



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 22 705 A1** 2004.07.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 22 705.9**
(22) Anmeldetag: **20.05.2003**
(43) Offenlegungstag: **08.07.2004**

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

(30) Unionspriorität:
91136184 13.12.2002 TW

(74) Vertreter:
TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR
Patentanwälte, 81679 München

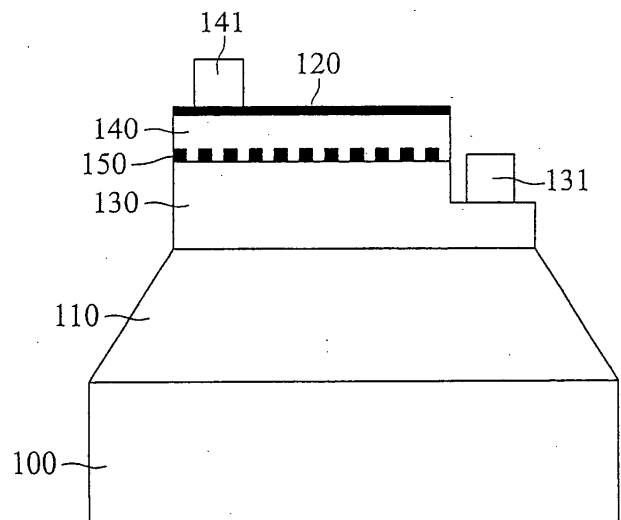
(71) Anmelder:
Industrial Technology Research Institute, Hsinchu
Hsien, TW

(72) Erfinder:
Pan, Shyi-Ming, Changhua, TW; Tsay, Jenq-Dar,
Taipei, TW; Tu, Ru-Chin, Tainan, TW; Hsu,
Jung-Tung, Hsinchu, TW

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **LED und Herstellverfahren für eine solche**

(57) Zusammenfassung: Es werden eine LED (Licht emittierende Diode) und ein Herstellverfahren für eine solche angegeben. Auf der Oberfläche eines Substrats (100) wird ein GaN-Dickfilm (110) mit schräger Fläche hergestellt. Diese schräge Fläche bildet sich auf natürliche Weise unter Verwendung der Eigenschaften der GaN-Expitaxie. Auf den GaN-Dickfilm wird eine LED-Struktur (130, 140) aufgewachsen, um ein LED-Bauteil herzustellen. Durch die natürliche Herstellung der schrägen Fläche ist der Herstellungsprozess vereinfacht. Unter Ausnutzung der Expitaxieeigenschaften beim Züchten eines GaN-Dickfilms können verschiedene Arten von LED-Chips mit mehreren schrägen Flächen und verschiedenen Strukturen hergestellt werden. Da die Lichtemissionsfläche des Chips erhöht ist und die mehreren schrägen Flächen die Wahrscheinlichkeit für interne Totalreflexion verringern, ist der Lichtemissions-Wirkungsgrad viel besser als beim Stand der Technik.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine LED (Licht emittierende Diode) und ein Herstellungsverfahren für eine solche.

Stand der Technik

[0002] LEDs verwenden charakteristische Eigenschaften von Halbleitern zum Emittieren von Licht, und ihr Betriebsprinzip unterscheidet sich von dem einer normalen Lampe. Daher wird eine LED als kalte Lichtquelle bezeichnet. Darüber hinaus zeigt eine LED die Vorteile langer Lebensdauer, geringen Gewichts, guter Energieeinsparung und Freiheit von Quecksilber. Daher ziehen LEDs in der Beleuchtungsindustrie große Aufmerksamkeit auf sich.

[0003] LEDs werden im Allgemeinen epitaktisch aus III-V-Mischkristallverbindungen, wie GaP und GaN, hergestellt. Da der Brechungsindex von LEDs größer als der der Umgebung ist und da herkömmliche LEDs hauptsächlich Würfelform aufweisen, werden durch eine LED mit einem Einfallswinkel über dem Schwellenwinkel erzeugte Lichtstrahlen an der Diode/Luft-Grenzfläche zurück in die Diode totalreflektiert. Die vier Grenzflächen eines Diodenkristalls mit kubischer Symmetrie sind zueinander parallel, was bewirkt, dass die oben genannten Lichtstrahlen innerhalb der LED totalreflektiert werden. Im Ergebnis ist der Lichtemissions-Wirkungsgrad einer LED viel kleiner als der interne Quantenwirkungsgrad. Eine Lösung hinsichtlich dieses Mangels besteht im Ändern der Kristallform der LED.

