



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 30 629 A1 2004.01.22**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 30 629.3**
 (22) Anmeldetag: **07.07.2003**
 (43) Offenlegungstag: **22.01.2004**

(51) Int Cl.7: **H01L 33/00**
H01L 21/20

(30) Unionspriorität:
2002-198955 08.07.2002 JP

(71) Anmelder:
Sumitomo Chemical Co., Ltd., Osaka, JP

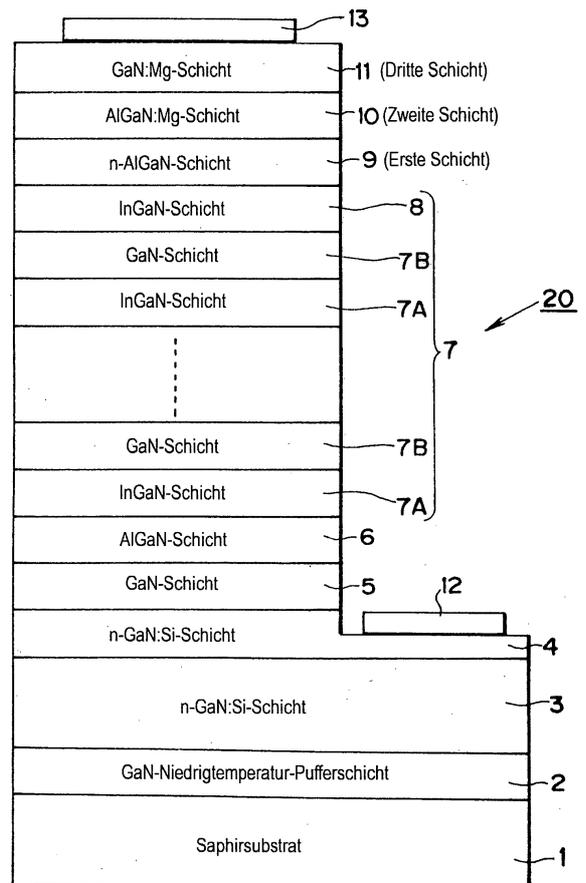
(74) Vertreter:
Vossius & Partner, 81675 München

(72) Erfinder:
Yamanaka, Sadanori, Tsukuba, Ibaraki, JP;
Tsuchida, Yoshihiko, Tsukuba, Ibaraki, JP; Ono,
Yoshinobu, Tsukuba, Ibaraki, JP; Iyechika,
Yasushi, Matsudo, Chiba, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Epitaxiesubstrat für lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein, Verfahren zu seiner Herstellung und lichtemittierender Baustein**

(57) Zusammenfassung: Um die Lichtausbeute zu verbessern, ohne die Schutzfunktion einer lichtemittierenden Schichtstruktur zu beeinträchtigen, wird eine dreischichtige p-leitende Struktur bereitgestellt, die aus ersten bis dritten Schichten besteht und mit einer lichtemittierenden Schichtstruktur in Kontakt steht. Die erste Schicht ist eine als Schutzschicht dienende n-AlGaIn-Schicht, die dritte Schicht ist eine als Kontaktschicht dienende GaN:Mg-Schicht und die zweite Schicht ist eine zwischen diesen Schichten als Zwischenschicht ausgebildete AlGaIn:Mg-Schicht. Durch Bereitstellen der Zwischenschicht kann eine InGaIn-Schicht während des Wachstums der vorstehend erwähnten Schichten zuverlässig vor Wärme geschützt werden, auch wenn die n-AlGaIn-Schicht dünn ausgebildet wird, so daß die GaN:Mg-Schicht in der Nähe der lichtemittierenden Schichtstruktur angeordnet werden kann, wodurch der Wirkungsgrad für Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur und dadurch die Lichtausbeute erhöht wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein, der aus gestapelten Lagen von III-V-Verbundhalbleiter-Dünnschichten des Nitridsystems besteht, ein Verfahren zu seiner Herstellung und einen lichtemittierenden Baustein.

Stand der Technik

[0002] III-V-Verbundhalbleiter, die durch die allgemeine Formel $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$ (wobei $x + y + z = 1$; $0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$; $0 \leq z \leq 1$) dargestellt werden, sind als Materialien für purpur, blaue und grüne Leuchtdioden und blaue und grüne Laserdioden bekannt. Nachstehend werden die in dieser allgemeinen Formel verwendeten Symbole x , y und z manchmal verwendet, um einen InN-Mischkristallanteil, einen GaN-Mischkristallanteil bzw. einen AlN-Mischkristallanteil zu bezeichnen. III-V-Verbundhalbleiter, insbesondere solche, die InN in einem Mischkristallanteil von 10% oder mehr enthalten, sind für Displayanwendungen besonders wichtig, weil ihre Emissionswellenlänge im sichtbaren Bereich durch Einstellen des InN-Mischkristallanteils einstellbar ist.

[0003] Es ist bekannt, daß die physikalischen Eigenschaften von Verbundhalbleitern durch ihre Mischkristallanteile stark beeinflußt werden. Beispielsweise besitzt ein Mischkristall des GaAlN-Systems, der kein In enthält, eine ausgezeichnete Wärmebeständigkeit und kann daher bei einer Temperatur von 1000°C oder mehr aufgewachsen werden, um eine gute Kristallinität zu erhalten. Die Wärmebeständigkeit eines Mischkristalls des InGaAlN-Systems (das In enthält) ist dagegen, obwohl es sich im InN-Mischkristallverhältnis unterscheidet, nicht so gut, so daß dieser Verbundhalbleiter im allgemeinen bei einer relativ niedrigen Temperatur von etwa 800°C aufgewachsen wird. Daher muß die Mischkristall-Wachstumsschicht des InGaAlN-Systems, die eine wichtige Wachstumsschicht der lichtemittierenden Schichtstruktur eines im sichtbaren Bereich lichtemittierenden Bausteins bildet, bei einer niedrigen Temperatur aufgewachsen werden, so daß ihre Wärmebeständigkeit häufig ungeeignet ist.

[0004] Andererseits wird, nachdem die lichtemittierende Schichtstruktur aufgewachsen worden ist, eine p-leitende oder p-Schicht auf dieser Struktur ausgebildet, die bei einer hohen Temperatur aufgewachsen werden muß. Um die thermisch instabile lichtemittierende Schichtstruktur vor dieser hohen Wachstumstemperatur zu schützen, war es herkömmlich üblich, zunächst eine Schutzschicht mit einer hohen Wärmebeständigkeit auf der lichtemittierenden Schichtstruktur auszubilden und dann die p-Schicht bei einer hohen Wachstumstemperatur auf der Schutzschicht aufzuwachsen.

[0005] Diese Schutzschicht ist eine wichtige Schicht, die nicht nur dazu dient, die lichtemittierende

Schichtstruktur zu schützen, sondern auch die Emissionskenngrößen des lichtemittierenden Bausteins stark beeinflußt. Insbesondere ist sie wesentlich an dem Prozeß beteiligt, gemäß dem die Lichtemission durch Rekombination von Löchern, die von der auf der Schutzschicht ausgebildeten p-Schicht effektiv in die lichtemittierende Schichtstruktur injiziert werden, und Elektronen verursacht wird, die von der Unterseite der lichtemittierenden Schichtstruktur in die lichtemittierende Schichtstruktur injiziert werden. Um den Wirkungsgrad für Lochinjektion von der Seite der p-Schicht in die lichtemittierende Schichtstruktur zu erhöhen, ist es bevorzugt, daß die Schutzschicht p-leitend oder n-leitend ist und eine geringe Ladungsträgerdichte aufweist.

[0006] Wenn eine Al enthaltende Schutzschicht bei der gleichen Temperatur aufgewachsen wird, bei der die lichtemittierende Schichtstruktur aufgewachsen wurde, ist die Kristallinität der Schutzschicht nicht gut. Aufgrund des Vorhandenseins vieler Gitterdefekte zeigt sie daher eine hohe n-Leitfähigkeit bei einer normalen Ladungsträgerdichte. Der Wirkungsgrad für Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur nimmt daher ab, so daß es schwierig wird, eine hohe Lichtausbeute zu erhalten.

[0007] Die Wachstumsbedingungen für die Schutzschicht und die p-Schicht müssen daher hinsichtlich der beiden Aspekte zum Verbessern der Schutzzeitungenschaft und zum Beibehalten eines hohen Wirkungsgrads für Lochinjektion optimiert werden. Die Schutzschicht muß die lichtemittierende Schichtstruktur vor Wärme schützen und, während eine hohe Kristallqualität aufrechterhalten wird, die Leitfähigkeit einstellen, um eine effiziente Lochinjektion von der p-Schicht in die lichtemittierende Schichtstruktur zu gewährleisten.

[0008] Es stehen zwei herkömmliche Optimierungsverfahren zur Verfügung: (a) ein Verfahren, gemäß dem zunächst eine Schutzschicht aus AlGaIn ausgebildet wird, anschließend die Schutzschicht auf die Wachstumstemperatur einer p-leitenden GaN-Schicht (Kontaktschicht) erwärmt wird, und schließlich die p-leitende GaN-Schicht aufgewachsen wird; und (b) ein Verfahren, gemäß dem eine Schutzschicht als Al-freie GaN-Schicht ausgebildet wird, die bei einer niedrigen Temperatur aufgewachsen werden kann, wodurch die Kristallinität der Schutzschicht verbessert und die Untergrund-Ladungsträgerdichte niedrig gemacht wird.

