



(10) **DE 199 05 517 B4** 2011.02.03

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **199 05 517.3**  
(22) Anmeldetag: **10.02.1999**  
(43) Offenlegungstag: **09.12.1999**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **03.02.2011**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 33/12** (2010.01)

Innerhalb von drei 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:  
**092728 05.06.1998 US**

(73) Patentinhaber:  
**Philips Lumileds Lighting Company, LLC, San Jose, Calif, US**

(74) Vertreter:  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler & Partner, 82049 Pullach**

(72) Erfinder:  
**Kern, R. Scott, San Jose, Calif., US; Chen, Changhua, San Jose, Calif., US; Goetz, Werner, Palo Alto, Calif., US; Christenson, Gina L., Sunnyvale, Calif., US; Kuo, Chihping, Milpitas, Calif., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 197 25 578 A1**  
**US 56 56 832 A**  
**US 53 89 571 A**  
**EP 07 31 512 A2**  
**JP 09-1 99 759 A**

**Patents Abstracts of Japan: JP 09199759 A**

**Patents Abstracts of Japan: JP 08116091 A**

**Patents Abstracts of Japan: JP 08288552 A**

(54) Bezeichnung: **Mehrschichtige Indium-enhaltende Nitridpufferschicht für die Nitrid-Epitaxie**

(57) Hauptanspruch: Halbleiterbauelement mit folgenden Merkmalen:

einem Substrat (2);

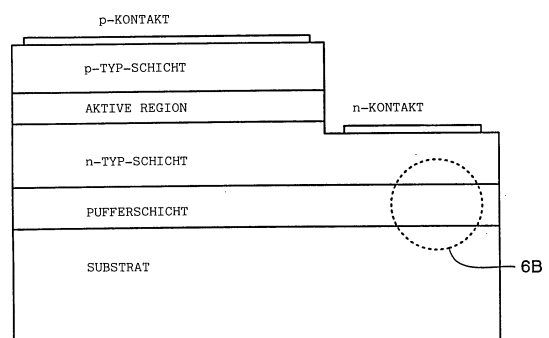
einer aktiven Struktur (6); und

einer Pufferstruktur, die zwischen dem Substrat (2) und der aktiven Struktur (6) angeordnet ist, wobei die Pufferstruktur folgende Merkmale aufweist:

eine Pufferschicht (18; 28; 70), die direkt auf dem Substrat (2) aufgebracht ist und aus einer Indiumenthaltenden Nitridverbindung hergestellt ist;

eine Abdeckungsschicht (22; 32; 76), auf der die aktive Struktur aufgebracht ist, wobei die Abdeckungsschicht (22; 32; 76) aus einer Nitridverbindung besteht, die kein Indium oder einen Indium-Gehalt hat, der kleiner als der Indium-Gehalt der Pufferschicht (18; 28; 70) ist, derart, dass der Schmelzpunkt der Pufferschicht (18; 28; 70) bei einer niedrigeren Temperatur liegt als der Schmelzpunkt der Abdeckungsschicht (22; 32; 76), und

eine weitere Pufferschicht (20; 30), die auf der Pufferschicht (18; 28) aufgebracht ist, wobei die weitere Pufferschicht (20; 30) aus einer Indiumenthaltenden Nitridverbindung hergestellt ist, deren Indium-Gehalt kleiner als...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich allgemein auf das Gebiet von Halbleiterbauelementen und ihre Herstellung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf die Dünnschichtaufbringung von Schichten auf Kombinationen unterschiedlicher Substrate und/oder existierender Schichten. Die Erfindung ist besonders auf optoelektronische Bauelemente, wie z. B. lichtemittierende Dioden (LEDs) anwendbar.

## GRUNDKONZEPTE

**[0002]** Der Prozeß der Halbleiterherstellung umfaßt allgemein das Beginnen mit einem Substrat, wie z. B. einem Siliziumwafer, und das Aufbringen einer Serie strukturierter Schichten auf dem Wafer. Die Schichten können dotiertes Halbleitermaterial, isolierende Schichten, wie z. B. Oxide, usw., umfassen. Die Strukturen werden unter Verwendung von Techniken, wie z. B. des Photolackmaskierens, des Ätzens, usw., hergestellt.

**[0003]** Die strukturierten Schichten bilden eine aktive Struktur, die die Schaltungselemente und die von dem Schaltungsentwickler erwünschte Funktionalität umfaßt. Die Strukturen definieren Schaltungsbauelemente und Verbindungen zwischen den Bauelementen, derart, daß das resultierende Halbleiterbauelement diese Funktionalität besitzt.

## 1. FILMZUSAMMENSETZUNGEN

**[0004]** Silizium (Si) und Germanium (Ge), die beide in Spalte IV des Periodensystems der Elemente stehen, sind übliche Materialien, die bei der Halbleiterherstellung verwendet werden. Insbesondere bestehen viele Substrate aus Silizium. Andere, Substratmaterialien umfassen Saphir ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Galliumarsenid (GaAs) und Siliziumcarbid (SiC).

**[0005]** Materialien, die üblicherweise zur Schichtenherstellung von Halbleiterbauelementen verwendet werden, und insbesondere für optoelektronische Bauelemente, sind Kombinationen von Elementen der Spalten III und V des Periodensystems, die üblicherweise als "III-V"-Verbindungen bezeichnet werden. Die Spalte-III-Elemente umfassen Aluminium (Al), Gallium (Ga) und Indium (In). Die Spalte-V-Elemente umfassen Arsen (As), Phosphor (P) und Stickstoff (N). Die vielleicht am häufigsten verwendete III-V-Verbindung ist Galliumarsenid (GaAs).

**[0006]** Eine Klasse von III-V-Verbindungen, die gemeinsam als Nitride bezeichnet werden, wird beim Herstellen der strukturierten Schichten verwendet. Insbesondere stellten sich Nitride als nützlich für die Technologie der lichtemittierenden Dioden (LEDs) heraus.

**[0007]** Eine Nitridverbindung umfaßt eines oder mehrere Spalte-III-Elemente zusammen mit Stickstoff (N) der Spalte V. Wenn beispielsweise nur Gallium aus der Spalte III verwendet wird, dann ist die Nitridverbindung Galliumnitrid ( $\text{GaN}$ ). Es ist jedoch ebenfalls üblich eine Mischung aus Spalte-III-Elementen zu nehmen. Solche Verbindungen sind dann beispielsweise als  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  oder  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  gegeben, wobei die Indizes (die zusammen 1 ergeben) Werte haben, die die Verhältnisse der verwendeten Spalte-III-Elemente wiedergeben.

**[0008]** Viele der oben aufgelisteten Materialien wurden bei der Aufbringung der strukturierten Schichten, die die aktive Struktur bilden, verwendet. Als ein Beispiel von vielen sei das Patent US 5 389 571 A von Takeuchi u. a. mit dem Titel Method of Fabricating a Gallium Nitride Based Semiconductor Device with an Aluminium and Nitrogen Containing Intermediate Layer" genannt, das ein Bauelement beschreibt, das als Teil seiner aktiven Struktur ein Kristall aus  $(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ -Nitridmaterial aufweist.

## 2. FILMGITTEREIGENSCHAFTEN

**[0009]** Im allgemeinen liegen Halbleitermaterialien in der Form von kristallinen Gittern vor. Dies bedeutet, daß die Atome, die das Material bilden, in regelmäßigen Strukturen, wie z. B. Reihen, Ebenen und Einheitszellen, angeordnet sind. Viele verschiedene Gitterkonfigurationen sind möglich. Die spezielle Gitterformation in einem gegebenen Fall ist eine Charakteristik des Materials, das das Gitter bildet. Verschiedene Faktoren, wie z. B. die Innenradien des Elements oder der Elemente, die das Material bilden, haben einen Einfluß darauf, welche Art einer kristallinen Gitterkonfiguration ein gegebenes Element oder eine Verbindung annehmen wird.

**[0010]** Wo Dünnschichtmaterial auf ein Substrat aufgebracht wird, bildet sich insbesondere eine im wesentlichen planare Film-Substrat-Grenzfläche. Im Fall von Nitridverbindungen ist die am häufigsten beobachtete Gitterkonfiguration hexagonal oder "wurtzitisch". [Fig. 1](#) zeigt die einfachste Darstellung einer Hexagonalkristallgitter-Einheitszelle. Die Einheitszelle nimmt die Form eines hexagonalen Prismas an, hat eine hexagonale Querschnittsfläche in einer Ebene (die als Bezug mit "horizontal" bezeichnet ist) und verläuft axial in einer Richtung (die mit "vertikal" bezeichnet ist) senkrecht zu der horizontalen Ebene.

**[0011]** Um eine spezielle Position in einem hexagonalen Koordinatenraum zu beschreiben, werden vier Achsen verwendet. Drei der Achsen liegen in der horizontalen Ebene mit Winkeln von  $120^\circ$  zueinander und werden  $a_1$ ,  $a_2$  und  $a_3$  genannt. Eine vierte Achse, die mit  $c$  bezeichnet ist, befindet sich in der vertikalen Ebene.

**[0012]** Es ist eine übliche Notation, auf Ebenen in diesem Koordinatensystem unter Verwendung einer Notation ( $a'_1, a'_2, a'_3, a'_4$ ) zu verweisen, wobei die Werte  $a'_1, a'_2, a'_3$  und  $a'_4$  auf das Inverse der Koordinaten entlang einer gegebenen Achse verweisen, wo die Ebene diese Achse schneidet. In dem Fall, bei dem eine Ebene eine Achse nicht schneidet (d. h. wenn die Ebene parallel zu der Achse ist), ist der verwendete Wert 0. Beispielsweise ist eine der am einfachsten und am zweckmäßigsten zu definierenden Ebene die obere Ebene, die das oberste Oberflächenhexagon der Einheitszelle schneidet. Diese Ebene, die üblicherweise als die "Basalebene" bezeichnet wird, ist parallel zu allen drei Achsen  $a$ . Die Planarnotation der Basalebene ist dementsprechend (0001).

**[0013]** Das Gitter, das den Film in einem Halbleiterbauelement bildet, wird oft in solchen Gitterparametern beschrieben. Nitridfilme bilden sich allgemein in der Hexagonalgitterstruktur, wobei die Basalebene parallel zu der Substratoberfläche ausgerichtet ist, und parallel zu der Grenzfläche zwischen der Substratoberfläche und dem Film. Somit folgt daraus, daß die "a-Achse" auf eine von drei Richtungen parallel zu der Film-Substrat-Grenzfläche verweist, wobei die a-Achsen untereinander um  $120^\circ$  getrennt sind. Die "c-Achse" verweist auf eine Richtung senkrecht zu der Film-Substrat-Grenzfläche.

**[0014]** Kristallgitter, wie z. B. die in dieser Beschreibung zu beschreibenden Filmschichten, werden mit Parameterwerten beschrieben, wie z. B. einer "Gitterkonstante" und einem "thermischen Ausdehnungskoeffizienten" (nachfolgend detailliert beschrieben). Diese Parameterwerte werden in Verbindung mit den a- und c-Achsen des hexagonalen Koordinatensystems gegeben.

**[0015]** Viele Dünnschichtkristallgitterparameter unterscheiden sich jedoch nicht in den verschiedenen a-Achsen-Richtungen, so daß nicht mehr als ein Achsenparameter für ihre Beschreibung erforderlich ist. Dementsprechend genügt ein Parameterwert, um die Grenzflächen-parallelen Eigenschaften des Filmgitters zu beschreiben. Im Falle von Hexagonalkristallsystemen, wie z. B. Nitriden, wird nur ein a-Achsen-Parameter verwendet.

**[0016]** Im allgemeinen unterscheiden sich jedoch die Eigenschaften des Filmgitters in der Richtung senkrecht zu der Film-Substrat-Grenzfläche von denen in Richtungen parallel zu der Grenzfläche. Daher hat ein c-Achsen-Parameter allgemein einen Wert, der sich von dem des entsprechenden a-Achsen-Parameters unterscheidet.

**[0017]** Die Parameter, die den a- und c-Achsen eines Filmgitters zugeordnet sind, beziehen sich allgemein auf die Beabstandung zwischen benachbarten Atomen derselben Art (d. h. Ga-Ga- oder N-N-Tren-

nungsabstände) in der Gitterstruktur entlang der Richtung/den Richtungen, die durch die Achsen vorgeschrieben sind.

**[0018]** Ein Parameter ist die Gitterkonstante, ein Maß für die Atombeabstandung.

**[0019]** Ein weiterer ist der thermische Ausdehnungskoeffizient, der die Ausdehnung oder Kontraktion des Gitterparameters ansprechend auf Änderungen der Temperatur gegeben in Form der Beabstandsänderung pro Grad Temperaturänderung darstellt.

**[0020]** Wie es oben erwähnt wurde, bilden sich Gitter gemäß den Eigenschaften der speziellen Substanzen, die das Gitter ausmachen. Insbesondere bestimmen die Innenradien der Atome die Beabstandung und daher die Werte der a- und c-Achsen-Parameter.

**[0021]** Wo jedoch ein Film neu auf einem Substrat oder auf einem früher aufgetragenen Film gebildet wird, tendiert der a-Achsen-Parameter des neuen Films dazu, dem a-Achsen-Parameter dessen zu folgen, was unter demselben ist. Das darunterliegende Gitter zwingt den a-Achsen-Parameter der neuen Schicht dazu, sich von dem a-Achsen-Parameter zu unterscheiden, den der neue Film andernfalls haben würde. Daher wird auf den neuen Film eine Spannung ausgeübt.

**[0022]** Zudem wird der c-Achsen-Parameter des Films ebenso beeinträchtigt, wenn der a-Achsen-Parameter eines neu aufgetragenen Films durch die darunterliegende Gitterstruktur beeinträchtigt wird. Hier wird wieder auf das Gitter des neuen Films eine Spannung ausgeübt.

**[0023]** Es wird davon gesprochen, daß eine Dünnschicht "in Ausrichtung" ist, wenn ihr Gitter kompatibel zu dem Gitter unter derselben ausgelegt ist. Das heißt, daß die Atomenebenen über die Grenzfläche zwischen den zwei Materialien ohne Verzerrung durchgehend sind. Wo die Gitter unterschiedlich sind, kann der Film nicht in Ausrichtung bleiben, ohne daß er eine bestimmte derartige Spannung erfährt. Das heißt, daß die Atome, die das Filmgitter ausmachen, näher zueinander gequetscht werden können oder voneinander weggezogen werden können, als sie sein würden, wäre die Ausrichtungsspannung nicht vorhanden.

**[0024]** Gitter, die so stark unter Spannung gesetzt werden, daß sie nicht in Ausrichtung bleiben, tendieren dahin, Versetzungen aufzunehmen, die ein Typ eines Gitterstrukturdefekts sind. Wo eine ausreichend große Differenz im a-Achsen-Gitterparameter zwischen dem Substrat und dem Film existiert, tendiert das Filmgitter dahin, die Spannung zu lösen, in-

dem Versetzungen gebildet werden, in der Tat durch "Übergehen einer Reihe" oder "Einfügen einer zusätzlichen Reihe" von Atomen, so daß die nächste Reihe von Filmgitteratomen mit dem Substratgitter ausgerichtet werden kann. Während Versetzungen bis zu einem bestimmten Grad unvermeidbar sind bei fehlangepaßten Gittergrenzflächen, ist es doch wünschenswert, diese zu minimieren. Aufgrund der großen Fehlanpassung zwischen den Nitridmaterialien und den üblicherweise verwendeten Substraten treten Versetzungen ziemlich häufig in der Nitridfilmschicht auf.