[0004] Betreffend die aktuelle Halbleiter-Bearbeitungstechnologie ist ein erstes Beispiel mit erfolgreicher Anwendung dieses Verfahrens in US-A-6 229 160 als TIP(Truncated Inverted Pyramid = umgekehrter Pyramidenstumpf)-LED offenbart. Gemäß diesem Patent werden die Seitenflächen eines Al-GaN-P/GaP-LED-Kristalls zu Pyramidenform ausgebildet, so dass die vier Grenzflächen nicht parallel zueinander sind. Diese Konfiguration kann die Strahlen wirkungsvoll nach außen führen, was den Lichtemissions-Wirkungsgrad um den Faktor Zwei erhöht. Jedoch werden TIP-LEDs durch direkte mechanische Bearbeitung hergestellt. Dieses Verfahren kann nur bei roten AlGaInP/GaP-Dioden angewandt werden. Es nutzt das Merkmal, dass ein Material aus vier Elementen geschickt bearbeitet werden kann, um eine TIP-LED zu erzeugen. Andererseits werden GaN-LEDs meistens epitaktisch auf Saphir aufgewachsen. Da Saphir sehr hart ist, ist eine mechanische Bearbeitung beinahe unmöglich. In dieser Richtung bestand praktisch keinerlei Durchbruch.

[0005] Die Firma U.S. Cree, Inc. ist bei der Herstellung von TIP-LEDs unter Verwendung von GaN erfolgreich. Dabei wird die Eigenschaft genutzt, dass die Bearbeitung von SiC viel einfacher als die von Saphir ist, um ein SiC-Substrat zu polieren. Unter Verwendung dieses Verfahrens kann eine GaN-LED mit

TIP-Form ausgebildet werden. Jedoch absorbieren die Kristallgitter von GaN und SiC sowie das SiC-Substrat ultraviolettes (UV) Licht, was den Lichtemissions-Wirkungsgrad einer UV-GaN-LED beeinträchtigt. Jedoch wird davon ausgegangen, dass eine Weißlicht-LED auf Grundlage einer UV-GaN-LED in der nächsten Generation ein ideales Beleuchtungsmaterial bilden wird.

[0006] Obwohl ein GaN-Substrat direkt dazu verwendet werden kann, eine InGaN/GaN-LED unter Verwendung mechanischer Bearbeitung mit TIP-Form auszubilden, enthalten die durch mechanische Bearbeitung erzeugten schrägen Flächen eine Schicht mit Rechtsspannungen, nachdem das InGaN/GaN epitaktisch auf ein GaN-Substrat aufgewachsen wurde. Eine derartige Schicht absorbiert Licht und kann nicht leicht entfernt werden. Daher schadet dies der LED. Ferner zeigen GaN-Substrate niedrige Ausbeute und hohe Kosten. Der Marktpreis ist viel höher als der von SiC- und Saphirsubstraten. Daher ist die Kommerzialisierung schwierig.

Aufgabenstellung

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine LED mit hohem Lichtemissions-Wirkungsgrad sowie ein Herstellungsverfahren für eine solche zu schaffen. Diese Aufgabe ist hinsichtlich der LED durch die Lehre des beigefügten Anspruchs 11 und hinsichtlich des Verfahrens durch die Lehre des beigefügten Anspruchs 1 gelöst.

[0008] Gemäß der Erfindung wird ein GaN-Dickfilm mit schräger Fläche auf einer Substratfläche hergestellt. Eine derartige schräge Fläche kann unter Ausnutzung spezieller Eigenschaften der GaN-Epitaxie auf natürliche Weise hergestellt werden. Auf den GaN-Dickfilm wird ferner eine LED-Struktur aufgewachsen, um einen LED-Kristall zu bilden. Daher ist es nicht erforderlich, eine zusätzliche mechanische Bearbeitung zu verwenden, um eine LED-Struktur mit schräger Fläche herzustellen.