[0009] Wenn das Verfahren (a) verwendet wird, muß die Schutzschicht jedoch mindestens in einer vorgegebenen Dicke ausgebildet werden, um eine Degradation der p-leitenden GaN-Schicht (Kontaktschicht) während der Wachstumsphase zu verhindern. Weil aufgrund der erhaltenen größeren Schichtdicke die Grenzfläche des pn-Übergangs von der lichtemittierenden Schichtstruktur getrennt wird, nimmt der Wirkungsgrad für Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur ab. Aufgrund der Tatsache, daß die Funktion der AlGaIn-Schicht als Schutz-

schicht mit abnehmendem Al-Anteil schlechter wird, muß die Dicke der GaN-Schutzschicht im herkömmlichen Verfahren (b) erhöht werden, so daß keine Verbesserung der Lichtausbeute erwartet werden kann.

Aufgabenstellung

[0010] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die vorstehend erwähnten Probleme des Stands der Technik zu eliminieren und ein Epitaxie-substrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein, ein Verfahren zu seiner Herstellung und einen lichtemittierenden Baustein bereitzustellen, in dem diese verwendet werden.

[0011] Es ist eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein, ein Verfahren zu seiner Herstellung und einen lichtemittierenden Baustein bereitzustellen, gemäß denen eine hocheffiziente Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur ermöglicht wird, ohne daß die Funktion der Schutzschicht zum Schützen der lichtemittierenden Schichtstruktur beeinträchtigt wird.

[0012] Diese Aufgaben werden durch die Merkmale der Patentansprüche gelöst.

[0013] Erfindungsgemäß werden die vorstehenden Aufgaben gelöst, indem zwischen der Schutzschicht und der p-leitenden Schicht eine Zwischenschicht eingefügt wird, um eine ausgezeichnete Schutzfunktion auch dann zu gewährleisten, wenn die Schutzschicht dünn ausgebildet wird, und den Wirkungsgrad für Lochinjektion und die Lichtausbeute zu erhöhen, indem die p-Schicht in unmittelbarer Nähe der lichtemittierenden Schichtstruktur ausgebildet wird.

[0014] Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß ein Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein, der eine lichtemittierende doppel-hetero Schichtstruktur aufweist, einen pn-Übergang und eine an der p-Schicht angeordnete Schichtstruktur aufweist, die in Kontakt mit der lichtemittierenden Schichtstruktur ausgebildet ist und ausgehend von der mit der lichtemittierenden Schichtstruktur in Kontakt stehenden Schicht nacheinander aufweist: eine durch $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ ($x + y + z = 1$; $0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$; $0 \leq z \leq 1$) dargestellte n-leitende erste Schicht, eine durch $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{N}$ (wobei $u + v + w = 1$; $0 \leq u \leq 1$; $0 \leq v \leq 1$; $0 \leq w \leq 1$) dargestellte p-leitende zweite Schicht und eine durch $\text{In}_p\text{Al}_q\text{Ga}_r\text{N}$ (wobei $p + q + r = 1$; $0 \leq p \leq 1$; $0 \leq q \leq 1$; $0 \leq r \leq 1$) dargestellte p-leitende dritte Schicht, wobei jede der drei Schichten in Kontakt mit ihrer benachbarten Schicht ausgebildet ist. Vorzugsweise liegt die Dicke d_1 (Å) der ersten Schicht im Bereich von $5 \leq d_1 \leq 200$, und die Dicke d_2 (Å) der zweiten Schicht im Bereich von $5 \leq d_2 \leq 30000$.

[0015] Ein anderes Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß im Verfahren zum Herstellen eines Epitaxiesubstrats für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein eine Wachstumstemperatur T_1 für die erste Schicht und eine Wachstumstemperatur T_2

für die zweite Schicht so ausgewählt werden, daß die Beziehung $T_1 \leq T_2$ erfüllt ist.

[0016] Ein anderes Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß die zweite Schicht so aufgewachsen wird, daß die Beziehung

$$5 \leq d_2 \leq 30000 \quad (900 \leq T_2 \leq 1150) \\ T_2 \geq 0,4d_2 + 700 \quad (700 \leq T_2 < 900)$$

erfüllt ist, wobei T_2 (°C) die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht und d_2 (Å) die Dicke der zweiten Schicht bezeichnen.

[0017] Ein lichtemittierender Baustein mit ausgezeichneten Emissionskenngrößen wird durch Herstellen des lichtemittierenden Bausteins unter Verwendung des auf die vorstehend erwähnte Weise hergestellten Epitaxiesubstrats hergestellt.

[0018] Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß ein Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein, der eine lichtemittierende doppel-hetero Schichtstruktur aufweist, einen pn-Übergang und eine an der Seite der p-Schicht ausgebildete Schichtstruktur aufweist, die in Kontakt mit der lichtemittierenden Schichtstruktur ausgebildet ist und ausgehend von der mit der lichtemittierenden Schichtstruktur in Kontakt stehenden Schicht nacheinander aufweist: eine durch $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ ($x + y + z = 1$; $0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$; $0 \leq z \leq 1$) dargestellte n-leitende erste Schicht, eine durch $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{N}$ (wobei $u + v + w = 1$; $0 \leq u \leq 1$; $0 \leq v \leq 1$; $0 \leq w \leq 1$) dargestellte n-leitende zweite Schicht und eine durch $\text{In}_p\text{Al}_q\text{Ga}_r\text{N}$ (wobei $p + q + r = 1$; $0 \leq p \leq 1$; $0 \leq q \leq 1$; $0 \leq r \leq 1$) dargestellte p-leitende dritte Schicht, wobei jede der drei Schichten in Kontakt mit ihrer benachbarten Schicht ausgebildet ist.

[0019] Hierbei ist bevorzugt, daß die p-Dotierdichte der zweiten Schicht nicht kleiner ist als $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und nicht größer als $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, und die n-Ladungsträgerdichte der zweiten Schicht nicht größer ist als $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

[0020] Außerdem ist es bevorzugt, daß die Dicke d_1 (Å) der ersten Schicht im Bereich von $5 \leq d_1 \leq 200$ liegt und die Dicke d_2 (Å) der zweiten Schicht im Bereich von $5 \leq d_2 \leq 500$ liegt.

[0021] Ein anderes Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß die Wachstumstemperatur T_1 der ersten Schicht und die Wachstumstemperatur T_2 der zweiten Schicht so eingestellt werden, daß die Beziehung $T_1 \leq T_2$ erfüllt ist. Hierbei ist bevorzugt, daß die zweite Schicht so aufgewachsen wird, daß die Beziehungen:

$$T_2 \geq 0,4d_2 + 700 \quad (5 \leq d_2 \leq 500) \\ 1150 \geq T_2 \geq 700$$

erfüllt sind, wobei T_2 (°C) die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht und d_2 (Å) die Dicke der zweiten Schicht bezeichnen.

Ausführungsbeispiel

[0022] Die Erfindung und weitere Aufgaben und Vorteile der Erfindung werden anhand der nachstehenden ausführlichen Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen verdeutlicht; es zeigen:

[0023] **Fig. 1** ein Strukturdiagramm zum Darstellen einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0024] **Fig. 2** eine Tabelle zum Darstellen von Daten, die mit ersten bis achten Arbeitsbeispielen der vorliegenden Erfindung und ersten bis dritten Vergleichsbeispielen in Beziehung stehen;

[0025] **Fig. 3** einen Graphen, der unter Verwendung von Daten von **Fig. 2** erzeugt wurde, um darzustellen, wie die Lichtstärke sich als Funktion der Dicke der zweiten Schicht und der Wachstumstemperatur in einem gemäß **Fig. 1** konstruierten lichtemittierenden Baustein ändert; und

[0026] **Fig. 4** eine Tabelle zum Darstellen von Daten, die mit neunten bis sechzehnten Arbeitsbeispielen der vorliegenden Erfindung in Beziehung stehen.

[0027] **Fig. 1** zeigt die Schichtstruktur einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen lichtemittierenden Bausteins. Der in **Fig. 1** dargestellte lichtemittierende Baustein wurde unter Verwendung eines Epitaxiesubstrats für einen erfindungsgemäßen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein hergestellt.

[0028] Zunächst wird die Schichtstruktur des lichtemittierenden Bausteins **20** beschrieben. Die Struktur weist eine Niedrigtemperatur-GaN-Pufferschicht **2**, eine n-GaN:Si-Schicht **3**, eine n-GaN:Si-Schicht **4** und eine GaN-Schicht **5** auf, die durch Epitaxie unter Verwendung eines metallorganischen Gasphasenepitaxie-(MOVPE, Metalorganic Vapor Phase Epitaxy) Verfahrens nacheinander auf einem Saphirsubstrat **1** ausgebildet werden. Eine AlGaIn-Schicht **6** ist auf der GaN-Schicht **5** ausgebildet, und eine lichtemittierende Schichtstruktur **7** ist auf der AlGaIn-Schicht **6** ausgebildet. Die AlGaIn-Schicht **6** und die lichtemittierende Schichtstruktur **7** werden durch ein MOVPE-Verfahren nacheinander ausgebildet.