**[0025]** Es wird ferner der Fall sein, daß zufällig platzierte Punktdefekte auftreten, wenn sich Gitterstrukturen bilden. Ein Punktdefekt kann eine Leerstelle in dem Gitter an einer Position sein, wo ein Atom sein sollte, ein Verunreinigungsatom, das den Platz eines Atoms von einem der Gittermatrixelemente einnimmt, usw. Punktdefekte sollten ebenfalls minimiert werden. Reinlichkeit in der Herstellungseinrichtung und feingesteuerte Herstellungsumgebungsbedingungen helfen dabei, Punktdefekte zu minimieren.

### 3. FILMHERSTELLUNGSTECHNIKEN

**[0026]** Eine übliche Technik zum Aufbringen von Schichten wird als "Epitaxie" bezeichnet. Das heißt, daß Schichten "epitaxial" aufgebracht werden, und daß die Schichten selbst "epitaxiale" Schichten sind. Bei dieser Technik wird die Schicht aus Material im wesentlichen Atom für Atom von der Umgebungsbedingung auf die Oberfläche des Substrats aufgebracht. Das Material, das die Epitaxialschicht bildet, kristallisiert in ein Gitter gemäß seiner eigenen Eigenschaften oder gemäß den Eigenschaften der darunterliegenden Schicht, wie es oben erörtert wurde.

**[0027]** Beispiele für solche Techniken umfassen die organometallische Dampfphasenepitaxie, die Molekularstrahlepitaxie und die Hydrid-Dampfphasenepitaxie. (Dagegen würde eine nicht-epitaxiale Technik eine sein, bei der ein Material Pellet auf dem Substrat platziert wird und das Element so erwärmt wird, daß das Pellet auf der Oberfläche des Substrats schmilzt.) Sowohl Epitaxie- als auch andere Typen von Herstellungsschritten finden allgemein bei Temperaturen von Hunderten von Grad (Celsius) höher als Zimmertemperatur statt, wobei jedoch abhängig von dem Typ oder Schritt und dem Typ des aufzubringenden Materials wesentliche Temperaturvariationen vorhanden sind.

**[0028]** Einer der Punkte beim Entwickeln von Herstellungsverfahren ist die Anordnung der Reihenfolge der Schritte, so daß eine Temperatur, die für einen späteren Schritt benötigt wird, nicht für die Ergebnisse eines früheren Schritts schädlich ist.

### DARSTELLUNG DES ZU LÖSENDEN PROBLEMS

**[0029]** Beim Entwickeln eines Halbleiterherstellungsverfahrens existieren verschiedene Punkte, die angegangen werden müssen, um sicherzustellen, daß die durch das Herstellungsverfahren hergestellten Halbleiterelemente eine adäquate Qualität haben. Im allgemeinen bezieht sich der Ausdruck "Qualität", wenn er bei der Halbleiterherstellung verwendet wird, auf die korrekte Funktionalität und Zuverlässigkeit des hergestellten Halbleiterbauelements.

**[0030]** Für eine Halbleiterherstellung mit hoher Qualität ist es notwendig, daß die verschiedenen Schichten aneinander und an dem Substrat haften. Dies ist sowohl aufgrund guter elektrischer Charakteristika als auch aufgrund guter mechanischer Charakteristika notwendig.

**[0031]** Ferner bezieht sich die Qualität eines Halbleiterbauelements auf die Situation der Kristallgitter, die das Bauelement ausmachen. Defekte in der Struktur der Gitter sind für die Qualität des Bauelements schädlich. Wenn daher Gitterspannungen auf hergestellte Filmschichten ausgeübt werden, wie es oben erörtert wurde, ist es notwendig, die Auswirkungen dieser Spannung auf die Filmgitter zu begrenzen oder zumindest zu steuern.

**[0032]** Eine Komplikation von besonderer Wichtigkeit ist das Problem der Sprungbildung, wenn die Nitridepitaxie betrachtet wird. Eine Sprungbildung tritt auf, wenn Epitaxialfilme unter Spannung gezogen werden, d. h. Belastungen unterzogen werden, wie sie oben erörtert wurden. Im allgemeinen sind Sprünge senkrecht zu der Film-Substrat-Grenzfläche.

**[0033]** Es dürften mehrere mögliche Ursachen für ein solches Sprungbilden vorhanden sein:

- (i) eine Gitterfehlanpassung zwischen dem Substrat und dem Film aufgrund von Unterschieden der Gitterkonfiguration zwischen den Substanzen, die das Substrat und den Film ausmachen;
- (ii) eine Fehlanpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen den Materialien, die das Substrat und den Film bilden;
- (iii) hohe Dotierpegel in den Materialien; und
- (iv) eine Gitterfehlanpassung aufgrund beabsichtigter Zusammensetzungsmodulationen, d. h. Änderungen des chemischen Aufbaus der Herstellungsmaterialien, die während des Wachstums eines Nitridbauelements beabsichtigt eingeführt werden.

**[0034]** Beispielsweise resultiert ein Wachstum von AlInGaN-Schichten ohne den Vorteil einer Pufferschicht bei typischen Wachstumstemperaturen größer als 1.100°C in einem Film, der aus einer mosaikförmigen Ansammlung von hexagonalen Kernen besteht. Diese Schichten zeigen eine sehr rauhe Mor-

phologie und sehr hohe Hintergrund-Donatorkonzentrationen. Als Folge haben sie die Charakteristika (i) und (iii) und sind für eine Sprungbildung anfällig.

#### GITTERFEHLANPASSUNGEN UND FEHLANPASSUNGEN BEZÜGLICH DER THERMISCHEN AUSDEHNUNGSKOEFFIZIENTEN

**[0035]** Ein Halbleitermaterial ist durch eine Gitterkonstante charakterisiert, d. h. durch eine mathematische Charakterisierung der Kristallstruktur des Materials. Ferner hat ebenso wie jedes andere Material ein Halbleitermaterial einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der ein Maß dafür ist, wie stark sich das Material ausdehnt oder zusammenzieht, wenn Temperaturänderungen auftreten.

**[0036]** Nebeneinander angeordnete Schichten sollten identische oder kompatible Gitterbildungen für eine gute Haftung haben. Inkompatible Gitterbildungen resultieren in einer schlechten Haftung und machen die Schichten für eine Trennung anfällig, wodurch die elektrischen Charakteristika verschlechtert werden.

**[0037]** Ferner sollten benachbarte Schichten thermische Ausdehnungskoeffizienten haben, die so ähnlich als möglich sind, so daß Temperaturänderungen nicht in einer Schichttrennung resultieren, da sie eine Schicht mehr als die andere Schicht ausdehnt. Dies ist besonders wichtig, da die Herstellung von Halbleiterbauelementen üblicherweise bei viel höheren Temperaturen stattfindet als die Bauelemente gelagert und verwendet werden. Wenn sich die fertiggestellten Bauelemente auf Zimmertemperatur abkühlen, tritt eine beträchtliche thermische Kontraktion auf.

#### HERKÖMMLICHE LED-STRUKTUREN – PUFFER-SCHICHTEN

**[0038]** Nitridbasierte LEDs umfassen typischerweise (i) ein Substrat, (ii) eine Kernbildungs- oder Pufferstruktur, und (iii) eine aktive Struktur. Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Pufferstruktur. Dementsprechend umfassen die Zeichnungen, die Bauelementestrukturen zeigen, sowohl ein Gesamtdiagramm, das die Pufferstruktur als einzige Schicht zeigt, als auch einen "Vergrößerer", der auf die einschichtige Pufferstruktur zentriert ist und eine vergrößerte detaillierte Ansicht der Struktur liefert, die die Pufferstruktur bildet.

**[0039]** Die Zeichnungen zum Stand der Technik und zur Erfindung geben repräsentative Schichtdicken in Angström-Einheiten (Å). Diese Werte oder andere, die sich selbst für Fachleute anbieten, können verwendet werden.

**[0040]** Ferner werden in der folgenden Erörterung

die Schichten derart beschrieben, daß sie aufeinander "angeordnet" sind. Der Ausdruck "angeordnet" soll nicht irgendeine strukturelle Begrenzung außer der bedeuten, daß die eine Schicht auf der anderen Schicht hergestellt oder positioniert ist. Der Ausdruck umfaßt Strukturen, die durch jede Herstellungstechnik erzeugt werden, die Fachleuten basierend auf der vorliegenden Beschreibung bekannt oder als geeignet erscheinen. Die einzige explizite oder implizite Begrenzung in Verbindung mit dieser Beschreibung bezieht sich auf die relativ niedrigen und hohen Temperaturen zur Pufferschichtherstellung und für die Epitaxie der aktiven Schicht, usw., wie es beschrieben ist.

**[0041]** Da die Erfindung auf die LED-Technologie angewendet werden kann, wird eine etwas detailliertere Darstellung einer aktiven LED-Struktur als anschauliches Beispiel gegeben. Die aktive Struktur der LED umfaßt eine aktive Schicht zwischen einer n-Typ- und einer p-Typ-Schicht und Kontakte. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß diese Elemente für die Erfindung nicht wesentlich sind, sondern lediglich anschauliche Beispiele.

#### Fig. 2: EIN HERKÖMMLICHES BAUELEMENT

**[0042]** Ein schematisches Diagramm eines herkömmlichen Halbleiterbauelements, das insbesondere eine allgemeine Nitrid-LED ist, ist in **Fig. 2** gezeigt. Das Substrat ist als **2** gezeigt, und die Kernbildungs- oder Pufferstruktur ist als **4** gezeigt. Das Substrat **2** kann Saphir ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Siliziumcarbid ( $\text{SiC}$ ), usw. sein. Die aktive Struktur ist allgemein als **6** gezeigt.

**[0043]** Die Schaltungselemente, Verbindungen, usw. werden innerhalb der aktiven Struktur **6** hergestellt. Die spezifischen Eigenschaften der aktiven Struktur sind für die Erfindung nicht wesentlich, weshalb aktive Strukturen nicht detailliert erörtert werden, mit Ausnahme des hiesigen Beispiels.

**[0044]** Die aktive Struktur **6** einer typischen LED, die in diesem Fall gezeigt ist, umfaßt eine aktive Region **8** zwischen einer p-Typ-Schicht **10** und einer n-Typ-Schicht **12**. Die Schichten **10** und **12** umfassen die Schaltungselemente, Verbindungen, usw. und Trägerkontakte **14** und **16**. Der Ausdruck "aktive Region" wird üblicherweise auf dem Gebiet der LEDs verwendet. Hier wird der Ausdruck "aktive Struktur" verwendet, um die Schichten **8**, **10** und **12** und die Kontakte **14** und **16** sowie andere Schaltungselemente und Strukturen anzusprechen, die in anderen Bauelementen vorhanden sind, die eine Pufferung verwenden, seien sie herkömmlich oder gemäß der hierin zu beschreibenden Erfindung ausgeführt.

**[0045]** Ein effektives Verfahren, das üblicherweise verwendet wird, um das Sprungbilden, die Morphologie und die Hintergrundträgerleitfähigkeit zu steuern,

besteht in der Einfügung der Pufferstruktur **4**. Die Pufferstruktur **4** enthält eine Schicht, die als "Pufferschicht" oder als "Kernbildungsschicht" bezeichnet wird. Diese Ausdrücke werden als Synonyme gebraucht.

**[0046]** Bei einem Bauelement, das auf einem Saphir-Substrat hergestellt ist, wird die Pufferschicht typischerweise bei 400 bis 900°C aufgebracht. Wenn das Substrat Siliziumcarbid (SiC) ist, dann könnte die Pufferschichtaufbringung bei noch höheren Temperaturen (beispielsweise über 900°C) stattfinden. Diese Temperaturen sind jedoch im allgemeinen niedriger als Temperaturen, die für andere Typen von Aufbringungsschritten, wie z. B. die Epitaxie, verwendet werden, sie müssen jedoch nicht unbedingt die Aufbringung bei Temperaturen über denen ausschließen, die bei anderen Aufbringungsschritten verwendet werden.

**[0047]** Kernbildungsschichten oder Pufferschichten werden vor dem Wachstum von zusätzlichen Schichten, wie z. B. der aktiven Struktur **6**, aufgebracht. Die Schichten, die die aktive Struktur **6** bilden, werden oft bei viel höheren Temperaturen als denen, die für die Pufferschichten verwendet werden, aufgebracht. Die Qualität dieser zusätzlichen Schichten, wie z. B. epitaxiale Nitridfilme, wird dramatisch verbessert, wenn Pufferschichten unter den zusätzlichen Schichten hergestellt sind.

**[0048]** Üblicherweise umfassen Pufferschichten eine der Binärverbindungen AlN und GaN oder bestimmte AlGa<sub>N</sub>-Zusammensetzungen zwischen diesen zwei Binärpunkten. Genauer gesagt wird die Zwischenzusammensetzung als Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N bezeichnet, wobei x ein Wert zwischen 0 und 1 ist.

**[0049]** Das Einfügen einer solchen Niedertemperaturschicht liefert die Einrichtung, durch die drastische Differenzen in (i) dem Gitterparameter, (ii) der thermischen Ausdehnung, (iii) der Oberflächenenergie und (iv) der Kristallographie zwischen dem Saphirsubstrat und der Nitrid-Epischicht überwunden werden. Solche herkömmlichen Pufferschichten haben jedoch Begrenzungen, was nun erörtert wird.

#### DOTIERUNGS- UND ZUSAMMENSETZUNGSMODULATIONEN

**[0050]** Bei typischen nitridbasierten Bauelementen sind die Filmschichten stark dotiert. Dotierungskonzentrationen überschreiten oft  $10^{18} - 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  bei typischen optoelektronischen Bauelementen.

**[0051]** Typische nitridbasierte Bauelemente zeigen ferner mehrere Zusammensetzungs-Heterogrenzschichten. Nahezu alle elektronischen und optoelektronischen Bauelemente bestehen aus Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung, die aufeinander

angeordnet sind. Eine Heterogrenzfläche ist eine Grenzfläche zwischen zwei solchen Schichten mit unterschiedlicher Zusammensetzung. Beispielsweise werden Schichten aus GaN, AlGa<sub>N</sub> und InGa<sub>N</sub> verschiedener Zusammensetzungen, Leitfähigkeitstypen und Dicken in direkten Grenzflächen zueinander aufgebracht, um optoelektronische Bauelemente, wie z. B. LEDs, zu erzeugen.

**[0052]** Die Dotierung und die Heterogrenzflächen beeinflussen beide die Gitterparameter. Daten für die a- und die c-Achsen-Gitterparameter und für thermische Ausdehnungskoeffizienten für die Nitride und die üblichen Substrate (SiC und Saphir) sind in Tabelle I ([Fig. 3](#)) gegeben.

**[0053]** Die Sprungbildung stellt ein wesentliches Problem dar, wenn GaN-Schichten mit Silizium n-Typ-dotiert werden. Siliziumatome nehmen die Plätze von Ga-Atomen in dem Kristallgitter ein. Silizium hat einen Innenradius, der um mehr als 30% kleiner als der von Gallium ist. Als Folge sind die Siliziumatome "zu klein" für die Räume, die sie in dem Gitter einnehmen, wobei der zusätzliche Raum um die Siliziumatome herum das Gitter schwächt, indem Spannungs- und Belastungsfelder in dem Kristall erzeugt werden.

**[0054]** Das Sprungbilden stellt ferner ein Problem dar, wenn Schichten mit unterschiedlichen Zusammensetzungen aufeinander aufgebracht werden. Das Sprungbilden ist besonders unerwünscht, wenn die Schicht, die auf eine andere gewachsen wird, einen kleineren a-Achsen-Gitterparameter als die Schicht hat, auf die sie gewachsen wird, aufgrund der sehr starren Elastizitätskonstanten, die die III-V-Nitride zeigen.

**[0055]** Zusätzlich zeigen Heterostrukturen, die aus Nitrid-Schichten bestehen, üblicherweise eine Ausrichtung entlang der a-Achse, der Achse, die parallel zu der Substrat-Film-Grenzfläche ist. Wenn somit eine Schicht einen kleineren verwandten a-Achsen-Parameter als die Schicht hat, auf die sie aufgewachsen ist, wird eine Zugspannung in dieser Schicht eingeführt, um die Grenzfläche in Ausrichtung zu halten.

