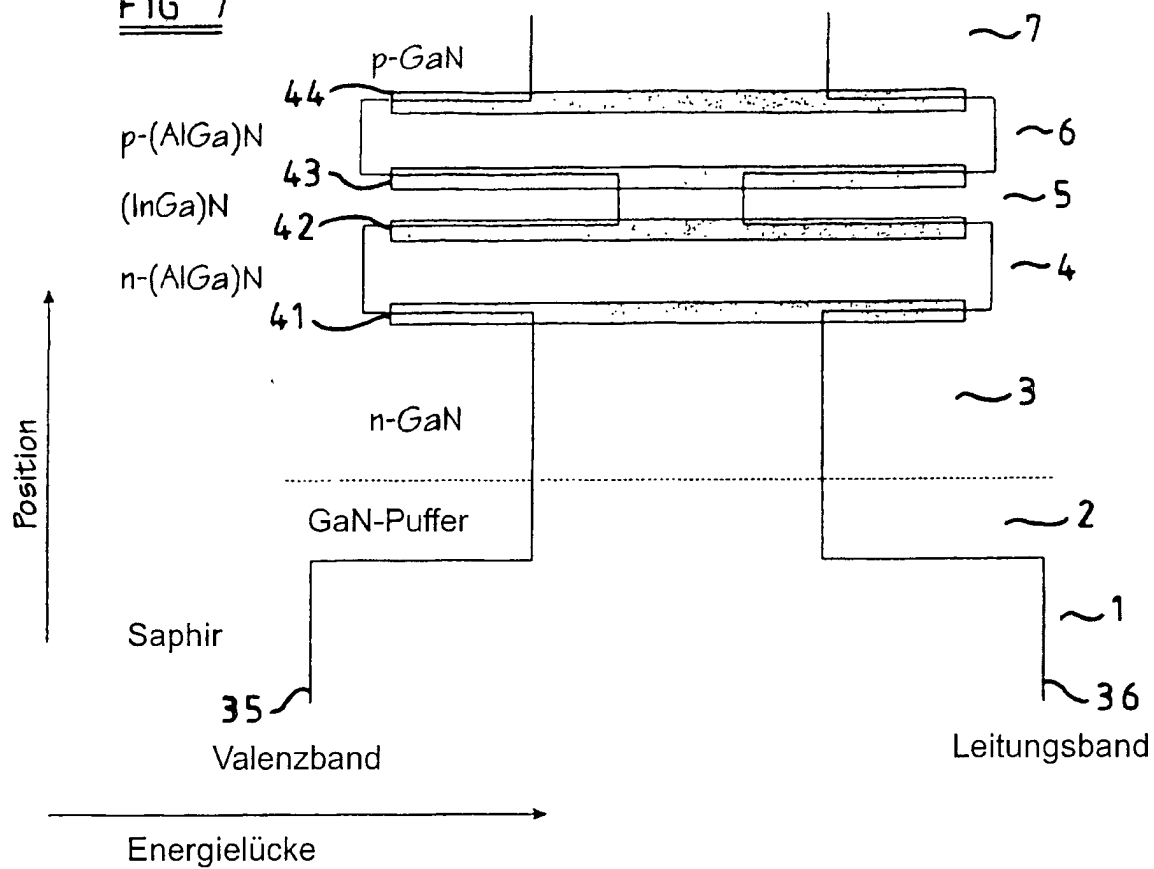


FIG 7**FIG 8**