[0029] Die Erfindung ist nicht auf die Verwendung eines Saphirsubstrats beschränkt, wie in dieser Ausführungsform. Es können auch verschiedenartige andere Substrate verwendet werden, z.B. ein SiC-Substrat, ein GaN-Substrat, dessen Versetzungsdichte durch eingebettetes Wachstum reduziert ist, ein GaN auf Si-Substrat, ein freitragendes GaN-Substrat, ein AlN-Substrat und ähnliche. Außerdem muß die Pufferschicht nicht notwendigerweise aus einer Niedrigtemperatur-GaN-Schicht ausgebildet werden, sondern kann stattdessen aus einem beliebigen anderen Material hergestellt werden, z.B. aus Niedrigtemperatur-AlN, Niedrigtemperatur-AlGaIn, Niedrigtemperatur-InGaIn und ähnlichen.

[0030] Die lichtemittierende Schichtstruktur **7**, die eine doppelhetero Struktur mit einem pn-Übergang ist, besteht aus einer mehrschichtigen Quantum-Well-Struktur, die aus InGaIn-Schichten **7A** und

GaN-Schichten **7B**, die in vier Sätzen alternierend ausgebildet werden, und einer auf dem obersten Satz ausgebildeten InGaIn-Schicht **8** besteht. Die Wachstumstemperatur der InGaIn-Schicht **8** beträgt 780°C. Eine an der Seite der p-Schicht ausgebildete dreischichtige p-leitende Struktur, die aus einer ersten, einer zweiten und einer dritten Schicht besteht, wird auf und in Kontakt mit der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** ausgebildet. In dieser Ausführungsform besteht die an der Seite der p-Schicht angeordnete Struktur, die in Kontakt mit der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** ausgebildet ist, ausgehend von der mit der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** in Kontakt stehenden Schicht nacheinander aus einer n-AlGaIn-Schicht (ersten Schicht) **9**, einer AlGaIn:Mg-Schicht (zweiten Schicht) **10** und einer GaN:Mg-Schicht (dritten Schicht) **11**. Diese drei Schichten werden jeweils in Kontakt mit ihrer benachbarten Schicht ausgebildet.

[0031] Die erste Schicht, d.h., die n-AlGaIn-Schicht **9**, wird durch Kristallwachstum unter Verwendung des MOVPE-Verfahrens bei der gleichen Temperatur (780°C) ausgebildet, die für die InGaIn-Schicht **8** verwendet wird. Die zweite Schicht, d.h. die AlGaIn:Mg-Schicht **10**, wird durch Kristallwachstum unter Verwendung des MOVPE-Verfahrens bei einer Temperatur von 1000°C ausgebildet, die höher ist als die zum Ausbilden der n-AlGaIn-Schicht **9** verwendete Temperatur. Die dritte Schicht, d.h. die GaN:Mg-Schicht **11**, wird durch Kristallwachstum unter Verwendung des MOVPE-Verfahrens bei einer Temperatur von 1040°C ausgebildet, die höher ist als die zum Ausbilden der AlGaIn:Mg-Schicht **10** verwendete Temperatur.

[0032] In dieser Ausführungsform sind die AlGaIn:Mg-Schicht (zweite Schicht) **10** und die GaN:Mg-Schicht (dritte Schicht) **11** niederohmige p-leitende Schichten. Eine ohmsche n-Elektrode **12** wird auf der n-GaN:Si-Schicht **4** ausgebildet, und eine ohmsche p-Elektrode **13** wird auf der GaN:Mg-Schicht **11** ausgebildet.

[0033] Bei der Herstellung des lichtemittierenden Bausteins **20** mit der vorstehend erwähnten Schichtstruktur wird zunächst ein Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein hergestellt, indem die vorstehend beschriebene Schichtstruktur auf dem Saphirsubstrat **1** und anschließend der lichtemittierende Baustein **20** unter Verwendung dieses Epitaxiesubstrats in der in **Fig. 1** dargestellten Struktur ausgebildet wird.

[0034] In der an der Seite der p-Schicht angeordneten dreischichtigen p-leitenden Struktur, die in Kontakt mit der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** ausgebildet ist, dient die n-AlGaIn-Schicht (erste Schicht) **9** als Schutzschicht und die GaN:Mg-Schicht (dritte Schicht) **11** als Kontaktschicht, und die AlGaIn:Mg-Schicht (zweite Schicht) **10** ist als Zwischenschicht zwischen diesen beiden Schichten angeordnet. Aufgrund der Bereitstellung dieser Zwischenschicht kann die InGaIn-Schicht **8** während des

Wachstums der vorstehend erwähnten Schichten auch dann zuverlässig vor Wärme geschützt werden, wenn die n-AlGaIn-Schicht **9** dünn ausgebildet ist. Weil die GaN:Mg-Schicht **11** dadurch in unmittelbarer Nähe der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** angeordnet werden kann, um eine effizientere Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur **7** zu ermöglichen, kann die Lichtausbeute des lichtemittierenden Bausteins **20** erhöht werden.

[0035] Obwohl die AlGaIn:Mg-Schicht (zweite Schicht) **10** in der Ausführungsform von **Fig. 1** p-leitend ist, ist ihr Leitfähigkeitstyp nicht darauf beschränkt, sondern sie kann stattdessen auch n-leitend sein. Die zweite Schicht kann als n-Verbundhalbleiter ausgebildet werden, indem die Wachstumsbedingungen geändert werden. Auch wenn die zweite Schicht anstatt als p-AlGaIn:Mg-Schicht **10** als n-GaN:Mg-Schicht ausgebildet ist, können die In-GaN-Schichten **7A** und **8** während des Wachstums der darüberliegenden Schichten noch immer effektiv vor Wärme geschützt werden, und der Wirkungsgrad für Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur **7** kann wie in der ersten Ausführungsform erhöht werden, um die Lichtausbeute zu erhöhen.

[0036] Nachstehend werden die ersten bis dritten Schichten, die die an der Seite der p-Schicht angeordnete Schichtstruktur bilden, allgemein beschrieben.

[0037] Wenn die erste Schicht an der Seite der p-Schicht der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** ausgebildet wird, sollte sie hinsichtlich ihrer Grundfunktion vorzugsweise p- oder mit geringer Ladungsträgerdichte n-leitend sein, um die Lichtausbeute zu erhöhen. Die Wachstumstemperatur der ersten Schicht wird jedoch normalerweise auf eine relativ niedrige Temperatur (in dieser Ausführungsform auf 780°C) eingestellt, die derjenigen der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** gleicht, um zu erreichen, daß die Kristallinität der lichtemittierenden Schichtstruktur **7**, die In enthält und eine geringe Temperaturbeständigkeit aufweist, nicht abnimmt. Sie ist daher aufgrund des Vorhandenseins von n-Ladungsträgern, die vermutlich durch Kristalldefekte bereitgestellt werden, n-leitend, auch wenn sie undotiert ist. Aufgrund der niedrigen Wachstumstemperatur ist es in der Praxis sehr schwierig, aus der n-leitenden AlGaIn-Schicht **9** unter Verwendung eines p-Dotiermittels zum Kompensieren der n-Ladung eine n-Schicht mit niedriger Ladungsträgerdichte oder eine p-Schicht herzustellen.

[0038] Außerdem verbleibt das p-Dotiermittel tendenziell im Reaktionsofen. Daher kann es eine größere nachteilige Wirkung auf die Qualität der in einer späteren Wachstumsstufe ausgebildeten lichtemittierenden Schichtstruktur haben als auf das Schichtwachstum zu dem Zeitpunkt, an dem es verwendet wird. Dies ist als Memory-Effekt bekannt. Eine effektive Maßnahme zum Eliminieren dieses Problems besteht darin, einen Reaktionsofen zu verwenden, der so konstruiert ist, daß der Memory-Effekt für p-Dotier-

mittel minimiert wird. Eine andere Maßnahme besteht darin, getrennte Reaktionsöfen für das Kristallwachstum unter Verwendung eines p-Dotiermittels und für das Kristallwachstum ohne Verwendung eines p-Dotiermittels zu verwenden, insbesondere für das Wachstum während der Herstellung der lichtemittierenden Schichtstruktur. Die n-AlGaIn-Schicht (erste Schicht) **9** ist eine Schutzschicht, die unmittelbar nach der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** ausgebildet wird und daher vorzugsweise in einem Ofen erzeugt werden sollte, in dem kein p-Dotiermittel verwendet wird. Aus dem vorstehend erwähnten Grund wird die erste Schicht tendenziell n-leitend, wenn kein p-Dotiermittel verwendet wird. In dieser Ausführungsform wird daher eine n-leitende erste Schicht, d.h. die n-AlGaIn-Schicht **9** verwendet. Anhand der vorstehenden Beschreibung ist jedoch klar, daß stattdessen eine p-leitende erste Schicht verwendet werden könnte, die unter geeigneten Kristallwachstumsbedingungen hergestellt wird.