[0009] Eine unter Verwendung des obigen Verfahrens hergestellte LED verfügt über ein Substrat mit einem auf dessen Oberfläche hergestellten GaN-Dickfilms und einer auf diesem hergestellten Diodenstruktur. Die Seitenfläche des GaN-Dickfilms und die Substratfläche verfügen über einen Winkel, der sich aufgrund spezieller Kristalleigenschaften von GaN auf natürliche Weise bildet. Der GaN-Dickfilm ist eine Mischung aus mehreren III-V-Verbindungen. Zum Beispiel gelten für einen $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{In}_y\text{N}$ -Film $0 \leq x, y < 1$ und $0 \leq x + y < 1$. Die auf dem GaN-Dickfilm hergestellte Diodenstruktur besteht aus einer III-V-Verbindung aus der n-GaN-Reihe und einer III-V-Verbindung aus der p-GaN-Reihe. Insbesondere stehen die III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und die III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe mit Elektroden mit niedrigem Ohmschem Kontakt in elektrischer Verbindung, um für eine Durchlass-Vorspannung zu sorgen. Die Diodenstruktur enthält ferner als

Lichtemissionsbereich eine aktive Schicht zwischen der III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und der III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe.

[0010] Darüber hinaus können, gemäß dem offenbarten Verfahren, die Elektroden mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand für die III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe, die aktive Schicht und die III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe auf der Oberseite und der Unterseite der LED hergestellt werden. Dies bedeutet, dass die Größe des Bauteils verringert werden kann, wodurch der Lichtemissions-Wirkungsgrad und die Ausbeute verbessert werden.

[0011] Die Erfindung wird aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung, die nur zur Veranschaulichung dient und demgemäß für die Erfindung nicht beschränkend ist, vollständiger zu verstehen sein.

Ausführungsbeispiel

[0012] **Fig. 1** ist ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen LED-Herstellverfahrens; und

[0013] **Fig. 2 bis 4** sind schematische Ansichten einer ersten, zweiten bzw. dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen LED.

[0014] Die offenbarte LED und das Herstellverfahren für diese nutzen die Eigenschaften von GaN bei epitaktischer Züchtung zum Herstellen von LEDs. Dadurch können verschiedene Arten von LEDs mit mehreren schrägen Seiten, verschiedenen Strukturen und besserem Lichtemissions-Wirkungsgrad hergestellt werden.

[0015] Anhand der **Fig. 1** wird nun eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Herstellverfahrens erläutert. Als Erstes wird ein Substrat bereitgestellt (Schritt 410). Danach wird die Oberfläche des Substrats mit einem Muster für epitaktisches Wachstum in selektiven Gebieten versehen. Das Mustergebiet ist geringfügig größer als die Größe des gewünschten Bauelements (Schritt 420). Auf dem Substratmuster wird ein AlGaInN-Dickfilm mit schräger Fläche hergestellt (Schritt 430). Eine derartige schräge Fläche bildet sich auf natürliche Weise als Ergebnis spezieller Eigenschaften der GaN-Epitaxie. Der AlGaInN-Dickfilm wird mit einer LED-Struktur aus einer III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und einer III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe hergestellt (Schritt 440). Abschließend wird auf der Oberfläche der III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe eine p-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand hergestellt, und auf der Oberfläche der III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe wird eine n-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand hergestellt, um so einen LED-Chip fertig zu stellen (Schritt 450). Insbesondere enthält die LED-Struktur ferner eine aktive Schicht als Lichtemissionsbereich. Die Oberflächen der III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und der III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe stehen mit den Elektroden mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand in elektrischer Verbindung, um für eine Durch-

lass-Vorspannung zu sorgen. Die Erfindung beinhaltet auch den Schritt des Entfernens des Substrats unter Verwendung eines Lasers, wodurch der Chipzerschneidprozess mit einem Zerschneiden des Kristalls vereinfacht wird. So wird die Ausbeute erhöht, und die Herstellkosten werden gesenkt.

[0016] Erfindungsgemäße LEDs können verschiedene Strukturen zeigen. Gemäß der **Fig. 2** verfügt eine erste Ausführungsform über ein Substrat **100**, einen AlGaInN-Dickfilm mit schräger Fläche sowie eine LED-Struktur. Der AlGaInN-Dickfilm **110** wird auf der Oberfläche des Substrats **100** auf epitaktische Weise hergestellt. Die LED-Struktur besteht aus einer III-V-Verbindung **130** der n-GaN-Reihe, einer aktiven Schicht **150** und einer III-V-Verbindung **140** der p-GaN-Reihe. Die Oberfläche der III-V-Verbindung **140** der p-GaN-Reihe verfügt über eine Kombination aus einer transparenten Kontaktschicht (TCL) und einer p-Elektrode **141** mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand. Die Oberfläche der III-V-Verbindung **130** der n-GaN-Reihe verfügt über eine n-Elektrode **131** mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand. Die III-V-Verbindung **130** der n-GaN-Reihe, die aktive Schicht **150** und die III-V-Verbindung **140** der p-GaN-Reihe sind in dieser Reihenfolge auf der Oberfläche des AlGaInN-Dickfilms **110** hergestellt.