#### SCHLUSSFOLGERUNG

**[0056]** Während die Probleme, die der Gitterfehlpassung und der thermischen Fehlanpassung zugeordnet sind, unter Verwendung existierender Kernbildungsschichttechnologien und durch Steuern der Erwärmungs- und Abkühlungsbedingungen, die einem Wachstum zugeordnet sind, adäquat angegangen werden können, können Sprungbildungsprobleme aufgrund Dotierungs- und Zusammensetzungs-Schwankungen nicht durch solche Verfahren gelöst werden.

**[0057]** Daher bleibt ein Bedarf nach einem Halbleiterbauelement und nach einem Verfahren zum Herstellen eines solchen Bauelements, die das Problem der Sprungbildung aufgrund von Dotierungs- und Zusammensetzungs-Schwankungen überwinden.

**[0058]** Die DE 197 25 578 A1 offenbart ein III-V-Nitrid-Halbleiterbauelement mit einem Saphirsubstrat, einem auf dem Saphirsubstrat vorgesehenen Al-GaN-Puffer und einer aktiven Struktur, die eine N-Struktur mit drei N-Typ-Teilschichten, eine aktive Schicht und über der aktiven Schicht eine P-Typ-Schicht aufweist. Die erste N-Typ-Teilschicht ist schwach N-dotiert, um eine Rißbildung zu vermeiden, und ist für eine gute Materialqualität mit der gewünschten Dicke aufgewachsen. Die zweite N-Typ-Teilschicht ist stark dotiert, um gute N-Kontakt-, Vorwärtsspannungs- und Resistivitäts-Charakteristika zu liefern. Die dritte N-Typ-Teilschicht ist mit einer gewünschten Dichte dotiert, um eine optimale Trägerinjektion und Paarekombination in der aktiven Schicht des Bauelements zu liefern.

**[0059]** Die EP 0 731 512 A2 offenbart ein Licht-emittierende Diode mit einem Saphirsubstrat, einer auf dem Saphir-Substrat vorgesehenen GaInN-Pufferschicht und einem darüber angeordneten aktiven Bereich mit einer Doppelheterostruktur. Die lichtemittierende Schicht der Doppelheterostruktur hat denselben Indiumgehalt wie die Pufferschicht, um eine möglichst gute Anpassung der Gitterkonstanten der beiden Schichten zu ermöglichen.

**[0060]** Die JP 09-199 759 A offenbart ein Halbleiterbauelement mit einem Substrat. Auf dem Substrat sind abwechselnd Schichten aus  $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{y1}\text{In}_{1-x1-y1}\text{N}$  und Schichten mit einem Material aus  $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{y2}\text{In}_{1-x2-y2}\text{N}$ , wobei über der Struktur aus den Schichten eine weitere Schicht aus  $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{y3}\text{In}_{1-x3-y3}\text{N}$  angeordnet ist. Die Materialien sind so gewählt, daß  $x1 = x2$  und  $y1 = y2$  gilt. Damit hat jede Schicht den gleichen Indium-Gehalt.

**[0061]** Die JP 08-116 091 A offenbart ein lichtemittierendes Halbleiterbauelement mit einem Substrat, auf dem eine Nieder-Temperatur-Pufferschicht aufgebracht ist, der eine Hochtemperatur-Pufferschicht mit derselben Zusammensetzung folgt. Auf der Hochtemperatur-Pufferschicht ist eine N-Typ-Claddingschicht **6** aufgebracht, der eine aktive Schicht folgt, auf der wiederum eine P-Typ-Claddingschicht **8** aufgebracht ist. Auf der P-Typ-Schicht ist schließlich eine Abdeckungsschicht vorgesehen.

**[0062]** Die JP 08-288 552 A offenbart ein lichtemittierendes Halbleiterelement mit einem Substrat, auf dem eine Pufferschicht aus InAlN vorgesehen ist. Auf der Pufferschicht ist eine n-Typ-InGaAl-Schicht vorgesehen. Auf der N-Typ-Schicht ist eine aktive Schicht aus GaAlN vorgesehen, der wiederum eine

p-Typ-Schicht aus InGaAlN folgt.

**[0063]** Das US-Patent US 5 656 832 A offenbart ein Halbleiter-Heteroübergang-Bauelement, das ein Substrat aufweist. Über dem Substrat ist eine AlN-Kernbildungsschicht angeordnet, über der wiederum eine InN-Schicht angeordnet ist. Auf der InN-Schicht ist eine GaN-Abdeckungsschicht aufgebracht, der dann eine aktive Struktur mit einem Hetero-Übergang folgt.

**[0064]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein höherqualitativeres Halbleiterbauelement zu schaffen.

**[0065]** Diese Aufgabe wird durch ein Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1 gelöst.

**[0066]** Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß sie ein III-V-Nitrid-Halbleiterbauelement schafft, das zusammengesetzt ist, um hochqualitative Schichten und Bauelemente zu erreichen. Ferner überwindet dieses Bauelement das Problem des Sprungbildens aufgrund von Dotierungs- und Zusammensetzungs-Schwankungen in diesen Schichten und Bauelementen.

**[0067]** Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß sie ein Halbleiterbauelement schafft, das zusammengesetzt ist, um sämtliche oben erörterte Sprungbildungsprobleme zu überwinden.

**[0068]** Ein erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement umfaßt allgemein ein Substrat, eine aktive Struktur und eine Pufferstruktur zwischen dem Substrat und der aktiven Schicht.

**[0069]** Die Pufferstruktur umfasst mehrere Schichten. Insbesondere besteht in einer Mehrschichtstruktur zumindest eine dieser Schichten und vorzugsweise die eine, die direkt auf dem Substrat aufgebracht ist, aus einer III-V-Nitridverbindung, bei der der Spalte-III-Gehalt vollständig oder teilweise aus Indium besteht. Gemäß der vorliegenden Erfindung dient diese Indium-enthaltende Schicht als Pufferschicht.

**[0070]** Es wurde herausgefunden, dass eine III-V-Nitridpufferschicht, die Indium enthält, eine vorteilhafte Reduktion der Sprungbildung liefert, da die Belastung, die in der aktiven Struktur vorhanden ist, moduliert wird.

**[0071]** Die Erfindung ist zur Verwendung bei der AlInGaIn-Epitaxie vorteilhaft. Durch Kernbilden von Nitridfilmen auf diesen Pufferschichten resultieren Reduktionen bezüglich der Spannung und der Sprungbildung aufgrund einer Relaxation durch die InN-enthaltenden Schichten, wodurch eine größere Flexibilität bei der Zusammensetzungs- und der Do-



tierungs-Modulation ermöglicht wird.

**[0072]** Da die elektrischen und optischen Eigenschaften der Nitride von den vorhandenen Belastungs- und Spannungszuständen abhängen, können diese Eigenschaften durch Steuern der Zusammensetzung und Schichtdicke der Kernbildungsschicht zugeschnitten werden.

**[0073]** Das Spalte-III-Material kann gänzlich Indium sein, um die Pufferschichtverbindung InN herzustellen. Allgemeiner gesagt kann die Pufferschicht irgendein geeignetes Aluminium-Gallium-Indium-Nitrid-Zwischenelement sein. Ein solches Zwischenelement ist allgemein als  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  gegeben, wobei gilt:  $0 \leq x < 1$  und  $0 < y \leq 1$ .

**[0074]** Spezifische Quantitäten der verschiedenen Spalte-III-Elemente werden nachfolgend in Verbindung mit der Erörterung der verschiedenen Ausführungsbeispiele der Erfindung gegeben. Experimente haben gezeigt, daß diese speziellen Verhältnisse Pufferstrukturen erzeugen, die sich günstig verhalten. Die Erfindung soll jedoch im allgemeinen Sinn andere Zusammensetzungen und Dicken ebenfalls umfassen.

**[0075]** Da ferner hochqualitative InGaN-Schichten bei Temperaturen aufgewachsen werden können, die viel niedriger als die sind, die für GaN, AlN und AlGaIn verwendet werden (weniger als  $800^\circ\text{C}$  im Gegensatz zu größer als  $1.000^\circ\text{C}$ ), zeigen Pufferschichten, die InN und InGaIn enthalten, eine vorteilhaft hohe strukturelle Qualität, die bei bekannten Herstellungstechnologien nicht erreicht worden ist.

**[0076]** Ferner umfaßt die Pufferstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung eine Abdeckungsschicht an der Oberseite. Die Abdeckungsschicht kann GaN, AlN oder ein geeignetes AlInGaIn-Zwischenelement sein. Im allgemeinen kann eine III-V-Nitridpufferschicht, die einen gegebenen Anteil an Indium enthält, durch eine III-V-Nitridabdeckungsschicht abgedeckt werden, die einen geringeren Anteil an Indium enthält, wobei die Anteile für die Temperatur des nachfolgenden Epitaxieschritts geeignet ausgewählt sind.

**[0077]** Die Abdeckungsschicht liefert den zusätzlichen Vorteil, daß in dem Herstellungsverfahren, bei dem ein Hochtemperaturaufbringungsschritt für die aktive Struktur der Aufbringung der Pufferstruktur folgt, die Abdeckung den Rest der Pufferstruktur an Ort und Stelle hält und vor schädlichen Auswirkungen schützt, die durch die hohe Temperatur eingeführt werden.

**[0078]** Es wird ferner davon ausgegangen, daß die folgenden Änderungen des Belastungszustands, der durch Verwendung von Mehrstufen-Kernbildungs-

schichten erzeugt wird, ebenfalls eine nützliche Auswirkung auf die elektrischen Eigenschaften sowie auf das Verhalten eines LED-Bauelements gemäß der Erfindung haben werden.

**[0079]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

**[0080]** [Fig. 1](#) eine schematische perspektivische Ansicht eines Kristallgitters und von Achsen, die dem Gitter zugeordnet sind;

**[0081]** [Fig. 2](#) ein schematisches Diagramm, das die Herstellung einer herkömmlichen Nitrid-LED zeigt;

**[0082]** [Fig. 3](#) eine Tabelle, die auch mit "TABELLE I" bezeichnet ist, die Parameterwerte für Nitrid- und Substrat-Materialien liefert;

**[0083]** [Fig. 4](#) ein schematisches Diagramm, das die Herstellung einer Nitrid-LED zeigt;

**[0084]** [Fig. 5](#) ein schematisches Diagramm, das die Herstellung von Nitrid-LEDs zeigt;

**[0085]** [Fig. 6](#) ein schematisches Diagramm, das die Herstellung einer Nitrid-LED gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt, wobei das Ausführungsbeispiel mehrere Pufferschichten hat;

**[0086]** [Fig. 7](#) und [9](#) schematische Diagramme, die die Herstellung von Nitrid-LEDs zeigen;

**[0087]** [Fig. 8](#) und [10](#) schematische Diagramme, die die Herstellung von Nitrid-LEDs gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung zeigen, wobei die Ausführungsbeispiele eine Abdeckungsschicht haben;

**[0088]** [Fig. 11](#) einen Graphen, der "SIMS-Tiefenprofil" genannt wird und Charakteristika des Bauelements von [Fig. 9](#) zeigt;

**[0089]** [Fig. 12](#) eine Tabelle, die auch als "TABELLE II" bezeichnet ist und Messungen des Bauelements von [Fig. 9](#) wiedergibt;

**[0090]** [Fig. 13](#) und [14](#) schematische Diagramme, die die Herstellung von Nitrid-LEDs zeigen;

**[0091]** [Fig. 15](#) ein schematisches Diagramm, das die Herstellung einer Nitrid-LED gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt, wobei das Ausführungsbeispiel sich wiederholende (oder nahezu wiederholende) Unterstrukturen innerhalb der Pufferstruktur hat;

**[0092]** [Fig. 16](#) eine Tabelle, die auch mit "TABELLE III" bezeichnet wird, die Verhaltensdaten von mehre-



ren Bauelementen wiedergibt; und

**[0093]** Fig. 17 eine Tabelle, die auch mit "TABELLE IV" bezeichnet ist, die weitere Verhaltensdaten wiedergibt.

**[0094]** Gemäß der vorliegenden Erfindung besteht eine Niedertemperatur-Kernbildungsschicht aus mehreren getrennten Schichten mit unterschiedlicher Zusammensetzung. Insbesondere ist in einer Mehrschichtstruktur zumindest eine dieser Schichten, vorzugsweise die eine, die direkt auf dem Substrat angeordnet ist, aus einem Indium-enthaltenden Nitrid beschaffen, um als Pufferschicht zur Verwendung bei der AlInGaN-Epitaxie zu dienen.

**[0095]** Im allgemeinen kann die Erfindung auf zwei Arten und Weisen ausgeführt werden. Dieselben haben eine Nitridverbindungs-pufferschicht, die Indium enthält, und die direkt auf dem Substrat aufgebracht ist, gemeinsam. Dagegen haben herkömmliche Pufferschichtverbindungen nur Aluminium oder Gallium aus Spalte III. Die zwei Arten und Weisen der Ausführung der Erfindung unterscheiden sich darin, dass die Pufferschicht einerseits InN (enthält nur Indium von Spalte III) ist, und andererseits eine Verbindung ist, die Indium zusammen mit einem anderen Spalte-III-Element, vorzugsweise Gallium, enthält. Diese Verbindung kann beispielsweise als  $GaxIn_{1-x}N$  formuliert werden, wobei gilt:  $0 < x < 1$ .

**[0096]** InN schmilzt bei etwa  $1.100^{\circ}C$  in der Nähe der Temperatur, die für die GaN-Epitaxie verwendet wird. Da jedoch Indium- und Stickstoff-Atome relativ schwach miteinander gebunden sind, kann sich ein InN-Gitter bei dieser Temperatur oder einer etwas darunterliegenden Temperatur auflösen. Es sei beispielsweise ein Fall betrachtet, bei dem nach der Aufbringung einer InN-Pufferschicht ein darauffolgender Schritt einer GaN-Epitaxie für die Bildung einer Schicht einer aktiven Struktur stattfindet. Aufgrund der relativ hohen Temperatur des GaN-Epitaxieschritts schmilzt die darunterliegende InN-Schicht oder "relaxiert". Diese Relaxation der darunterliegenden InN-Pufferschicht verringert die Tendenz zum Sprungbilden, da ein Grad an Nachgiebigkeit zwischen dem Substrat und dem Film geschaffen wird.

**[0097]** Aufgrund der relativ niedrigen Schmelzpunkte von InN und den anderen Indiumverbindungen, die gemäß der Erfindung verwendet werden, hat es sich als wünschenswert herausgestellt, eine Abdeckungsschicht, vorzugsweise GaN, unmittelbar über der Indium-enthaltenden Pufferschicht zu schaffen. Da die Indium-enthaltende Schicht während des Hochtemperatur-Epitaxieschritts relaxiert, ist die InN-Schicht durch eine Abdeckungsschicht aus einem Material, das in diesem Temperaturbereich fest bleibt, begrenzt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit befaßt sich diese Beschreibung mit InGaN/GaN-Puffer-

schichten, wobei jedoch darauf hingewiesen wird, daß die Struktur, die beschrieben wird, tatsächlich beispielsweise eine InGaN-Pufferschicht unter einer GaN-Abdeckungsschicht ist. Sowohl die Pufferschicht als auch die Abdeckungsschicht sind Teile der Gesamtpufferstruktur zwischen dem Substrat und der aktiven Struktur.

## AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

**[0098]** Es existieren viele möglichen Ausführungsbeispiele der Erfindung. Viele der Ausführungsbeispiele bieten sich selbst für eine Kategorisierung in Klassen von Ausführungsbeispielen an. zunächst wird ein Basisausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben, woraufhin andere Klassen von Ausführungsbeispielen als Variationen oder Verfeinerungen basierend auf dem Grundauführungsbeispiel beschrieben werden.