[0039] Ein bevorzugter Bereich des Al-Anteils der ersten Schicht wird unter Berücksichtigung der Tatsache definiert, daß durch einen übermäßigen Al-Anteil die Oberflächenflachheit und andere Kristalleigenschaften beeinträchtigt werden, während durch einen unzureichenden Al-Anteil die Schutzfunktion beeinträchtigt wird, so daß die Schichtdicke erhöht werden muß, wodurch die Lichtausbeute abnimmt. Hinsichtlich dieser Faktoren liegt der Al-Anteil vorzugsweise etwa im Bereich von 0–0,5. Der bevorzugte Bereich des Al-Anteils ist von der Dicke der ersten Schicht und der Wachstumstemperatur der zweiten Schicht abhängig. Der Al-Anteil muß mit abnehmender Dicke der ersten Schicht und zunehmender Wachstumstemperatur der zweiten Schicht proportional erhöht werden, um die Schutzfunktion zu verbessern.

[0040] Der bevorzugte Dickenbereich der ersten Schicht wird unter Berücksichtigung der Tatsache festgelegt, daß, wenn sie zu groß ist, die Kristallinität der Schicht schlechter ist und der Wirkungsgrad für Lochinjektion abnimmt, wodurch die Lichtausbeute abnimmt, während, wenn sie zu klein ist, die Schutzfunktion abnimmt, was zu einer Degradation der lichtemittierenden Schichtstruktur führt. Hinsichtlich dieser Faktoren liegt die Dicke der ersten Schicht vorzugsweise etwa im Bereich von 5 Å–200 Å. Der bevorzugte Schichtdickenbereich ist vom Al-Anteil der ersten Schicht und der Wachstumstemperatur der zweiten Schicht abhängig. Die Dicke der ersten Schicht muß mit abnehmendem Al-Anteil der ersten Schicht proportional erhöht werden, um eine geeignete Schutzfunktion zu erzielen. Die Dicke der zweiten Schicht muß mit steigender Wachstumstemperatur der zweiten Schicht proportional erhöht werden, um eine Degradation der lichtemittierenden Schichtstruktur bei hohen Temperaturen zu verhindern.

[0041] Nachstehend wird die zweite Schicht erläutert. Hinsichtlich einer Verbesserung der Lichtemissionskenngrößen durch eine effektive Ladungsträger-

reingrenzung wird der Al-Anteil der zweiten Schicht vorzugsweise so hoch eingestellt, daß die Potentialbarriere bezüglich der lichtemittierenden Schichtstruktur im Leitungsband erhöht wird. Durch einen übermäßigen Al-Anteil der zweiten Schicht nimmt jedoch die Kristallinität ab, so daß es schwierig ist, die p-Leitfähigkeit oder die n-Leitfähigkeit mit geringer Ladungsträgerdichte zu realisieren, wodurch der Wirkungsgrad für Lochinjektion vermindert wird. Der Al-Anteil der zweiten Schicht liegt daher vorzugsweise innerhalb eines bestimmten Bereichs. Insbesondere liegt der Al-Anteil der zweiten Schicht vorzugsweise etwa innerhalb des Bereichs 0,001–0,3. Der bevorzugte Bereich des Al-Anteils hängt von der Wachstumstemperatur, der Durchflußrate bzw. dem Durchsatz des p-Dotiermittels und der Schichtdicke ab. Die Tendenz zur n-Leitfähigkeit nimmt aufgrund von Kristalldefekten zu, wodurch der Wirkungsgrad für Lochinjektion mit abnehmender Wachstumstemperatur proportional abnimmt. Um eine Verschlechterung oder Degradation durch diesen Mechanismus zu vermeiden, muß der Al-Anteil vermindert werden, um eine geeignete Kristallinität aufrechtzuerhalten. Die Tendenz zur n-Leitfähigkeit nimmt außerdem mit abnehmender Durchflußrate des p-Dotiermittels proportional zu, wodurch der Wirkungsgrad für Lochinjektion abnimmt. Um eine derartige Verschlechterung oder Degradation durch diesen Mechanismus zu vermeiden, muß der Al-Anteil reduziert werden, um die Tendenz zur n-Leitfähigkeit zu unterdrücken. Außerdem wird eine Abnahme der Kristallinität aufgrund einer höheren Belastung, die durch Gitterfehlpassungen erzeugt wird, mit zunehmender Schichtdicke tendenziell ausgeprägter. Der Al-Anteil muß klein gemacht werden, um dies zu verhindern.

[0042] Nachstehend wird die Dicke der zweiten Schicht betrachtet. Die zweite Schicht ist die zweite Schicht der an der Seite der p-Schicht der lichtemittierenden Schichtstruktur 7 angeordneten dreischichtigen p-leitenden Struktur. Wie vorstehend beschrieben wurde, kann die zweite Schicht entweder p- oder n-leitend sein. Die Dicke der zweiten Schicht wird daher für die Fälle einer p- und einer n-Leitfähigkeit getrennt beschrieben.

[0043] Wenn eine n-leitende zweite Schicht zu dick ist, nimmt die Kristallqualität tendenziell ab, und der Wirkungsgrad für Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur 7 kann abnehmen, wodurch die Lichtausbeute abnimmt. Grundsätzlich ist eine kleinere Schichtdicke besser und liegt die Dicke innerhalb eines vorgegebenen Bereichs. Wenn eine p-leitende zweite Schicht zu dick ist, nimmt die Kristallqualität ab. Die Dicke liegt daher innerhalb eines bestimmten Bereichs. Die Wirkung auf die Lichtausbeute ist im Fall einer p-leitenden Schicht jedoch nicht so ausgeprägt wie im Fall einer n-leitenden Schicht, so daß der bevorzugte Dickenbereich größer ist. Die Dicke d_2 einer n-leitenden Schicht liegt vorzugsweise etwa im Bereich von 5 Å–500 Å. Die Dicke d_2 einer p-leitenden Schicht liegt vorzugsweise etwa im Be-

reich von 5 Å–30000 Å. Weil es schwierig ist, die zweite Schicht während der Fertigung zu reproduzieren, wenn die Dicke d_2 zu klein ist, ist vermutlich eine Mindestdicke von etwa 5 Å erforderlich. Der obere Grenzwert der Dicke kann im Fall einer n-leitenden zweiten Schicht experimentell als die größte Dicke bestimmt werden, durch die die Lichtintensität aufgrund einer Verminderung des Wirkungsgrads für Lochinjektion nicht wesentlich abnimmt. Der obere Grenzwert der Dicke im Fall einer p-leitenden zweiten Schicht wird als die größte Dicke bestimmt, bei der weder die Kristallqualität noch die Produktivität abnimmt.

[0044] Der bevorzugte Dickenbereich der zweiten Schicht ist von der Wachstumstemperatur, dem Al-Anteil und der Durchflußrate des p-Dotiermittels der zweiten Schicht abhängig. Im Fall einer n-leitenden Schicht nimmt die n-Ladungsträgerdichte mit abnehmender Wachstumstemperatur, abnehmender Durchflußrate des p-Dotiermittels und zunehmendem Al-Anteil proportional zu. Durch eine Zunahme der Ladungsträgerdichte nimmt der Wirkungsgrad für Lochinjektion in die lichtemittierende Schichtstruktur ab, wodurch die Lichtausbeute abnehmen kann. Dies muß verhindert werden, indem die Schichtdicke klein gemacht wird. Wenn die Dicke d_2 und die Wachstumstemperatur T_2 der zweiten Schicht auf der x- bzw. der y-Achse dargestellt werden, können die bevorzugten Bereiche der Dicke und der Wachstumstemperatur einer n-leitenden zweiten Schicht definiert werden durch:

$$\begin{aligned} 5 \leq d_2 \leq 500 \\ T_2 \geq 0,4d_2 + 700 \\ 1150 \geq T_2 \geq 700. \end{aligned}$$

[0045] Im Fall einer p-leitenden zweiten Schicht kann die Kristallqualität mit abnehmender Wachstumstemperatur und zunehmendem Al-Anteil proportional abnehmen. Die Schichtdicke muß daher klein gemacht werden, um eine Abnahme der Lichtausbeute zu verhindern. Wenn die Dicke d_2 und die Wachstumstemperatur T_2 der zweiten Schicht auf der x- bzw. der y-Achse dargestellt werden, können die bevorzugten Bereiche der Dicke und der Wachstumstemperatur einer p-leitenden zweiten Schicht definiert werden durch:

$$\begin{aligned} 0,4d_2 + 700 \leq T_2 \leq 1150 \quad (5 \leq d_2 \leq 500) \\ 900 \leq T_2 \leq 1150 \quad (5 \leq d_2 \leq 30000). \end{aligned}$$

[0046] Bevorzugtere Bereiche der Dicke und der Wachstumstemperatur einer p-leitenden zweiten Schicht sind:

$$\begin{aligned} 0,4d_2 + 700 \leq T_2 \leq 1100 \quad (5 \leq d_2 \leq 500) \\ 900 \leq T_2 \leq 1100 \quad (5 \leq d_2 \leq 30000). \end{aligned}$$

[0047] Nachstehend werden die Steuerung oder Einstellung der Leitfähigkeit, die Ladungsträgerdichte

und die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht erläutert. Aus dem gleichen Grund wie bei der Erläuterung der Dicke der zweiten Schicht werden die Einstellung der Leitfähigkeit, die Trägerdichte und die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht, falls erforderlich, für die Fälle einer n- und einer p-leitenden zweiten Schicht getrennt erläutert.