[0017] Bei der Erfindung kann auch ein transparentes, leitendes Substrat zum Herstellen einer LED verwendet werden. Bei einer solchen Ausführungsform können die Elektroden mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand, die III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe, die aktive Schicht und die III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe auf der Ober- und der Unterseite der LED hergestellt werden. Dadurch kann die Größe des Bauteils minimiert werden, während gleichzeitig der Lichtemissions-Wirkungsgrad und die Ausbeute erhöht werden. Dazu wird auf die **Fig. 3** Bezug genommen, gemäß der die Struktur Folgendes aufweist: ein transparentes, n-leitendes Substrat **200**, einen AlGaInN-Dickfilm **210** mit schräger Fläche und eine LED-Struktur. Eine Fläche des transparenten, n-leitenden Substrats **200** verfügt über eine Kombination aus einer TCL **220** und einer n-Elektrode **231** mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand. Der AlGaInN-Dickfilm **210** ist auf der anderen Fläche des transparenten, n-leitenden Substrats **200** epitaktisch hergestellt. Die LED-Struktur besteht aus einer III-V-Verbindung **230** der n-GaN-Reihe, einer aktiven Schicht **250** und einer III-V-Verbindung **240** der p-GaN-Reihe. Die Oberfläche der III-V-Verbindung **240** der p-GaN-Reihe verfügt über eine Kombination aus einer p-Elektrode **241** mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand und einer reflektierenden Metallelektrode **260**.

[0018] Bei einer Struktur gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist das Substrat entfernt, um den Zerschneidprozess für den LED-Chip zu vereinfachen. Dies kann gleichzeitig die Ausbeute erhöhen und die Kosten senken. Eine diesbezügliche dritte Ausführungsform der Erfindung ist in der **Fig. 4**

dargestellt. Diese verfügt über Folgendes: einen Al-GaN-Dickfilm **310** mit schräger Fläche sowie eine LED-Struktur. Die LED-Struktur besteht aus einer III-V-Verbindung **330** der n-GaN-Reihe, einer aktiven Schicht **350** und einer III-V-Verbindung **340** der p-GaN-Reihe. Die Oberfläche der III-V-Verbindung **330** der n-GaN-Reihe verfügt über eine n-Elektrode **331** mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand. Die Oberfläche der III-V-Verbindung **340** der p-GaN-Reihe verfügt über eine Kombination aus einer p-Elektrode **341** mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand und einer TCL **320**.

[0019] Wie oben beschrieben, kann das Substrat für die epitaktische Züchtung eines AlGaN-Dickfilms mit schräger Fläche gemäß der Erfindung aus Saphir, SiC, Si, GaAs, AlN, LiAlO₂ oder LiGaO₂ bestehen. Das transparente n-leitende Substrat kann aus n-GaN, n-ZnO oder n-SiC bestehen. Das Verfahren für die epitaktische Züchtung eines AlGaN-Dickfilms mit schräger Fläche ist eine Hydrid-Dampfphasenepitaxie (HVPE). Der Innendurchmesser des Musters für epitaktische Züchtung in einem selektiven Gebiet ist größer als 150 µm. Die Form des Musters kann viereckig, sechseckig oder kreisförmig sein, was die Form der natürlichen schrägen Fläche des Dickfilms bestimmt. Die Dicke des AlGaN-Dickfilms mit schräger Fläche beträgt mehr als 20 µm. Aufgrund der Eigenschaften der GaN-Epitaxie schließen die Unterseite des GaN-Dickfilms und seine Seitenfläche einen Winkel α ein, wobei $43^\circ \leq \alpha \leq 62^\circ$ gilt. Die p-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand und die n-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand können transparente Elektroden mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand sein. Die p-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand kann aus einem p-Übergangsmetalloxidhalbleiter oder einem Gemisch aus einem solchen und Schwermetallen bestehen. Die LED-Struktur verfügt ferner über eine aktive Schicht als Lichtemissionsbereich zwischen der III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und der III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe. Die aktive Schicht kann von Doppelheterostruktur (DH), Einzelquantentrog (SQW)-Struktur oder Mehrfachquantentrog (MQW)-Struktur sein.