**[0099]** Fig. 4 stellt eine Nitrid-LED mit einer Grundpufferstruktur dar. Dieselbe hat eine einzige Pufferschicht **16**, die zu der von Fig. 2 identisch ist, mit der Ausnahme, daß die Pufferschicht **4** aus einer Indium-enthaltenden Nitridverbindung hergestellt ist.

**[0100]** Im allgemeinen sind die Indium-enthaltenden III-V-Nitride, die gemäß der Erfindung verwendet werden, von folgender Form:

$Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ , wobei gilt:  $0 < y \leq 1$  und  $0 \leq x < 1$ .

**[0101]** Das heißt, daß die Verbindung Aluminium und/oder Gallium zusätzlich zu dem Indium enthalten kann.

**[0102]** Zusätzlich zu dieser Grundpufferstruktur haben viele Ausführungsbeispiele der Erfindung Pufferstrukturen, die mehrere Schichten umfassen, wobei bestimmte oder alle der Schichten als Pufferschichten dienen. Mehrere solcher Ausführungsbeispiele werden in Klassen kategorisiert, wobei die Klassen von Ausführungsbeispielen dargestellt und erörtert werden.

## ERSTE KLASSE VON NITRID-LEDs:

### MEHRERE SCHICHTEN

**[0103]** Fig. 5 zeigt eine Pufferstruktur, bei der eine erste Pufferschicht **18** direkt auf dem Substrat angeordnet ist, und eine zweite Pufferschicht **20** auf der ersten Pufferschicht **18** angeordnet ist. Bezüglich der in Fig. 5 gegebenen chemischen Formeln sind beide Schichten Indium-enthaltende Nitridverbindungen, wobei sich jedoch die exakten Verhältnisse der Spalte-III-Elemente bei den beiden Schichten unterscheiden. Die erste Schicht **18** kann InN sein und kein Al oder Ga enthalten. Der Spalte-III-Abschnitt der zweiten Schicht **20** ist jedoch nicht reines Indium, sondern kann entweder reines Al oder reines Ga sein. In je-

dem Fall enthält die zweite Schicht **20** weniger Indium als die erste Schicht **18**.

**[0104]** Fig. 6 zeigt eine Pufferstruktur, die der von Fig. 5 ähnlich ist, mit Ausnahme davon, dass eine dritte Pufferschicht **22** auf der zweiten Pufferschicht **20** aufgebracht ist. Bezüglich der in Fig. 6 gegebenen chemischen Formeln enthält die erste Pufferschicht **18** einen bestimmten Anteil an Indium. Die zweite Pufferschicht **20** enthält weniger Indium als die erste Schicht **18**. Die dritte Pufferschicht **22** enthält wieder weniger Indium.

**[0105]** Das Ausführungsbeispiel der Fig. 6 kann man sich als eine erste Klasse von Ausführungsbeispielen der Erfindung vorstellen. Ausführungsbeispiele in dieser ersten Klasse haben eine Mehrzahl von Indium-enthaltenden Pufferschichten. Obwohl Beispiele von zwei- und drei-schichtigen Pufferstrukturen gezeigt worden sind, können ferner zusätzliche Pufferschichten verwendet werden.

**[0106]** Diese Klasse von Ausführungsbeispielen hat jedoch gemeinsam, dass alle Schichten derart ausgeführt sind, dass sie durch Relaxierung bei den Temperaturen folgender Herstellungsschritte, wie z. B. eines Epitaxieschritts, als Puffer dienen. Weitere Klassen von Ausführungsbeispielen, die nachfolgend beschrieben sind, haben zusätzliche Typen von Schichten innerhalb ihrer Pufferstrukturen.

## ZWEITE KLASSE VON NITRID-LEDS:

### ABDECKUNGSSCHICHTEN: Fig. 7, 8, 9 UND 10

**[0107]** Die Fig. 7, 8, 9 und 10 stellen eine zweite Klasse von Nitrid-LEDS dar. Bei diesen Ausführungsbeispielen umfasst die Pufferstruktur eine Abdeckungsschicht, die über der Pufferschicht oder den Pufferschichten aufgebracht ist.

**[0108]** In den Fig. 7 und 8 sind den Pufferstrukturen ihre allgemeinen chemischen Zusammensetzungen zugeordnet. Die Fig. 9 und 10 entsprechen strukturell den Fig. 7 bzw. 8, mit Ausnahme davon, dass die Fig. 9 und 10 konkrete Beispiele von Bauelementen geben, die hergestellt und verwendet worden sind.

**[0109]** Eine Abdeckungsschicht ist vorzugsweise vorgesehen, wo das Gesamtherstellungsverfahren einen Hochtemperaturschritt, wie z. B. einen Epitaxieschritt, umfasst, der stattfindet, nachdem die Pufferstruktur hergestellt worden ist. Die bereits aufgebrauchte Indium-enthaltende Pufferschicht relaxiert unter der hohen Temperatur. Die Abdeckungsschicht begrenzt auf vorteilhafte Art und Weise das Indium-enthaltende Material an Ort und Stelle (siehe allgemein Fig. 7 und 8). Dementsprechend sind Abdeckungsschichten aus III-V-Nitridmaterialien hergestellt, die die hohen Temperaturen späterer Herstel-

lungsschritte besser tolerieren. Gallium-Nitrid (Fig. 9 und 10) ist ein bevorzugtes Material für die Abdeckungsschichten, obwohl die Abdeckungsschicht abhängig von der Temperatur des Epitaxieschritts auch Indium oder ein anderes Element der Kategorie III enthalten kann.

**[0110]** Bezugnehmend nun auf Fig. 7 ist ein erstes Beispiel der Abdeckungsschichtklasse gezeigt. Eine Indium-enthaltende Pufferschicht **24** ist durch eine Abdeckungsschicht **26** bedeckt, deren Zusammensetzung bezüglich der allgemeinen III-V-Nitridformel, die oben verwendet wird, gegeben ist. Die Indium-enthaltende Pufferschicht **24** kann irgendeine der chemischen Zusammensetzungen haben, die oben gegeben ist. Im allgemeinen enthält die Abdeckungsschicht **26** eine geringere Menge an Indium, was ausgewählt ist, um die Tendenz zu einer Relaxierung bei der Temperatur späterer Herstellungsschritte zu reduzieren.

**[0111]** Bei dem speziellen Beispiel von Fig. 9 ist jedoch ein relativ kleiner Indiumgehalt, nur bis zu etwa 20% Indium, wobei der Rest Gallium ist, in der Pufferschicht **24** vorgesehen. Die gegebene Dicke wurde erfolgreich verwendet, obwohl die genaue gegebene Dicke für die Erfindung nicht wesentlich ist, da auch andere Dicken verwendet werden können. Daten, die sich auf Dicken beziehen, die nachfolgend gegeben sind, behandeln das Verhalten von Strukturen, die auf diese Art und Weise hergestellt worden sind. Die Formulierung ist für ein Bauelement geeignet, dessen aktive Struktur bei ausreichend hohen Temperaturen hergestellt werden soll, dass die Pufferschicht **24** selbst mit einer relativ bescheidenen Menge an Indium immer noch relaxiert.

**[0112]** Fig. 8 zeigt ein Abdeckungsschicht-Ausführungsbeispiel, bei dem zwei Pufferschichten **28** und **30** unter einer Abdeckungsschicht **32** angeordnet sind. Wieder sind die Pufferschichten **28** und **30** und die Abdeckungsschicht **32** bezüglich allgemeiner Formeln für ihre chemische Zusammensetzung gegeben. Die erste Pufferschicht **28** (direkt auf dem Substrat) hat für eine gute Relaxation sehr viel Indium. Die zweite Pufferschicht **30** enthält eine Mischung aus Spalte-III-Elementen, die weniger reich an Indium ist.

**[0113]** Wieder zeigt Fig. 10 eine spezifischere Struktur. Eine reine InN-Schicht **28** ist für eine maximale Relaxation und für eine maximale Spannungsentlastung vorgesehen. Eine Zwischenschicht **30** mit weniger Indium ist für eine bessere Stabilität bei der hohen Temperatur vorgesehen. Schließlich ist eine GaN-Abdeckungsschicht **32** zum Begrenzen der unteren zwei Schichten **28** und **30** bei den hohen Temperaturen vorgesehen. Eine Abdeckungsschicht aus GaN toleriert solche Hochtemperaturherstellungsschritte gut. Bei dem speziellen gezeigten Ausführungs-

rungsbeispiel ist die mittlere Schicht **30** aus Indium-Gallium-Nitrid. Dabei ist der Indium-Gehalt wieder höchstens 20% hoch, um einen guten Ausgleich zwischen Relaxation und struktureller Stabilität bei einer hohen Temperatur zur Herstellung der aktiven Struktur zu schaffen.

**[0114]** [Fig. 11](#) präsentiert experimentelle Daten bezüglich des Ausführungsbeispiels von **Fig. 9** in der Form eines "SIMS-Tiefenprofils". Die Abkürzung SIMS steht für Sekundär-Ionen-Massenspektrometrie. Ein SIMS-Diagramm zeigt einen Sekundärionen-zählwert als Funktion der Tiefe unter der Oberfläche des Bauelements.

**[0115]** Das SIMS-Tiefenprofil ist ein Graph, der die N- und In-Spuren aus einem SIMS-Profil auf einer einzigen n-Typ- (Si-dotiert) GaN-Schicht zeigt, die auf der Kernbildungsschicht aufgewachsen ist, die in **Fig. 9** gezeigt ist. Eine InGaN-Pufferschicht bildet eine Grenzfläche mit einem Saphirsubstrat bei einer Tiefe von etwa 0,8  $\mu\text{m}$ .

**[0116]** Ionen-zählwerte sind für zwei Elemente, Stickstoff und Indium, gegeben. Die Stickstoffkurve ist über dem größten Teil des Graphen konstant. Dies ist intuitiv vernünftig, da der größte Teil Nitridschichten entspricht. Der Film enthält etwa 50% Stickstoff, und das Substrat enthält im wesentlichen keinen Stickstoff. Daher ist die Tiefe, wo der Stickstoff-zählwert abrupt abfällt, d. h. bei etwa 0,8  $\mu\text{m}$ , die Substrat-Film-Grenzfläche.

**[0117]** Die Graphen sind logarithmisch aufgetragen, so daß die Spitzen in der Indiumkurve von einer Tiefe von 0,0  $\mu\text{m}$  bis zu etwa 0,7  $\mu\text{m}$  lediglich Rauschen sind und etwa ein Tausendstel der Größe der Indiumspitze bei etwa 0,8  $\mu\text{m}$  groß sind. Die bemerkenswerte Indiumspitze bei 0,8  $\mu\text{m}$  entspricht der Pufferschicht, wobei angezeigt wird, daß Indium in der Struktur enthalten und gehalten wird.

**[0118]** Da Indium zum Filmwachstum in der Umgebung nur während des Wachstums des InGaN-Abschnitts der InGaN/GaN-Pufferstruktur vorgesehen wurde, zeigt das Indiumsignal die Position und Anwesenheit des InGaN-Abschnitts der mehrschichtigen Pufferschicht. Eine zusätzliche Bestätigung, daß das Indium an der Film-Substrat-Grenzfläche vorhanden ist, wird durch die Tatsache geliefert, daß das Indiumsignal seine Spitze bei derselben Tiefe hat, wo das Stickstoffsignal abnimmt.

**[0119]** Die Indiumspitze bei der Substrat-Film-Grenzfläche zeigt ebenfalls, daß die Abdeckungsschicht (GaN in diesem Fall) die InGaN-Pufferschicht an Ort und Stelle hält.

**[0120]** [Fig. 12](#) ist eine Tabelle (mit "TABELLE II" bezeichnet) von Van-der-Pauw-Hall-Messungen, d. h.

Messungen von Leitfähigkeitscharakteristika von Bauelementeschichten, die für den Betrieb von Halbleiterbauelementen relevant sind. Die Bauelemente, für die diese Ergebnisse erhalten wurden, haben jeweils aktive Schichten GaN:Si (Schichten aus GaN mit Silizium dotiert) mit ähnlicher Dicke und ähnlichem Dotierungspegel über Kernbildungsschichten. Zwei Sätze von Werten sind gegeben, einer für eine herkömmliche GaN-Kernbildungsschicht, wie die von **Fig. 2**, und eine für ein Bauelement gemäß der Erfindung, wie es in **Fig. 9** gezeigt ist, das In-GaN/GaN-Schichten hat.

**[0121]** Ein bemerkenswerter Unterschied ist der bezüglich der Elektronenmobilität, die vorzugsweise so hoch als möglich ist, um die höchste Leitfähigkeit und den niedrigsten Eingangstreiberstrom in den Schichten zu realisieren. Dieselbe ist etwa 5% höher für das InGaN/GaN-Bauelement von **Fig. 9** gemäß der Erfindung als für ein herkömmliches Muster, das auf einer GaN-Pufferschicht (**Fig. 2**) aufgewachsen wurde.

**[0122]** Der Gesamtwiderstand, der vorzugsweise so klein als möglich ist, ist bei dem erfindungsgemäßen Bauelement kleiner als bei dem herkömmlichen Bauelement. Dieser vorteilhafte Unterschied ist offensichtlich aufgrund entweder einer nützlichen Änderung des Belastungszustands oder aufgrund einer Reduktion der Versetzungs- und/oder Punktdefektdichten der GaN:Si-Überschicht vorhanden. Derselbe ist ein Ergebnis der Verwendung von In-GaN/GaN-Zusammensetzungs-Kernbildungsschichten gemäß der vorliegenden Erfindung.

### DRITTE KLASSE VON NITRID-LEDs:

#### PUFFERSTRUKTUREN: **Fig. 13, 14 UND 15**

**[0123]** Eine dritte Klasse von Nitrid-LEDs ist allgemein dadurch charakterisiert, dass sie eine Sequenz von Pufferunterstrukturen hat. Jede Unterstruktur ist entweder identisch oder analog zu den anderen. Die Pufferstrukturen bei den bereits beschriebenen Ausführungsbeispielen können als Beispiele von Unterstrukturen verwendet werden, die bei der vorliegenden Klasse von Ausführungsbeispielen wiederholt werden.

**[0124]** **Fig. 13** zeigt eine Pufferstruktur, die zwei Unterstrukturen **34** und **36** umfasst, wobei jede Unterstruktur eine Indium-Nitrid-Pufferschicht (**38** und **40**) und eine Gallium-Nitrid-Abdeckungsschicht (**42** und **44**) aufweist. Das heißt, dass, wenn die Abdeckungsschicht-Pufferstruktur von **Fig. 9** zweimal wiederholt wird, das Ergebnis die Struktur von **Fig. 13** ist.

**[0125]** In **Fig. 13** beispielsweise sind die Pufferunterstrukturen **34** und **36** als die Zwei-Schicht-Unterstrukturen gezeigt.

**[0126]** Ferner werden Schichten innerhalb einer Unterstruktur als Unterstrukturschichten beschrieben und beansprucht. Wieder beziehend auf **Fig. 13** werden die zwei Indium-Nitrid-Pufferschichten **38** und **40** als Unterstrukturpufferschichten bezeichnet. Ferner werden die zwei Gallium-Nitrid-Abdeckungsschichten **42** und **44** als Unterstruktur-Abdeckungsschichten bezeichnet.

**[0127]** Bezugnehmend auf **Fig. 14** ist eine Pufferstruktur gezeigt, die drei Unterstrukturen **46**, **48** und **50** aufweist. Jede der drei Unterstrukturen ist eine Abdeckungsschichtunterstruktur des Typs von **Fig. 9** und enthält eine Indium-Gallium-Nitrid-Pufferschicht (**52**, **54** und **56**) und eine Gallium-Nitrid-Abdeckungsschicht (**58**, **60** und **62**). Die Pufferschichten sind als identische Schichten gezeigt (d. h. identisch bezüglich der Dicke und der Zusammensetzung für einen konsistenten Wert von  $x$  für alle Schichten), obwohl die Zusammensetzung von einer Pufferschicht zu einer anderen variieren kann.