[0048] Wie vorstehend aufgezeigt wurde, kann die zweite Schicht p- oder n-leitend sein. Wenn die zweite Schicht p-leitend ist, existiert kein bevorzugter Bereich der Ladungsträgerdichte, so daß ein beliebiger Wert innerhalb eines technisch handhabbaren Bereichs verwendbar ist. Dieser Bereich erstreckt sich von etwa $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ bis etwa $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Wenn die zweite Schicht n-leitend ist, wird die Ladungsträgerdichte vorzugsweise so klein wie möglich gemacht, um zu verhindern, daß der Wirkungsgrad für Lochinjektion abnimmt. Der Ladungsträgerdichtebereich beträgt daher vorzugsweise etwa $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ bis $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und bevorzugter $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ bis $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

[0049] Die Ladungsträgerdichte kann durch Steuern der Wachstumstemperatur, des II/III-Verhältnisses (Zufuhrverhältnis des p-Dotiermittels zum Gruppe-III-Quellenmaterial; der Durchflußrate des p-Dotiermittels, wenn die Zufuhr des Quellenmaterials der Gruppe III konstant ist) und des V/III-Verhältnisses (Verhältnis des Gruppe-V-Quellenmaterials zum Gruppe-III-Quellenmaterial) eingestellt werden.

[0050] Unabhängig davon, ob die zweite Schicht p- oder n-leitend ist, wird die Einstellung der Ladungsträgerdichte einfacher, wenn die Kristallqualität mit zunehmender Wachstumstemperatur erhöht wird. Insbesondere im Fall einer n-leitenden zweiten Schicht nimmt die für die Einstellung der Leitfähigkeit erforderliche Durchflußrate des p-Dotiermittels mit zunehmender Wachstumstemperatur ab.

[0051] Die bevorzugten Bereiche des II/III-Verhältnisses und des V/III-Verhältnisses ändern sich mit der Konfiguration, der Größe, dem Quellengasströmungsmuster, der Wachstumstemperatur, dem Druck und anderen Bedingungen des Reaktionsofens so erheblich, daß es sinnlos ist allgemeine numerische Grenzwerte festzulegen. Allgemeine erweitert sich der bevorzugte Bereich des II/III-Verhältnisses mit zunehmender Wachstumstemperatur zu kleineren Werten hin.

[0052] Nachstehend wird die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht ausführlich betrachtet. Die Wahl einer Wachstumstemperatur für die zweite Schicht, die näher an der Wachstumstemperatur der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** liegt, ist hinsichtlich der Beibehaltung der Schutzfunktion der n-Al-GaN-Schicht (ersten Schicht) **9** und der Vermeidung einer Beschädigung oder Beeinträchtigung der lichtemittierenden Schichtstruktur **7** besser. Andererseits ist jedoch eine hohe Wachstumstemperatur hinsichtlich einer Verbesserung der Kristallqualität der zweiten Schicht und der Einstellung der Leitfähigkeit besser. Die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht

liegt daher vorzugsweise innerhalb eines bestimmten Bereichs. Der bevorzugte Bereich ist etwa 700°C bis 1150°C.

[0053] Der bevorzugte Wachstumstemperaturbereich für die zweite Schicht ändert sich in Abhängigkeit von der Dicke und dem Al-Anteil der ersten Schicht und dem Al-Anteil und der Durchflußrate des p-Dotiermittels der zweiten Schicht. Weil die Fähigkeit der ersten Schicht zum Schützen der lichtemittierenden Schichtstruktur mit zunehmender Schichtdicke und zunehmendem Al-Anteil zunimmt, kann die Kristallqualität der zweiten Schicht durch Verschieben des bevorzugten Wachstumstemperaturbereichs der zweiten Schicht zu höheren Temperaturen hin verbessert werden. Andererseits muß, weil die Einstellung der Leitfähigkeit mit höherem Al-Anteil der zweiten Schicht zunehmend schwieriger wird, der bevorzugte Wachstumstemperaturbereich der zweiten Schicht mit zunehmendem Al-Anteil der zweiten Schicht zunehmend zu der Wachstumstemperaturseite verschoben werden, bei der die Einstellung der Leitfähigkeit leichter wird. Aufgrund der Tatsache, daß die p-Leitfähigkeit mit abnehmender Durchflußrate des p-Dotiermittels der zweiten Schicht proportional schwieriger einstellbar ist, muß die bevorzugte Wachstumstemperatur der zweiten Schicht erhöht werden, um eine p-Leitfähigkeit oder eine n-Leitfähigkeit mit geringer Ladungsträgerdichte zu erhalten.

[0054] Wenn ein lichtemittierender Baustein unter Verwendung eines III-V-Verbundhalbleiters hergestellt wird, ist ein Dotierschritt mit einem p-Dotiermittel unabdingbar. Das p-Dotiermittel-Quellenmaterial verbleibt jedoch im Reaktionsofen, wo es den nächsten Wachstumsprozeß beeinträchtigt, indem es einen Memory-Effekt verursacht. D.h., wenn ein neues Substrat im Reaktionsofen angeordnet wird und der nächste epitaktische Wachstumsprozeß ausgeführt wird, nimmt aufgrund des Vorhandenseins des vorangehenden Schritt zurückbleibenden p-Dotiermittel-Quellenmaterials die Kristallinität der auf dem Substrat ausgebildeten lichtemittierenden Schichten ab, und die Einstellung der p-Ladungsträgerdichte wird schwierig.

[0055] Diese durch den Memory-Effekt verursachten Nachteile können durch Verwendung von zwei Reaktionsöfen vermieden werden, wobei in einem Ofen ein p-Dotiermittel-Quellenmaterial verwendet wird und im anderen kein p-Dotiermittel-Quellenmaterial verwendet wird, um ein Epitaxiesubstrat für einen in **Fig. 1** dargestellten Baustein mit einer lichtemittierenden Schichtstruktur herzustellen. D.h., es kann das sogenannte Regrowth-Verfahren verwendet werden.

[0056] Dies wird nachstehend ausführlicher erläutert. Wenn ein Epitaxiesubstrat für einen in **Fig. 1** dargestellten lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein hergestellt wird, wird das Substrat vom Reaktionsofen entnommen, nachdem die n-AlGaN-Schicht (erste Schicht) **9** ausgebildet worden ist, und die Al-GaN:Mg-Schicht (zweite Schicht) **10** und die folgen-

den Schichten werden in einem separaten Reaktionsofen ausgebildet, in dem ein p-Dotiermittel-Quellenmaterial verwendet wird. Dadurch kann der Memory-Effekt vermieden und ein Epitaxiesubstrat mit stabilen Eigenschaften hergestellt werden.

[0057] Die als die dritte Schicht ausgebildete GaN:Mg-Schicht **11** ist eine p-Schicht zum Herstellen eines ohmschen Kontakts mit der n-GaN-Schicht **13**. In der vorliegenden Erfindung dient die Ausbildung der dreischichtigen p-leitenden Struktur auf der InGaN-Schicht **8**, wie vorstehend erläutert, dazu, die Struktur und die Wachstumsbedingungen der n-AlGaIn-Schicht **9** und der AlGaIn:Mg-Schicht **10** zu definieren, die die erste und die zweite Schicht bilden, wobei die Strukturen der dritten und der folgenden Schichten beliebig definiert sein können. Daher kann die GaN:Mg-Schicht **11** beispielsweise eine Einzelschichtstruktur oder eine mehrschichtige Struktur sein, die aus zwei oder mehr Schichten besteht, deren p-Ladungsträgerdichte variiert, oder eine mehrschichtige Struktur, die aus zwei oder mehr Schichten besteht, deren Zusammensetzung variiert. Sie kann auch eine mehrschichtige Struktur sein, in der die äußerste Oberflächenschicht der mehreren Schichten eine p-leitende Dünnschicht mit hoher Ladungsträgerdichte ist.

Beispiel 1

[0058] Der in **Fig. 1** dargestellte mehrschichtige lichtemittierende Baustein wurde, wie nachstehend erläutert, unter Verwendung eines MOVPE-Verfahrens zum Aufwachsen von Kristallschichten auf ein Saphirsubstrat hergestellt. Zunächst wurde ein Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein beginnend mit einem Saphirsubstrat **1** hergestellt. Das Saphirsubstrat **1** wurde in einem MOVPE-Wachstums- ofen angeordnet, und eine GaN-Dünnschicht wurde auf dem Saphirsubstrat **1** als GaN-Niedrigtemperatur-Pufferschicht **2** unter Verwendung von NH_3 , MO (TMG) und Silan als Quellengase und H_2 als Trägergas aufgewachsen. Dann wurde die n-GaN:Si-Schicht **3** bei 1040°C aufgewachsen.

[0059] Dann wurde das Saphirsubstrat **1** vom MOVPE-Wachstums- ofen entnommen, einer vorgeschriebenen Prüfung unterzogen und wieder im MOVPE-Wachstums- ofen angeordnet. Dann wurde die n-GaN:Si-Schicht **4** bei einer Wachstumstemperatur von 1040°C unter Verwendung von NH_3 , MO (TMG, TMA und TMI) und Silan als Quellengase und H_2 als Trägergas auf der n-GaN:Si-Schicht **3** aufgewachsen. Dann wurde die undotierte GaN-Schicht **5** auf der n-GaN:Si-Schicht **4** aufgewachsen. Nachdem die undotierte GaN-Schicht **5** ausgebildet war, wurde die Reaktionsofentemperatur auf 780°C gesenkt, und die AlGaIn-Schicht **6** wurde unter Verwendung von N_2 als Trägergas ausgebildet. Anschließend wurden vier Schichtsätze, die jeweils aus einer InGaIn-Schicht **7A** und einer GaN-Schicht **8B** bestanden, aufgewach-

sen, und die InGaIn-Schicht **8** wurde auf der obersten GaN-Schicht **7B** aufgewachsen, wodurch die lichtemittierende Schichtstruktur **7** ausgebildet wurde. Nachdem die InGaIn-Schicht **8** aufgewachsen worden war, wurde die n-AlGaIn-Schicht **9** (undotierte n-Schicht) in einer Dicke von 110 \AA als die erste Schicht mit einem Al-Anteil von 0,15 aufgewachsen. Dann wurde das Substrat vom MOVPE-Wachstums- ofen entnommen.

[0060] Daraufhin wurde das Substrat in einem anderen MOVPE-Wachstums- ofen angeordnet, und die AlGaIn:Mg-Schicht **10** wurde als die zweite Schicht mit einem Al-Anteil von 0,05 unter Verwendung von NH_3 und MO als Quellengase und N_2 als Trägergas aufgewachsen. Hierbei wurde die Durchflußrate des als Mg-Material zugeführten EtCp 2Mg auf 600 sccm eingestellt, und das Wachstum wurde bei 1000°C bis zu einer Dicke von 250 \AA fortgesetzt, woraufhin die Reaktionsofentemperatur auf 1040°C erhöht wurde und die GaN:Mg-Schicht **11** aufgewachsen wurde. Das erhaltene Produkt wurde als Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein aus dem Wachstums- ofen entnommen.

[0061] Das auf die vorstehend beschriebene Weise hergestellte Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein wurde für 20 Minuten in einer N_2 -Atmosphäre bei 800°C behandelt, um zu veranlassen, daß die AlGaIn:Mg-Schicht (zweite Schicht) **10** und die GaN:Mg-Schicht (dritte Schicht) **11** niederohmige p-Schichten werden.

[0062] Dann wurde durch Photolithographie auf der Oberfläche ein Muster für eine p-Elektrode ausgebildet, Ni und Au in Vakuum aufgedampft, ein Elektrodenmuster durch einen Lift-off-Prozeß hergestellt und das erhaltene Produkt wärmebehandelt, um die ohmsche p-Elektrode **13** auszubilden. Dann wurde ein Maskenmuster durch Photolithographie ausgebildet und ein Trockenätzvorgang ausgeführt, um die n-Schicht freizulegen. Nachdem die Maske entfernt war, wurde ein Muster für eine n-Elektrode durch Photolithographie auf der trockenengeätzten Oberfläche ausgebildet, Al in Vakuum aufgedampft und ein als die n-Elektrode **12** dienendes Elektrodenmuster durch einen Lift-off-Prozeß ausgebildet. Die Elektrodenfläche der p-Elektrode **13** betrug $3,14 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$.

[0063] Ein auf die vorstehend beschriebene Weise hergestelltes Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein wurde verwendet, um einen lichtemittierenden Halbleiterbaustein herzustellen. Dem lichtemittierenden Baustein wurde eine Spannung zugeführt, um seine Emissionskenngröße im Waferzustand zu untersuchen. Es zeigte sich, daß der lichtemittierende Baustein eine ausgezeichnete Emissionskenngröße von 1505 mcd bei 20 mA Durchlaßstrom und einen Leck- oder Reststrom von 0,25 nA bei 5 V Sperrspannung aufwies.

[0064] Um die Leitfähigkeit der unter den vorstehend erwähnten Bedingungen aufgewachsenen zweiten Schicht zu bestimmen, wurde undotiertes GaN in einer Dicke von 3 \mu m auf einem Saphirsubst-

rat aufgewachsen, und eine AlGaIn:Mg-Schicht wurde darauf in einer Dicke von 0,3 µm unter den gleichen Bedingungen aufgewachsen, die vorstehend bezüglich der zweiten Schicht **10** zugrunde lagen. Durch zyklische Voltammetrie (CV) unter Verwendung eines Elektrolyts wurde festgestellt, daß die derart erhaltene Probe p-leitend war und eine Ladungsträgerdichte von $9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ aufwies.

Beispiele 2–8 und Vergleichsbeispiele 1–3

[0065] Lichtemittierende Bausteine wurden durch das Verfahren von Beispiel 1 hergestellt, außer daß die AlGaIn:Mg-Schicht unter Wachstumsbedingungen ausgebildet wurde, die sich hinsichtlich der Wachstumstemperatur, der Schichtdicke, des Al-Anteils und der Mg-Durchflußrate unterschieden. Die Wachstumsbedingungen und die Eigenschaften der lichtemittierenden Bausteine sind in **Fig. 2** dargestellt.

[0066] In den Beispielen 4, 6, 7 und 8 war die zweite Schicht, obwohl die aus AlGaIn:Mg gebildete zweite Schicht mit einem p-Dotiermittel dotiert war, n-leitend, und ihre n-Ladungsträgerdichte war nicht größer als $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, ein Wert, der innerhalb des erfindungsgemäßen Bereichs liegt.

[0067] Im Vergleichsbeispiel 1 betrug die Dicke d der zweiten Schicht 750 Å, ein Wert, der außerhalb des durch die Erfindung spezifizierten Bereichs liegt. Die Lichtstärke des lichtemittierenden Baustein war wesentlich geringer als diejenige von Beispiel 4, das mit Ausnahme der Dicke der zweiten Schicht unter den gleichen Bedingungen hergestellt wurde. Insbesondere wurde die Lichtstärke durch Dickenzunahme der zweiten Schicht um den Faktor drei, d.h. von 250 Å (Beispiel 4) auf 750 Å (Beispiel 1), auf etwa 1/4 des Wertes von Beispiel 4 vermindert.

[0068] Vergleichsbeispiel 2 wurde unter den gleichen Wachstumsbedingungen hergestellt wie Beispiel 5, außer daß die zweite Schicht wiederum eine Dicke von 750 Å aufwies. Die Lichtstärke nahm auf etwa 1/4 des Wertes von Beispiel 5 ab.

[0069] Vergleichsbeispiel 3 wurde unter den gleichen Wachstumsbedingungen hergestellt wie Beispiel 6, außer daß die zweite Schicht wiederum eine Dicke von 750 Å aufwies. Die Lichtstärke nahm auf etwa 1/4 des Wertes von Beispiel 6 ab.

[0070] **Fig. 3** zeigt ein Diagramm, das auf in **Fig. 2** enthaltenen Daten basiert, für die Beispiele, in denen die Mg-Durchflußrate 600 sccm und der Al-Anteil der zweiten Schicht 0,05 betrug. Die vertikale Achse ist für die Dicke (Å) der zweiten Schicht skaliert, und die horizontale Achse für die Wachstumstemperatur (°C). Die umschlossenen Zahlen bezeichnen die Lichtstärke (mcd).

[0071] Die Lichtstärke des lichtemittierenden Bausteins von Beispiel 2 betrug 450 mcd, und diejenige von Beispiel 6 war mit 334 mcd etwa genauso groß. Lichtemittierende Bausteine, die Lichtstärkewerte aufweisen, die auf und über einem Liniensegment lie-

gen, das diese beiden Meßpunkte verbindet, sind für eine praktische Anwendung geeignet, während lichtemittierende Bausteine, deren Lichtstärke unterhalb dieses Liniensegments liegen, für eine praktische Anwendung ungeeignet sind. Daher kann, wenn die Wachstumstemperatur durch T und die Dicke der zweiten Schicht durch d bezeichnet wird, dieser empirisch definierte Bereich oberhalb und einschließlich des Liniensegments dargestellt werden durch:

$$T - 800 \geq 2(d-250)/5.$$

[0072] Die Beziehung zwischen T und d kann daher dargestellt werden durch:

$$T \geq 0,4d + 700.$$

[0073] D.h., um eine ausgezeichnete Lichtstärke zu gewährleisten, muß die zweite Schicht bei einer Wachstumstemperatur (°C) aufgewachsen werden, die mindestens so groß ist wie der Wert, der erhalten wird, wenn der Wert 700 zum Produkt aus der Dicke und dem Faktor 0,4 hinzuaddiert wird.

Beispiele 9–16

[0074] Nachstehend werden erfindungsgemäße Beispiele 9–16 beschrieben. In den Beispielen 9 bis 16 wurden lichtemittierende Bausteine unter den gleichen Bedingungen hergestellt wie in Beispiel 1, außer daß eine AlGaIn-Schicht 9 mit einem Al-Anteil von 0 als erste Schicht verwendet wurde, d.h. die erste Schicht wurde als n-GaIn-Schicht mit einer Dicke von 180 Å ausgebildet, und die AlGaIn:Mg-Schicht (zweite Schicht) **10** wurde unter Wachstumsbedingungen ausgebildet, die sich hinsichtlich der Wachstumstemperatur, des Al-Anteils und der Mg-Durchflußrate unterschieden.