**[0128]** Schließlich zeigt **Fig. 15** eine Pufferstruktur mit einer unbestimmten Anzahl von Unterstrukturen. Eine untere Unterstruktur **64** und eine obere Unterstruktur **66** sind gezeigt. Ein Zwischenraum **68** zwischen der oberen und der unteren Unterstruktur **64** und **66** stellt jede beliebige erwünschte Anzahl von zusätzlichen Unterstrukturen dar.

**[0129]** Jede der Unterstrukturen von **Fig. 15** umfaßt zwei Unterstrukturpufferschichten. Die chemische Zusammensetzung der Unterstrukturpufferschichten ist bezüglich der allgemeinen Indium-enthaltenden III-V-Nitridformel gegeben, wie es oben erörtert wurde.

**[0130]** Die untere Unterstrukturschicht (**70** und **72**) jeder Unterstruktur (einschließlich der unteren Schicht der ersten Unterstruktur, die direkt neben dem Substrat angeordnet ist) enthält eine erste (relativ hohe) Menge an Indium, wobei die Menge auf den Wert des Indexparameters  $y_1$  bezogen ist. Die Menge kann bis zu 100% der Spalte-III-Zusammensetzung des Materials sein, d. h. das Material kann Indium-Nitrid sein. Die zweite Unterstrukturschicht (**74** und **76**) jeder Unterstruktur enthält eine geringere Menge an Indium.

**[0131]** Obwohl die gleichen Formeln und die gleichen Parameter  $x_1$  und  $y_1$  für die untere Schicht jeder Unterstruktur verwendet werden, können diese Formeln jedoch von einer Unterstruktur zu einer anderen variieren. Dasselbe trifft für die oberen Schichten der Unterstrukturen zu.

#### WEITERE AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

**[0132]** Aus der Erörterung dieser Ausführungsbeispiele der Erfindung ist zu sehen, daß eine Vielzahl

weiterer Konfigurationen möglich ist. Beispielsweise können mehrere Drei-Schicht-Unterstrukturen, von denen jede gemäß der Drei-Schicht-Puffer-Struktur von **Fig. 8** ausgeführt ist, verwendet werden. Ferner kann eine Unterstruktur verwendet werden, die der von **Fig. 8** ähnlich ist, mit Ausnahme davon, daß die chemische Zusammensetzung der Unterstrukturpufferschichten der verschiedenen Unterstrukturen bezüglich der chemischen Zusammensetzung variieren kann, und daß die Dicken ebenfalls variieren können.

**[0133]** Im allgemeinen kann eine Schicht mit einer gegebenen chemischen Zusammensetzung entweder als Pufferschicht oder als Abdeckungsschicht dienen, teilweise abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung. Eine Schicht dient als eine Abdeckungsschicht, wenn ihr Material im wesentlichen fest und starr bei den hohen Temperaturen späterer Herstellungsschritte bleibt. Dies setzt natürlich voraus, daß unter dieser Schicht eine Schicht aus einem Material ist, das bei diesen hohen Temperaturen relaxiert oder schmilzt. Ferner sei darauf hingewiesen, daß je größer die Tendenz einer gegebenen Struktur zur Relaxierung ist, desto besser dieselbe als Pufferschicht dient. Schließlich dürfte der Punkt, wie hoch diese Temperatur wird, bestimmen, ob eine Schicht mit einer gegebenen Zusammensetzung als Pufferschicht oder als Abdeckungsschicht dient.

**[0134]** In den meisten Fällen wird das Pufferschichtwachstum bei einer Temperatur eingeleitet, die viel niedriger als die ist, die für Nitridfilme verwendet wird, indem die Pufferschicht direkt auf das Saphirsubstrat aufgewachsen wird. Typischerweise wird eine Pufferschicht, die auf Saphir aufgebracht wird, bei 400 bis 900°C aufgebracht, während der Rest der Struktur bei 700 bis 1.200°C aufgebracht wird. Ferner wird die zusammengesetzte Kernbildungsschicht abgedeckt, um dieselbe während einer rampenförmigen Anhebung auf höhere Temperaturen für den Rest des Wachstumsverfahrens zu schützen. Die gesamte Kernbildungsschichtdicke kann irgendeinen Wert annehmen, den Fachleute als geeignet ansehen würden. Die bevorzugte verwendete Dicke betrug jedoch etwa 250 bis 300 Å.

#### ALLGEMEINE BEMERKUNGEN BEZÜGLICH DER HERSTELLUNGSTECHNIKEN

**[0135]** Pufferschichten und Abdeckungsschichten werden bei Temperaturen von 200 bis 1.000°C und vorzugsweise in dem Bereich von 400 bis 600°C aufgewachsen. Die unterschiedlichen Schichten müssen nicht notwendigerweise bei derselben Temperatur aufgewachsen werden. Ferner können andere Bedingungen variiert werden. Beispielsweise können die Umgebungsbedingungen, wie z. B. der Druck der Wachstumsatmosphäre, verändert werden.

**[0136]** Umgebungswachstumsatmosphären enthal-

ten im allgemeinen ein Umgebungsgas, das nicht reaktiv ist oder auf andere Art und Weise nicht direkt bei dem Schichtbildungsverfahren teilnimmt. Solche Gase umfassen Ar, He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, eine Mischung aus H<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>, usw. Solche Umgebungsgase und andere können in verschiedenen Verhältnissen, Kombinationen, usw. verwendet werden, wie es für Fachleute bekannt ist.

**[0137]** Schließlich können dort, wo die Spalte-III-(und Spalte-V-)Elemente, die aufzubringen sind, in der Umgebungsatmosphäre vorgesehen werden, ihre Verhältnisse und Mengen ebenfalls variiert werden, einschließlich des Verhältnisses von Spalte-V zu Spalte-III.

#### EXPERIMENTELLE DATEN

**[0138]** LED-Bauelemente wurden ebenfalls auf spezifischen Beispielen mehrerer Pufferstrukturen, die oben gezeigt und erörtert wurden, aufgewachsen. LED-Verhaltensdaten von jeder der Strukturen sind in TABELLE III ([Fig. 16](#)) gegeben.

**[0139]** Lichtausgangswerte werden als prozentuale Gewinne bezüglich eines Standardlaufs unter Verwendung eines bekannten optoelektronischen Bauelements, wie z. B. dem von [Fig. 2](#), gegeben. Standardisierte Läufe, die in demselben Zeitrahmen aufgewachsen werden, haben einen externen Quantenwirkungsgrad von 5 bis 7% und emittieren Licht in dem Wellenlängenbereich von 485 bis 505 Nanometer (nm). Da es wünschenswert ist, LED-Bauelemente herzustellen, die die höchste mögliche Lichtausgabe liefern, sind die Vorteile des Verwendens der hierin beschriebenen Erfindung evident.

**[0140]** Es sei angemerkt, daß die verschiedenen Ausführungsbeispiele Lichtwellenlängen erzeugen, die über etwa 15 nm variieren (im Vergleich zu einer Wellenlängendifferenz in der Größenordnung von 50 nm zwischen benachbarten Farben in dem sichtbaren Spektrum). Fachleute auf dem Gebiet von LEDs kennen die Herstellungstechniken, die in Verbindung mit der Erfindung verwendet werden können, um die Lichtwellenlängen auf präzise erwünschte Werte einzustellen.

**[0141]** Frühere Forschungen haben gezeigt, daß die Menge an Belastung, die in der Bauelementstruktur vorhanden ist, die Zusammensetzung der aktiven oder lichtemittierenden Region der Struktur verändern kann. Da die Zusammensetzung der aktiven Schicht die Emissionswellenlänge bestimmt, zeigen die hier beobachteten Wellenlängenverschiebungen eine Änderung des Belastungszustands der Struktur an.

**[0142]** In allen Fällen sind die Bauelementlichtausgabe und der Wirkungsgrad der Bauelemente mit de-

nen herkömmlicher LED-Bauelemente, die auf GaN-Kernbildungsschichten während der gleichen Zeitdauer aufgewachsen worden sind, vergleichbar oder sogar größer. In dem in [Fig. 9](#) gezeigten speziellen Fall ist ferner zu sehen, daß ein Modulieren des InN-Mol-Bruchteils in dem InGaN-Anteil der Kernbildungsschicht ferner das Bauelementverhalten beeinflusst.

**[0143]** In Tabelle IV ([Fig. 17](#)) gezeigte Daten zeigen, daß die Lichtausgabe für LED-Bauelemente gemäß der Erfindung relativ zu der des bekannten Bauelements (0,00 InN-Mol-Anteil) erhöht wird. Ferner wird die Wellenlänge des erzeugten Lichts durch Zusammensetzungsvariationen in dem 100-Å-In-GaN-Abschnitt der Pufferschicht ([Fig. 9](#)) beeinflusst. Die mit "0,00" überschriebene Spalte stellt das Verhalten des bekannten Bauelements von [Fig. 2](#) dar. Ebenso wie bei den in [Fig. 16](#) gegebenen Daten zeigen die Daten in [Fig. 17](#) ebenfalls die Verhaltensverbesserungen und Änderungen des Belastungszustands, die gemäß der vorliegenden Erfindung erhalten werden.

**[0144]** Ähnliche Verschiebungen der Lichtausgabe und der Lichtwellenlänge sind zu beobachten, wenn die Dicke dieser InGaN-Schicht verändert wird. Wie im früheren Fall, bei dem die elektrischen Transporteigenschaften gemessen wurden, können diese Ergebnisse direkt auf entweder Belastungszustands- oder mikrostrukturelle Verbesserungen korreliert werden, die durch Verwenden der erfindungsgemäßen Kernbildungsschicht erreicht werden.

#### Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement mit folgenden Merkmalen:  
 einem Substrat (**2**);  
 einer aktiven Struktur (**6**); und  
 einer Pufferstruktur, die zwischen dem Substrat (**2**) und der aktiven Struktur (**6**) angeordnet ist, wobei die Pufferstruktur folgende Merkmale aufweist:  
 eine Pufferschicht (**18**; **28**; **70**), die direkt auf dem Substrat (**2**) aufgebracht ist und aus einer Indiumenthaltenden Nitridverbindung hergestellt ist;  
 eine Abdeckungsschicht (**22**; **32**; **76**), auf der die aktive Struktur aufgebracht ist, wobei die Abdeckungsschicht (**22**; **32**; **76**) aus einer Nitridverbindung besteht, die kein Indium oder einen Indium-Gehalt hat, der kleiner als der Indium-Gehalt der Pufferschicht (**18**; **28**; **70**) ist, derart, dass der Schmelzpunkt der Pufferschicht (**18**; **28**; **70**) bei einer niedrigeren Temperatur liegt als der Schmelzpunkt der Abdeckungsschicht (**22**; **32**; **76**), und  
 eine weitere Pufferschicht (**20**; **30**), die auf der Pufferschicht (**18**; **28**) aufgebracht ist, wobei die weitere Pufferschicht (**20**; **30**) aus einer Indiumenthaltenden Nitridverbindung hergestellt ist, deren Indium-Gehalt kleiner als der Indium-Gehalt der Pufferschicht (**18**;

**28)** und größer als der Indium-Gehalt der Abdeckungsschicht (**22; 32**) ist.

2. Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1, bei dem die Pufferschicht (**18; 28; 70**) aus einer Indiumenthaltenden Nitridverbindung hergestellt ist, die aus dem Satz ausgewählt ist, der besteht aus:

$\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ , wobei gilt:  $0 < y \leq 1$  und  $0 \leq x < 1$ .

3. Halbleiterbauelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Dicken der Pufferschicht (**18; 28; 70**) und der Abdeckungsschicht (**22; 32; 76**) in einem Bereich liegen, der sich von 1 bis 50 nm und bevorzugterweise von 5 bis 15 nm erstreckt.

4. Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1, bei dem die Abdeckungsschicht (**22; 32; 76**) aus Gallium-Nitrid besteht.

5. Halbleiterbauelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Pufferstruktur eine Mehrzahl von Pufferschicht-Unterstrukturen (**64, 66, 68**) aufweist, wobei jede Pufferschicht-Unterstruktur (**64, 66, 68**) eine eigene Pufferschicht und eine eigene Abdeckungsschicht aufweist, wobei die Pufferschicht (**70**) einer Pufferschicht-Unterstruktur (**64**) der Mehrzahl von Pufferschicht-Unterstrukturen direkt auf dem Substrat (**2**) aufgebracht ist, wobei auf der Abdeckungsschicht (**76**) einer anderen Pufferschicht-Unterstruktur (**68**) der Mehrzahl von Pufferschicht-Unterstrukturen die aktive Struktur (**6**) aufgebracht ist, und wobei jede Pufferschicht-Unterstruktur (**64, 66, 68**) ferner eine weitere Pufferschicht aufweist, die auf der Pufferschicht der Pufferschicht-Unterstruktur (**64, 66, 68**) aufgebracht ist, wobei die weitere Pufferschicht aus einer Indium-enthaltenden Nitridverbindung hergestellt ist, deren Indium-Gehalt kleiner als der Indium-Gehalt der Pufferschicht der Pufferschicht-Unterstruktur (**64, 66, 68**) und größer als der Indium-Gehalt der Abdeckungsschicht der Pufferschicht-Unterstruktur (**64, 66, 68**) ist.

6. Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 5, bei dem die Abdeckungsschicht der Pufferschicht-Unterstruktur (**64, 66, 68**) in jeder Pufferschicht-Unterstruktur (**64, 66, 68**) aus Gallium-Nitrid besteht.

Es folgen 17 Blatt Zeichnungen



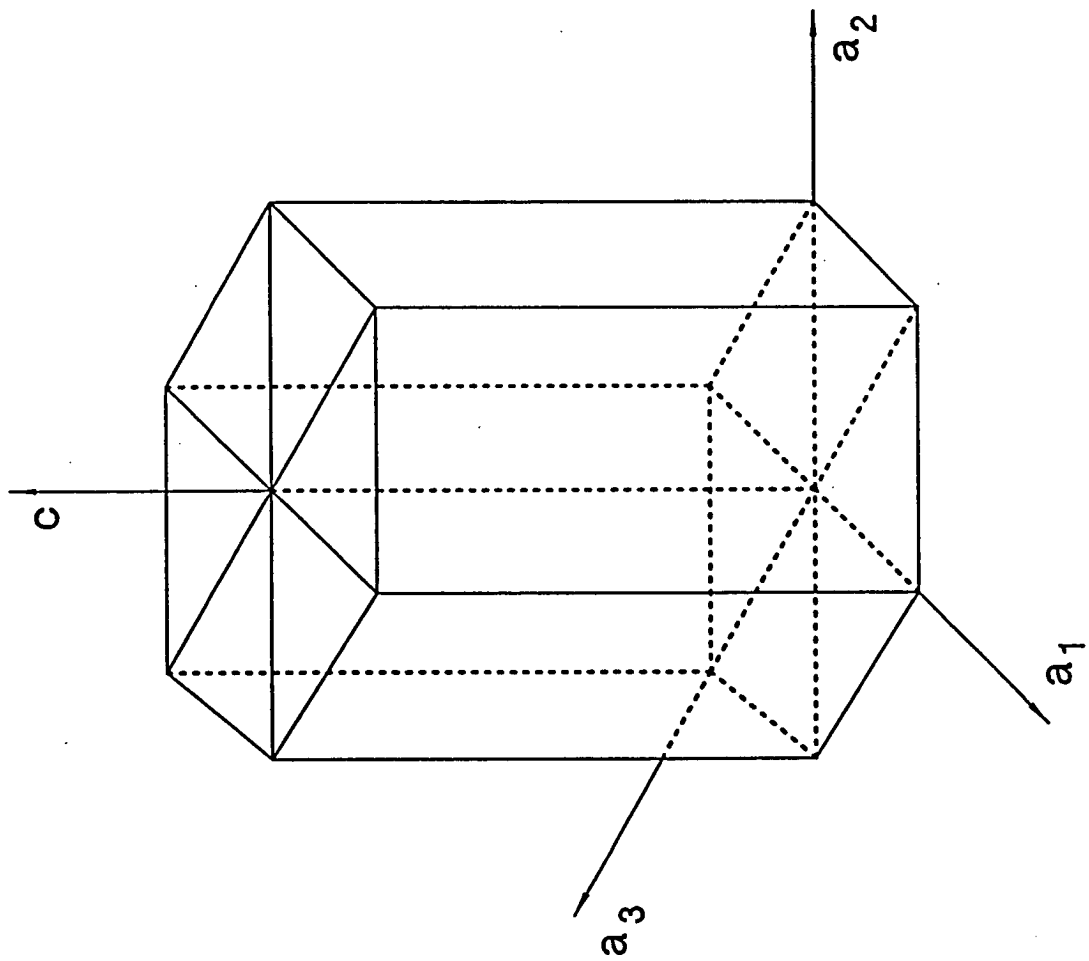


FIG. 1

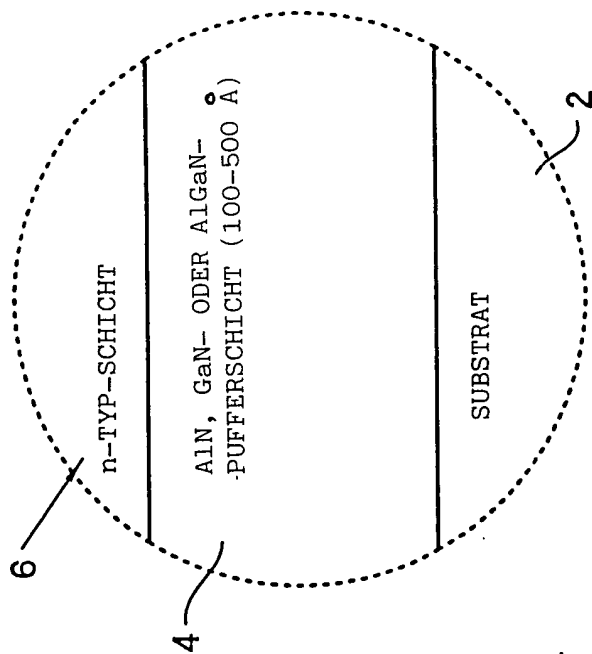


FIG. 2B

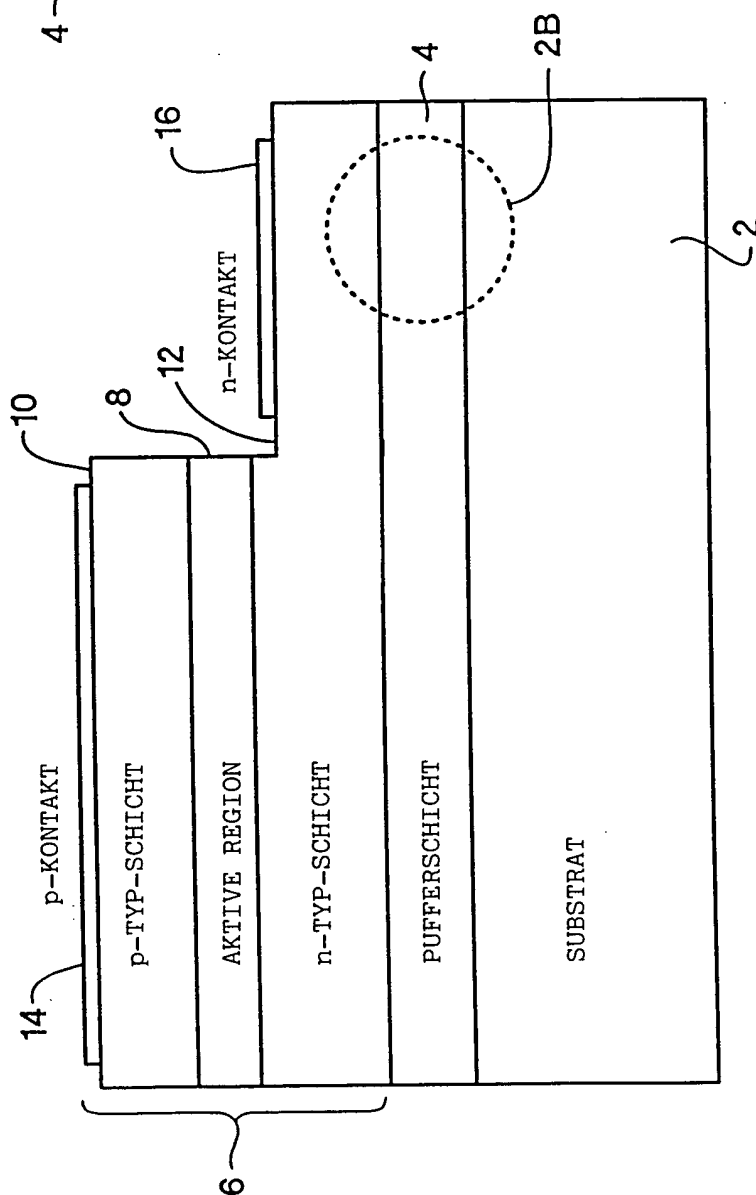


FIG. 2A

TABELLE I: EIGENSCHAFTEN DER NITRIDE UND DES AUSGEWÄHLTEN SUBSTRATS

MATERIAL	GaN	AlN	InN	SAPHIR	6H-SiC
GITTERKONSTANTE (Å)					
a	3,189	3,112	3,548	4,758	3,08
c	5,185	4,982	5,76	12,991	15,12
THERMISCHER AUSDEHNUNGSKOEFFIZIENT ( $K^{-1}$ )					
a	$5,59 \times 10^{-6}$	$4,2 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-6}$	$7,5 \times 10^{-6}$	$4,2 \times 10^{-6}$
c	$3,17 \times 10^{-6}$	$5,3 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$8,5 \times 10^{-6}$	$4,68 \times 10^{-6}$