[0075] **Fig. 4** zeigt die Wachstumsbedingungen und Eigenschaften jeder der in den Beispielen 9 bis 16 hergestellten lichtemittierenden Bausteine, insbesondere die Wachstumsbedingungen für die zweite Schicht (Wachstumstemperatur (°C), Dicke (Å), Al-Anteil und Mg-Durchflußrate (sccm)), Eigenschaften der zweiten Schicht (Leitfähigkeitstyp und Ladungsträgerdichte (cm^{-3}) und die gemessene Emissionskenngröße, d.h. die Lichtstärke (mcd)). In den Beispielen 9–16 wurde die zweite Schicht bei einer Wachstumstemperatur T (°C) aufgewachsen, die mindestens so groß ist wie der Wert, der erhalten wird, indem der Wert 700 zum Produkt aus der Dicke d und dem Faktor 0,4 hinzuaddiert wird. In den Beispielen 13–16 war die zweite Schicht, obwohl die aus AlGaIn:Mg ausgebildete zweite Schicht mit einem p-Dotiermittel dotiert war, n-leitend, und ihre n-Ladungsträgerdichte war nicht größer als $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, ein Wert, der innerhalb des erfindungsgemäßen Bereichs liegt. Die lichtemittierenden Bausteine der Beispiele 9–16 wurden hinsichtlich ihrer Emissionskenngröße untersucht, und es zeigte sich, wie in **Fig. 4** er-

sichtlich ist, daß alle eine Lichtstärke mit einem für eine praktische Anwendung geeigneten Wert aufweisen.

[0076] Wie vorstehend beschrieben wurde, wird durch die vorliegende Erfindung die Struktur einer p-Schichtstruktur optimiert, die mit der lichtemittierenden Schichtstruktur in Kontakt steht, d.h. die p-Schichtstruktur ist als dreischichtige p-leitende Struktur definiert, die aus einer Schutzschicht (ersten Schicht), einer p-leitenden Schicht (dritten Schicht) und einer zwischen der ersten und der dritten Schicht angeordneten Zwischenschicht (zweiten Schicht) besteht, und außerdem werden die Wachstumsbedingungen der dreischichtigen p-leitenden Struktur optimiert. Daher wird durch die vorliegende Erfindung die Kristallinität in der Nähe des pn-Übergangs verbessert, wodurch die Lochinjektion vereinfacht wird, ohne daß die Schutzfunktion der dreischichtigen p-leitenden Struktur für die lichtemittierende Schichtstruktur vermindert wird. Daher kann durch die Schutzschicht (erste Schicht) eine ausgezeichnete Schutzfunktion bereitgestellt werden, auch wenn sie eine geringe Dicke aufweist, und der Wirkungsgrad für Lochinjektion kann erhöht werden, wodurch die Lichtausbeute zunimmt.

Patentansprüche

1. Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein, mit:
einer lichtemittierenden doppel-hetero Schichtstruktur mit einem pn-Übergang; und
einer an der Seite der p-Schicht angeordneten Schichtstruktur, die in Kontakt mit der lichtemittierenden Schichtstruktur ausgebildet ist und ausgehend von der mit der lichtemittierenden Schichtstruktur in Kontakt stehenden Schicht nacheinander aufweist:
eine durch $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ ($x + y + z = 1$; $0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$; $0 \leq z \leq 1$) dargestellte n-leitende erste Schicht,
eine durch $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{N}$ (wobei $u + v + w = 1$; $0 \leq u \leq 1$; $0 \leq v \leq 1$; $0 \leq w \leq 1$) dargestellte p-leitende zweite Schicht und
eine durch $\text{In}_p\text{Al}_q\text{Ga}_r\text{N}$ (wobei $p + q + r = 1$; $0 \leq p \leq 1$; $0 \leq q \leq 1$; $0 \leq r \leq 1$) dargestellte p-leitende dritte Schicht, wobei jede der drei Schichten in Kontakt mit ihrer benachbarten Schicht ausgebildet ist.

2. Substrat nach Anspruch 1, wobei die Dicke d_1 (Å) der ersten Schicht im Bereich von $5 \leq d_1 \leq 200$, und die Dicke d_2 (Å) der zweiten Schicht im Bereich von $5 \leq d_2 \leq 30000$ liegt.

3. Verfahren zum Herstellen eines Substrats nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Wachstumstemperatur T_1 der ersten Schicht und eine Wachstumstemperatur T_2 der zweiten Schicht so eingestellt werden, daß die Beziehung $T_1 \leq T_2$ erfüllt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die zweite Schicht so aufgewachsen wird, daß die Beziehungen

$$5 \leq d_2 \leq 30000 \quad (900 \leq T_2 \leq 1150)$$

$$T_2 \geq 0,4d_2 + 700 \quad (700 \leq T_2 \leq 900)$$

erfüllt sind, wobei T_2 (°C) die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht und d_2 (Å) die Dicke der zweiten Schicht bezeichnen.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei die zweite Schicht und die dritte Schicht nach dem Wachstum der ersten Schicht durch ein Regrowth-Verfahren aufgewachsen werden.

6. Lichtemittierender Baustein, in dem ein Epitaxiesubstrat nach Anspruch 1 oder 2 verwendet wird.

7. Lichtemittierender Baustein, zu dessen Herstellung das Herstellungsverfahren nach Anspruch 3, 4 oder 5 verwendet wird.

8. Epitaxiesubstrat für einen lichtemittierenden Verbundhalbleiterbaustein mit:
einer lichtemittierenden doppel-hetero Schichtstruktur mit einem pn-Übergang; und
einer an der Seite der p-Schicht angeordneten Schichtstruktur, die in Kontakt mit der lichtemittierenden Schichtstruktur ausgebildet ist und ausgehend von der mit der lichtemittierenden Schichtstruktur in Kontakt stehenden Schicht nacheinander aufweist:
eine durch $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ ($x + y + z = 1$; $0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$; $0 \leq z \leq 1$) dargestellte n-leitende erste Schicht,
eine durch $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{N}$ (wobei $u + v + w = 1$; $0 \leq u \leq 1$; $0 \leq v \leq 1$; $0 \leq w \leq 1$) dargestellte n-leitende zweite Schicht und
eine durch $\text{In}_p\text{Al}_q\text{Ga}_r\text{N}$ (wobei $p + q + r = 1$; $0 \leq p \leq 1$; $0 \leq q \leq 1$; $0 \leq r \leq 1$) dargestellte p-leitende dritte Schicht, wobei jede der drei Schichten in Kontakt mit ihrer benachbarten Schicht ausgebildet ist.

9. Substrat nach Anspruch 8, wobei die p-Dotierungsdichte der zweiten Schicht nicht kleiner ist als $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und nicht größer als $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, und die n-Ladungsträgerdichte der zweiten Schicht nicht größer ist als $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

10. Substrat nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Dicke d_1 (Å) der ersten Schicht im Bereich von $5 \leq d_1 \leq 200$ liegt und die Dicke d_2 (Å) der zweiten Schicht im Bereich von $5 \leq d_2 \leq 500$ liegt.

11. Verfahren zum Herstellen eines Substrats nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Wachstumstemperatur T_1 der ersten Schicht und eine Wachstumstemperatur T_2 der zweiten Schicht so eingestellt werden, daß die Beziehung $T_1 \leq T_2$ erfüllt ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die zweite Schicht so aufgewachsen wird, daß die Beziehungen

$$T_2 \geq 0,4d_2 + 700 \quad (5 \leq d_2 \leq 500)$$

$$1150 \geq T_2 \geq 700$$

erfüllt sind, wobei T_2 (°C) die Wachstumstemperatur der zweiten Schicht und d_2 (Å) die Dicke der zweiten Schicht bezeichnen.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei die zweite Schicht und die dritte Schicht nach dem Wachstum der ersten Schicht durch ein Regrowth-Verfahren aufgewachsen werden.

14. Lichtemittierender Baustein, der unter Verwendung eines Epitaxiesubstrats nach Anspruch 8, 9 oder 10 hergestellt wird.