FIG. 3

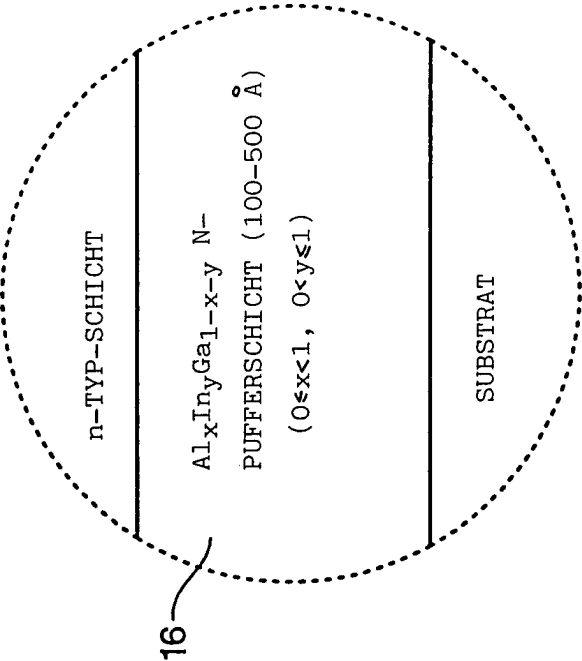


FIG. 4B

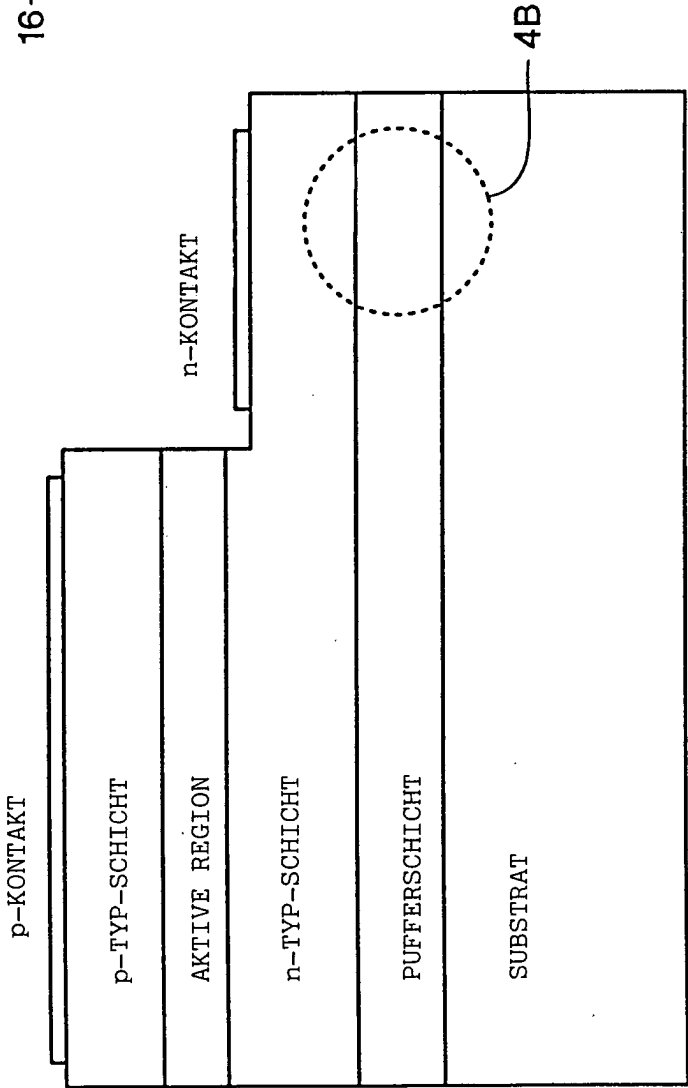


FIG. 4A

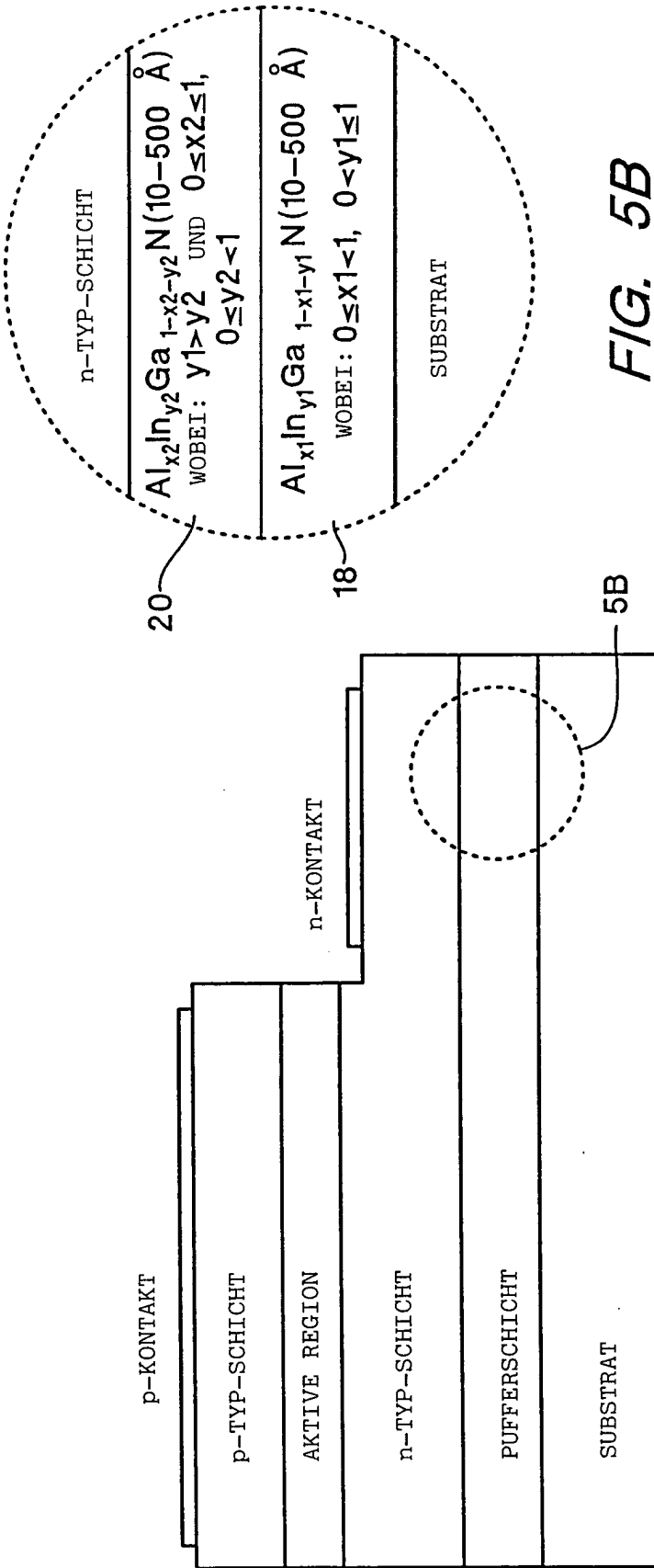


FIG. 5A

FIG. 5B

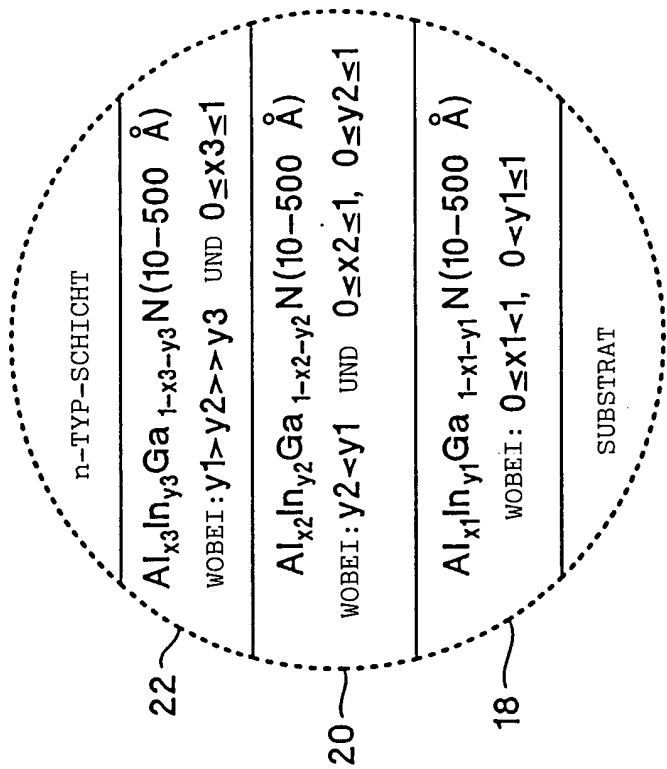


FIG. 6B

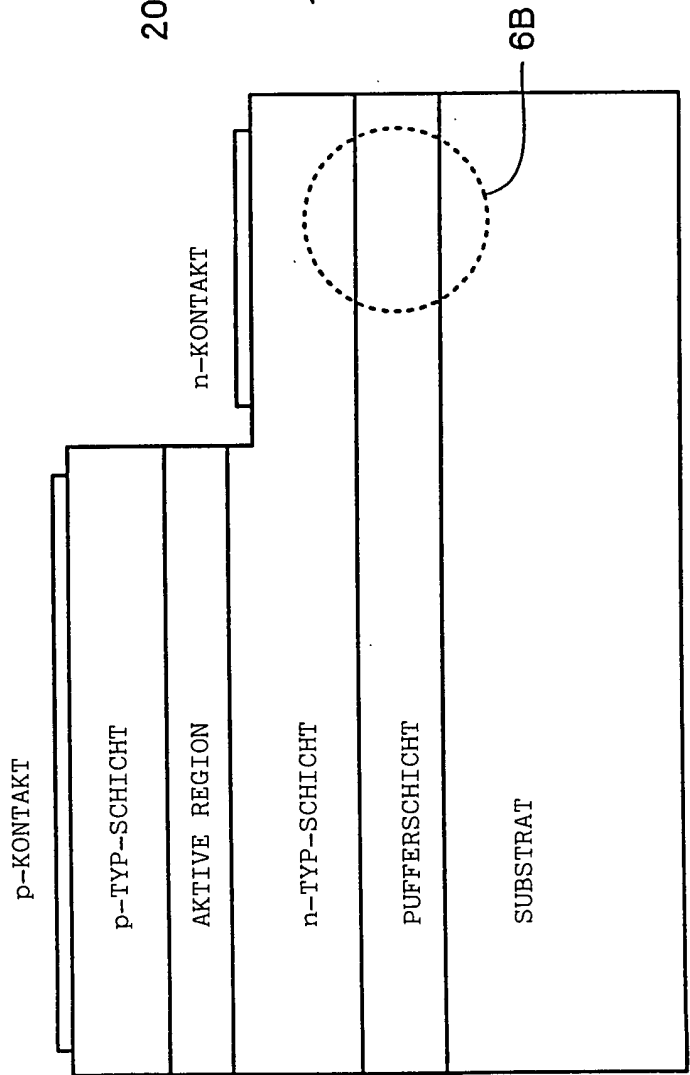


FIG. 6A



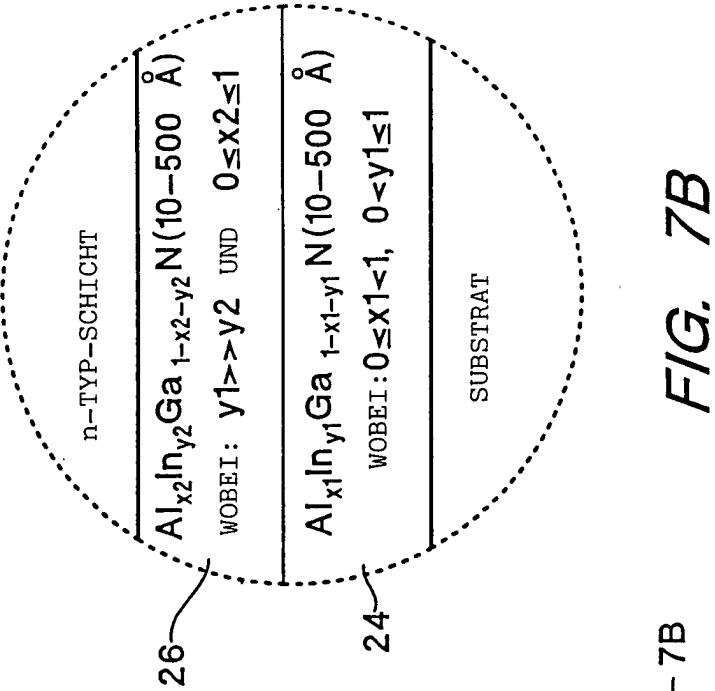


FIG. 7A

FIG. 7B

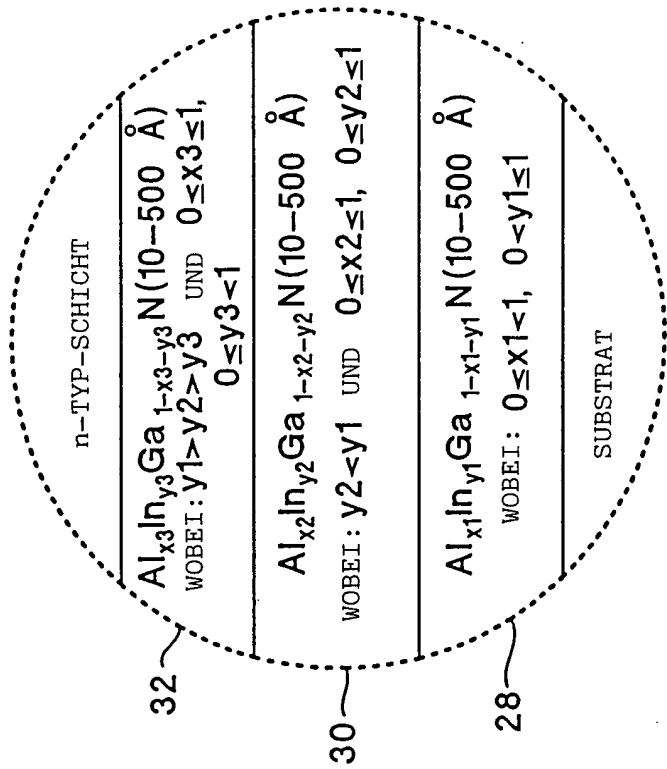


FIG. 8B

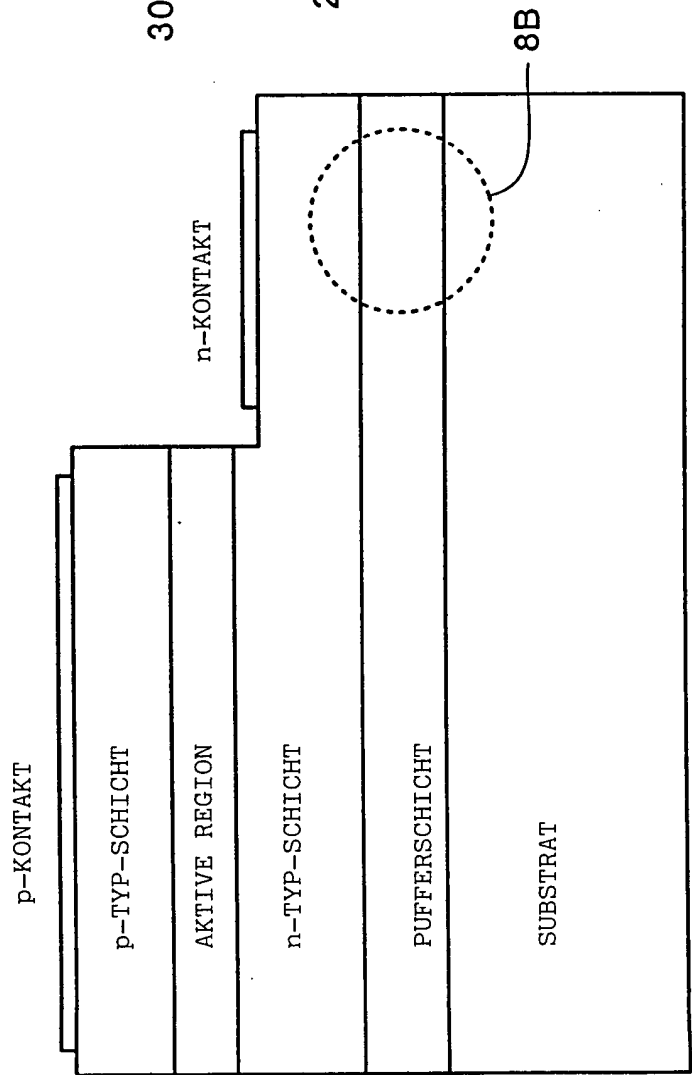


FIG. 8A

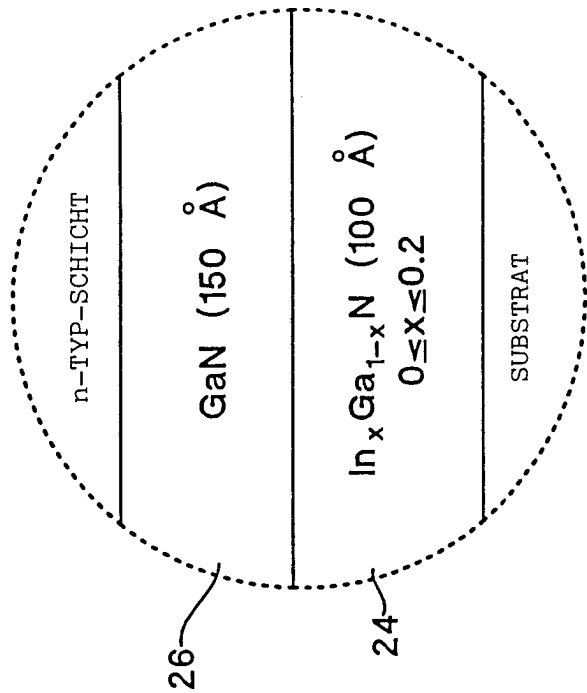


FIG. 9B

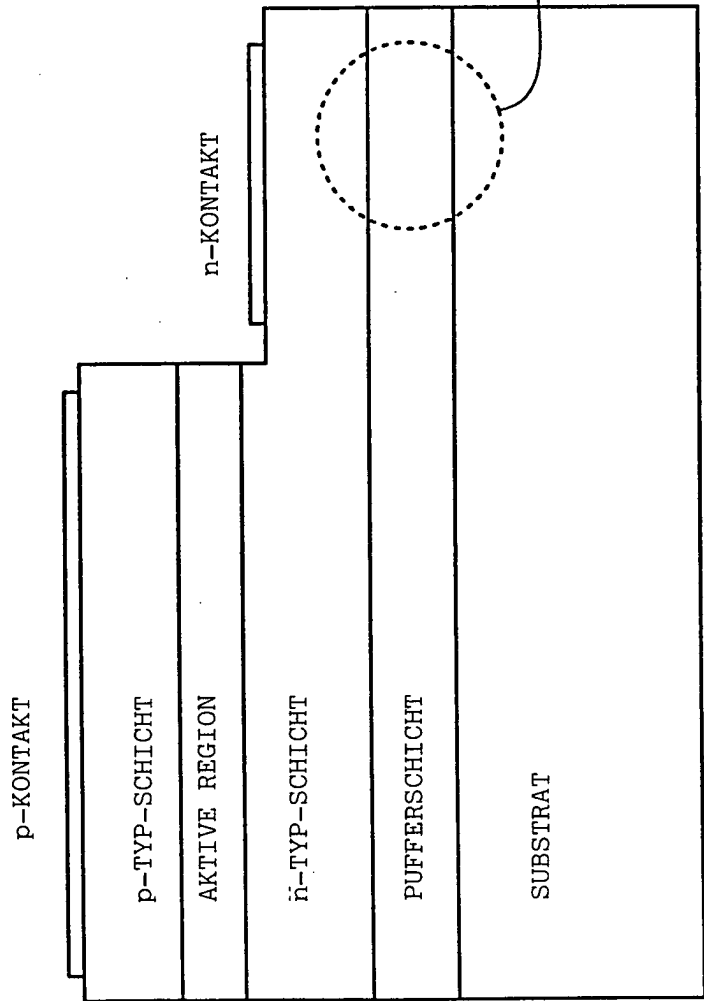


FIG. 9A

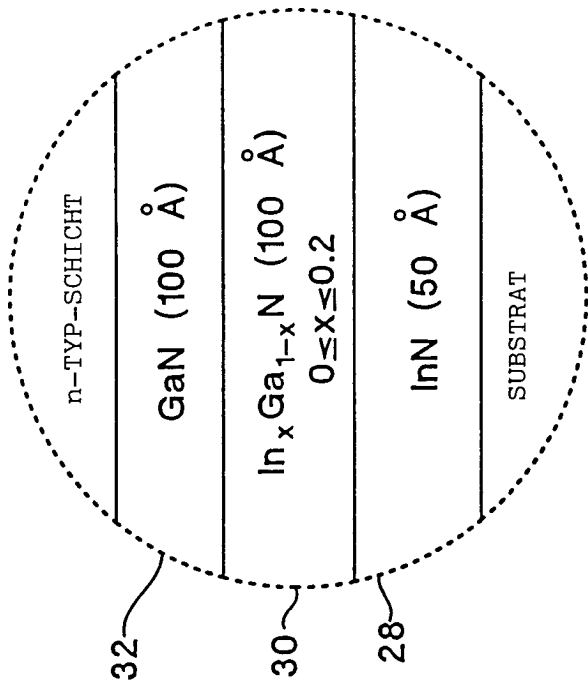


FIG. 10B

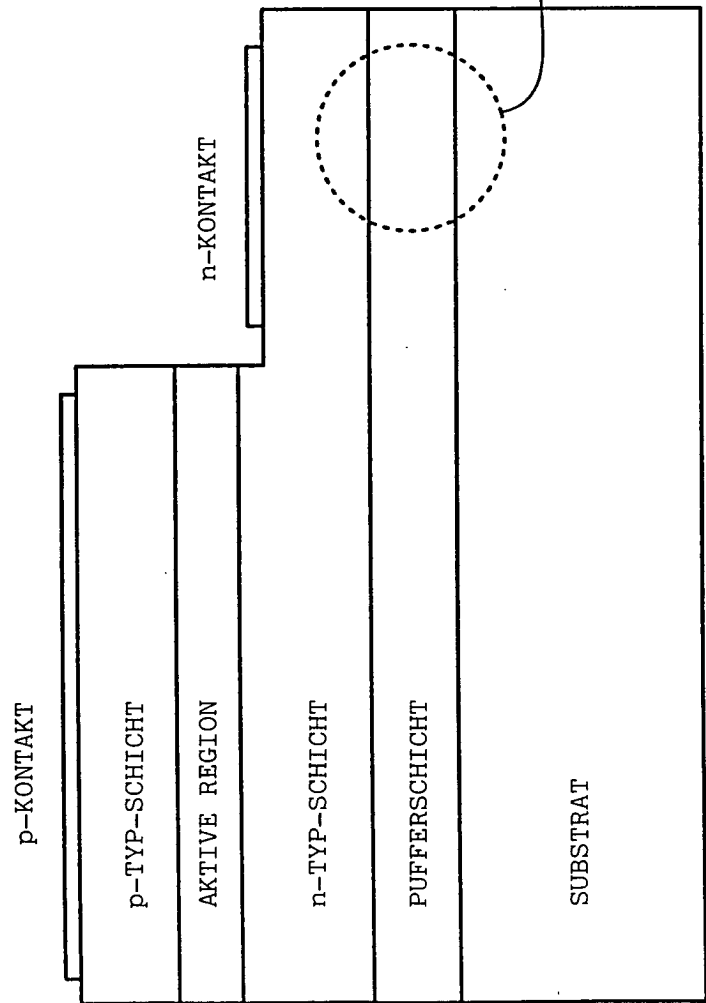


FIG. 10A

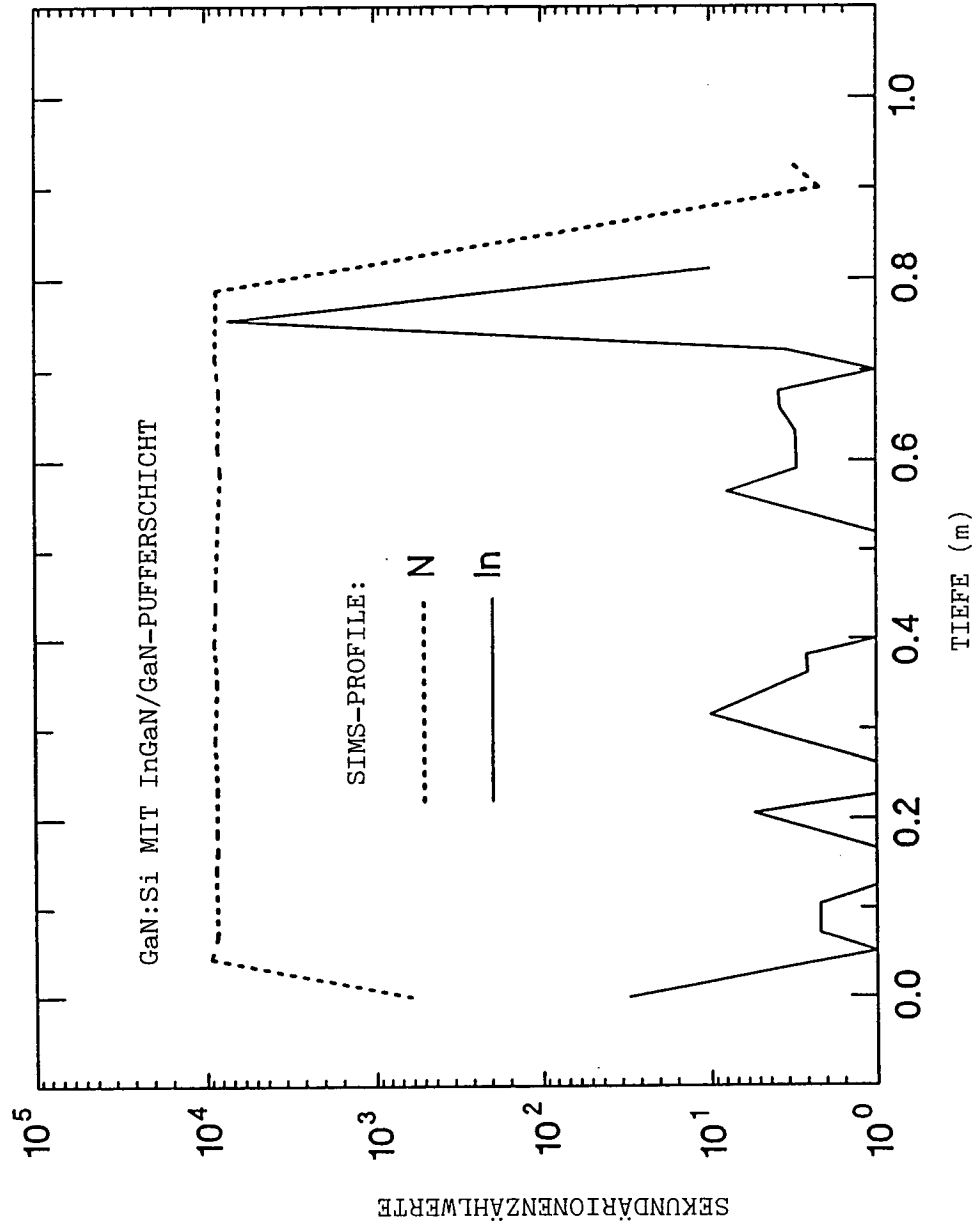


FIG. 11

TABELLE II: VAN-DER-PAUW-HALL-MEßDATEN VON GaN:Si-SCHICHTEN,  
DIE AUF InGaN/GaN- UND GaN-PUFFERSCHICHTEN AUFGEWACHSEN SIND

PUFFERSCHICHT	GaN	InGaN/GaN
DICKE ( $\mu\text{m}$ )	3,18	3,21
TRÄGERKONZENTRATION ( $\text{cm}^{-3}$ )	$2.4 \times 10^{18}$	$2.4 \times 10^{18}$
MOBILITÄT ( $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ )	223	238
RESISTIVITÄT ( $\text{m}\Omega\text{-cm}$ )	11,5	10,6

FIG. 12



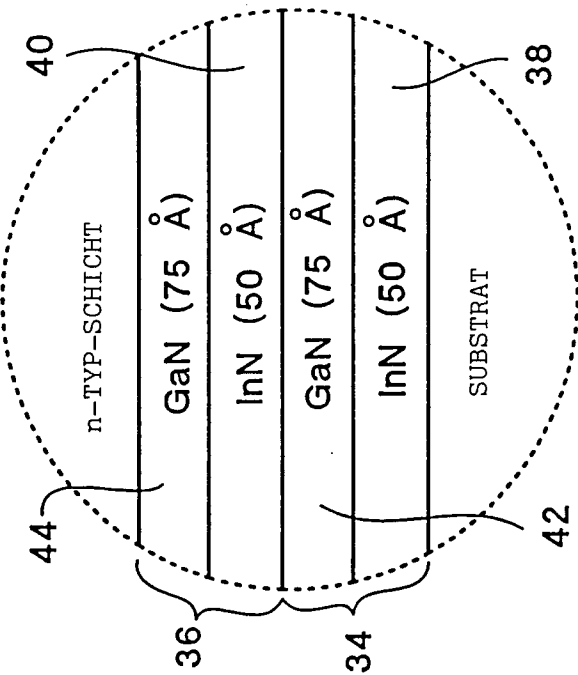


FIG. 13B

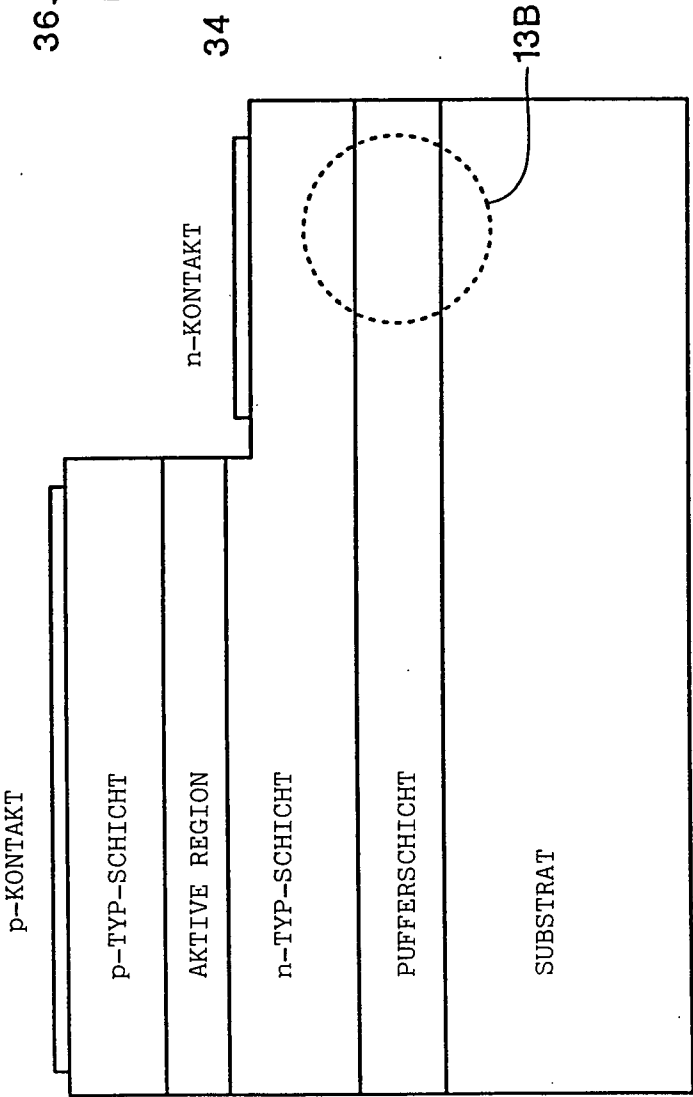
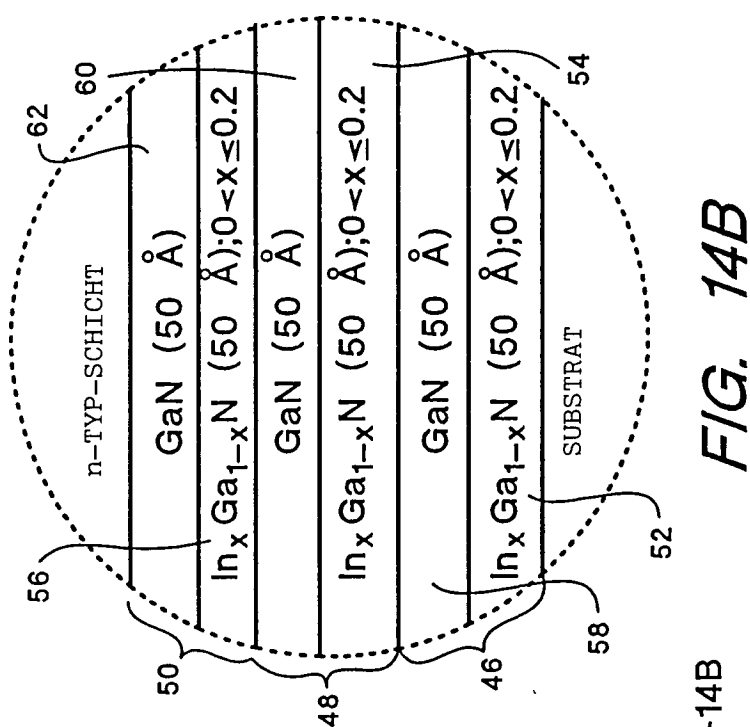
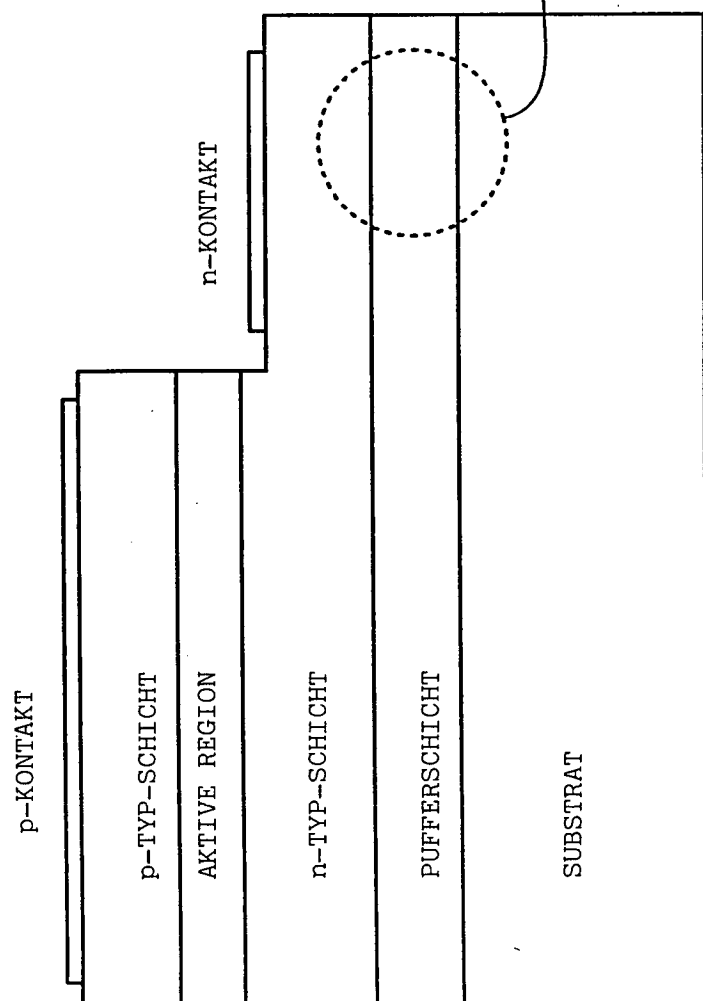


FIG. 13A



**FIG. 14B**

**FIG. 14A**

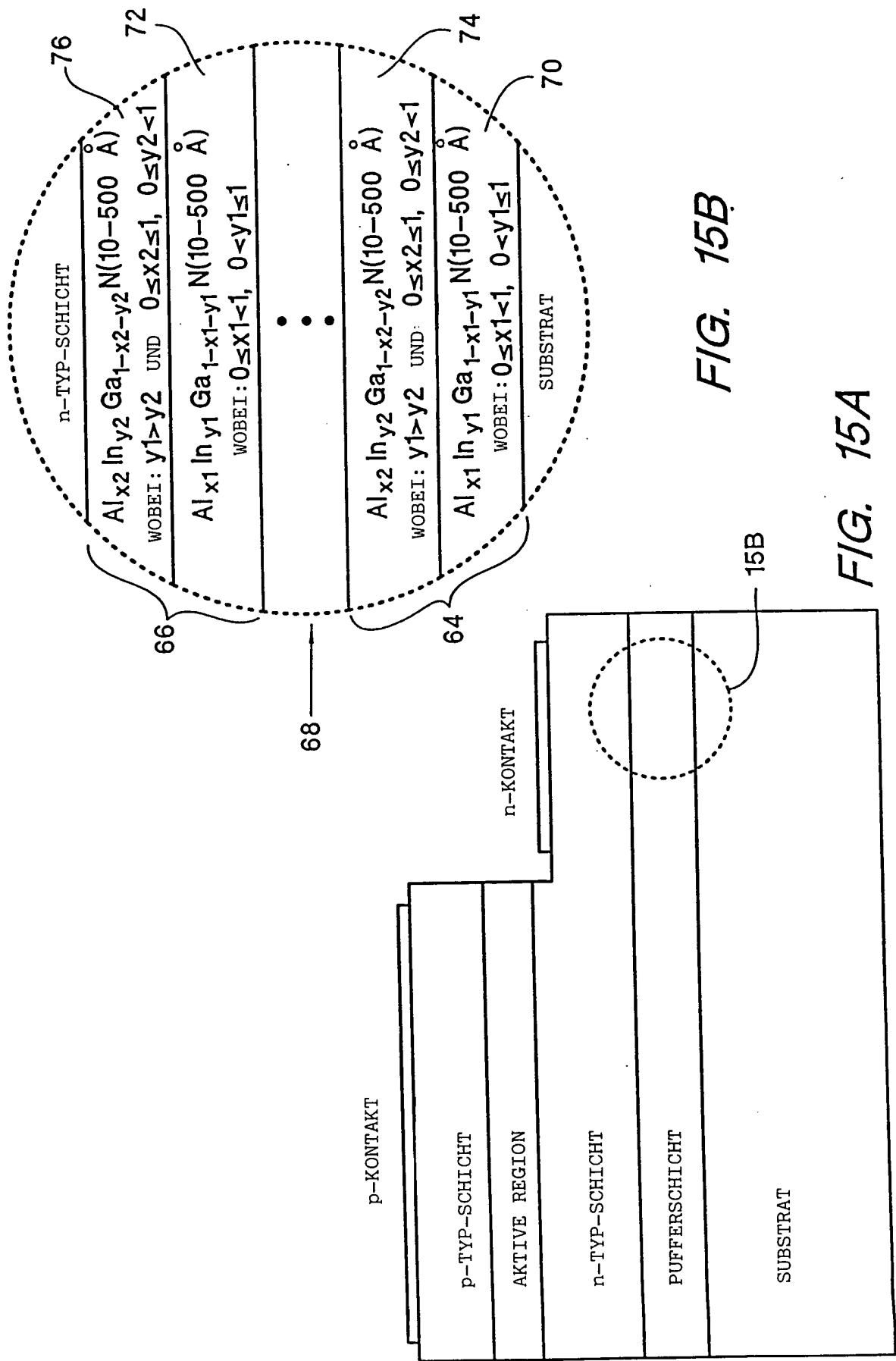


TABELLE III: LICHTAUSGABEVERBESSERUNGEN BEI LEDs, DIE AUF DEN VERSCHIEDENEN MEHRSCICHT-PUFFERSCHICHTZUSAMMENSETZUNGEN, DIE IN FIG. 9,10,14 UND 15 GEZEIGT SIND, AUFGEWACHSEN SIND

PUFFERSCHICHT	Fig. 9	Fig. 10	Fig. 14	Fig. 15
LICHTAUSGABEVERBESSERUNG	20–70%	50–100%	10–30%	0–25%
WELLENLÄNGE (nm)	490	504	503	501

FIG. 16

TABELLE IV: LICHTAUSGABEVERBESSERUNG BEI LEDs, DIE AUF MEHRSCICHT-PUFFERSCICHT-ZUSAMMENSETZUNGEN AUFGEWACHSEN SIND, DIE IN FIG. 9 GEGEBEN SIND, DIE VERSCHIEDENE ZUSAMMENSETZUNGEN VON InN IN DEM InGaN-ANTEIL DER PUFFERSCICHT ENTHALTEN.

InN-MOL-ANTEIL	0.00	0.06	0.12	0.18
LICHTAUSGABEVERBESSERUNG	STANDARD	5%	22%	23%
WELLENLÄNGE (nm)	527	531	518	496

FIG. 17