15. Lichtemittierender Baustein, der unter Verwendung eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 11, 12 oder 13 hergestellt wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG.1

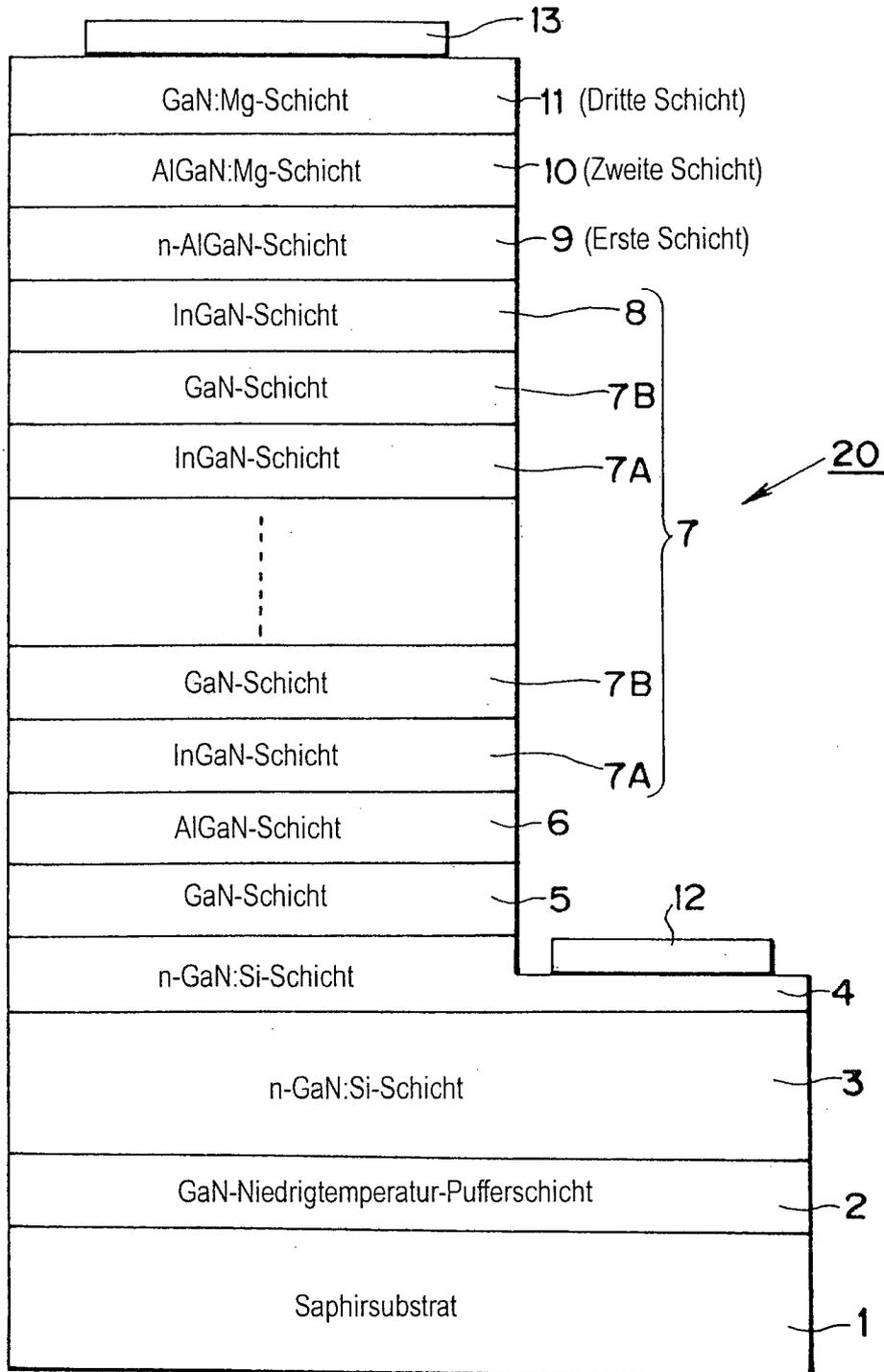


FIG.2

	Dicke der ersten Schicht (Å)	Wachstumsbedingungen für zweite Schicht				Kenngrößen der zweiten Schicht		Emissionskenngröße
		Wachstumstemperatur (°C)	Dicke (Å)	Al-Anteil	Mg-Durchflußrate (sccm)	Leitfähigkeitstyp	Ladungsträgerdichte (cm ⁻³)	
Beispiel 1	110	1000	250	0.05	600	p	6×10^{18}	1505
Beispiel 2	110	1000	750	0.05	600	p	6×10^{18}	405
Beispiel 3	110	1000	250	0.05	300	p	3×10^{18}	1459
Beispiel 4	110	1000	250	0.05	100	n	1×10^{17}	280
Vergleichsbeispiel 1	110	1000	750	0.05	100	n	1×10^{17}	75
Beispiel 5	110	900	250	0.05	600	p	5×10^{16}	640
Beispiel 6	110	800	250	0.05	600	n	5×10^{15}	334
Vergleichsbeispiel 2	110	900	750	0.05	600	p	5×10^{16}	172
Vergleichsbeispiel 3	110	800	750	0.05	600	n	5×10^{15}	90
Beispiel 7	110	800	250	0.15	600	n	5×10^{15}	499
Beispiel 8	55	800	250	0.15	600	n	5×10^{15}	707

FIG.3

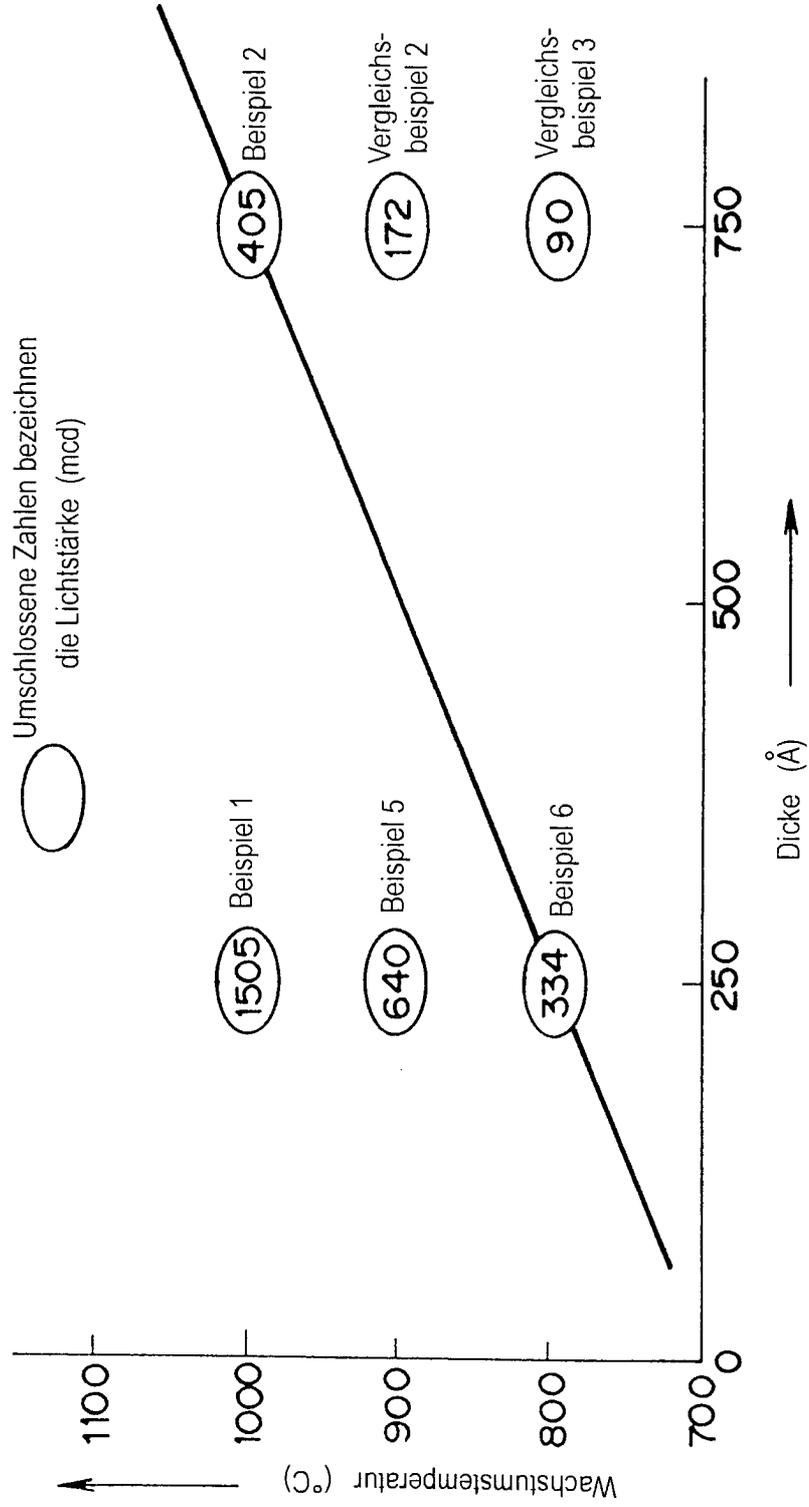


FIG.4

	Dicke der ersten Schicht (Å)	Wachstumsbedingungen für zweite Schicht				Kenngrößen der zweiten Schicht		Emissionskenngröße
		Wachstumstemperatur (°C)	Dicke (Å)	Al-Anteil	Mg-Durchflußrate (sccm)	Leitfähigkeitstyp	Ladungsträgerdichte (cm ⁻³)	
Beispiel 9	180	1050	250	0.05	600	p	2×10^{18}	1526
Beispiel 10	180	1040	250	0.05	600	p	2×10^{18}	1090
Beispiel 11	180	1040	250	0.025	600	p	3×10^{18}	923
Beispiel 12	180	1000	250	0.05	600	p	6×10^{18}	1353
Beispiel 13	180	800	250	0.05	600	n	5×10^{15}	994
Beispiel 14	180	800	250	0.05	800	n	2×10^{17}	854
Beispiel 15	180	800	250	0.1	600	n	5×10^{15}	1289
Beispiel 16	180	800	250	0.15	600	n	5×10^{15}	1051