Patentansprüche

1. Herstellverfahren für eine LED, mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Substrats;
- Herstellen eines Musters auf einer Fläche des Substrats für epitaktische Züchtung in einem selektiven Gebiet;
- Herstellen eines GaN-Dickfilms mit einer schrägen Fläche auf dem Muster unter Verwendung eines Epitaxiezüchtungsverfahrens, wobei sich die schräge Fläche in natürlicher Weise als Ergebnis der Eigenschaften von GaN bildet, und wobei die Oberfläche des GaN-Dickfilms eine Ebene mit einer für die Zwecke von Bauelementen geeigneten Fläche ist; und

– Herstellen einer LED-Struktur auf dem GaN-Dickfilm, wobei die LED-Struktur über eine III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und eine III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe verfügt und wobei die III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe mit einer p-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand in elektrischer Verbindung steht und die III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe mit einer n-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand in elektrischer Verbindung steht, um für eine Durchlass-Vorspannung zu sorgen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der GaN-Dickfilm ein Al_xGa_(1-x)In_yN-Film mit $0 \leq X, Y < 1$ und $0 \leq X + Y < 1$ ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den Schritt des Entfernens des Substrats.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren zum Herstellen des GaN-Dickfilms mit schräger Fläche die Hydrid-Dampfphasenepitaxie (HVPE) ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat aus der aus Saphir, SiC, Si, GaAs und AlN bestehenden Gruppe ausgewählt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein transparentes, leitendes Substrat ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des GaN-Dickfilms mehr als 20 µm beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Innendurchmesser des Musters größer als 150 µm ist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Muster eine aus der viereckig, sechseckig und kreisförmig bestehenden Gruppe ausgewählte Form aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterseite und die Seitenfläche des GaN-Dickfilms einen Winkel α , mit $43^\circ \leq \alpha \leq 62^\circ$ einschließen.

11. LED mit:

- einem GaN-Dickfilm mit einer schrägen Fläche, die sich unter Ausnutzung epitaktischer Eigenschaften gebildet hat; und
- einer LED-Struktur, die eine III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und eine III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe enthält;
- wobei die III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe auf die Oberfläche des GaN-Dickfilms aufgeschichtet ist und sie mit einer n-Elektrode mit niedrigem Ohmschem

Kontaktwiderstand in elektrischer Verbindung steht, und die III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe mit einer p-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand in elektrischer Verbindung steht, um eine Durchlass-Vorspannung zu bilden.

12. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der GaN-Dickfilm mit schräger Fläche durch Epitaxie auf einer Fläche des Substrats ausgebildet ist.

13. LED nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat aus der aus Saphir, SiC, Si, GaAs, AlN, LiGaO₂ und LiAlO₂ bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

14. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der GaN-Dickfilm ein Al_xGa_(1-x1-y)In_yN-Film mit $0 \leq X, Y < 1$ und $0 \leq X + Y < 1$ ist.

15. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des GaN-Dickfilms über 20 µm beträgt und der Innendurchmesser seines Musters größer als 150 µm ist.

16. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Muster eine aus der aus viereckig, sechseckig und kreisförmig bestehenden Gruppe ausgewählte Form aufweist.

17. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterseite und die Seitenfläche des GaN-Dickfilms einen Winkel α mit $43^\circ < \alpha < 62^\circ$ einschließen.

18. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die n-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand und die p-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand auf derselben Seite des GaN-Dickfilms ausgebildet sind, wobei die p-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand auf dem GaN-Dickfilm aus der III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe ausgebildet ist und die n-Elektrode mit niedrigem Ohmschem Kontaktwiderstand auf der Oberfläche der III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe ausgebildet ist.

19. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die LED-Struktur ferner eine aktive Schicht als Lichtemissionsbereich zwischen der III-V-Verbindung der n-GaN-Reihe und der III-V-Verbindung der p-GaN-Reihe aufweist.

20. LED nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die aktive Schicht aus der aus Doppelheterostruktur (DH), Einfachquantentrog (SQW) und Mehrfachquantentrog (MQW) bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

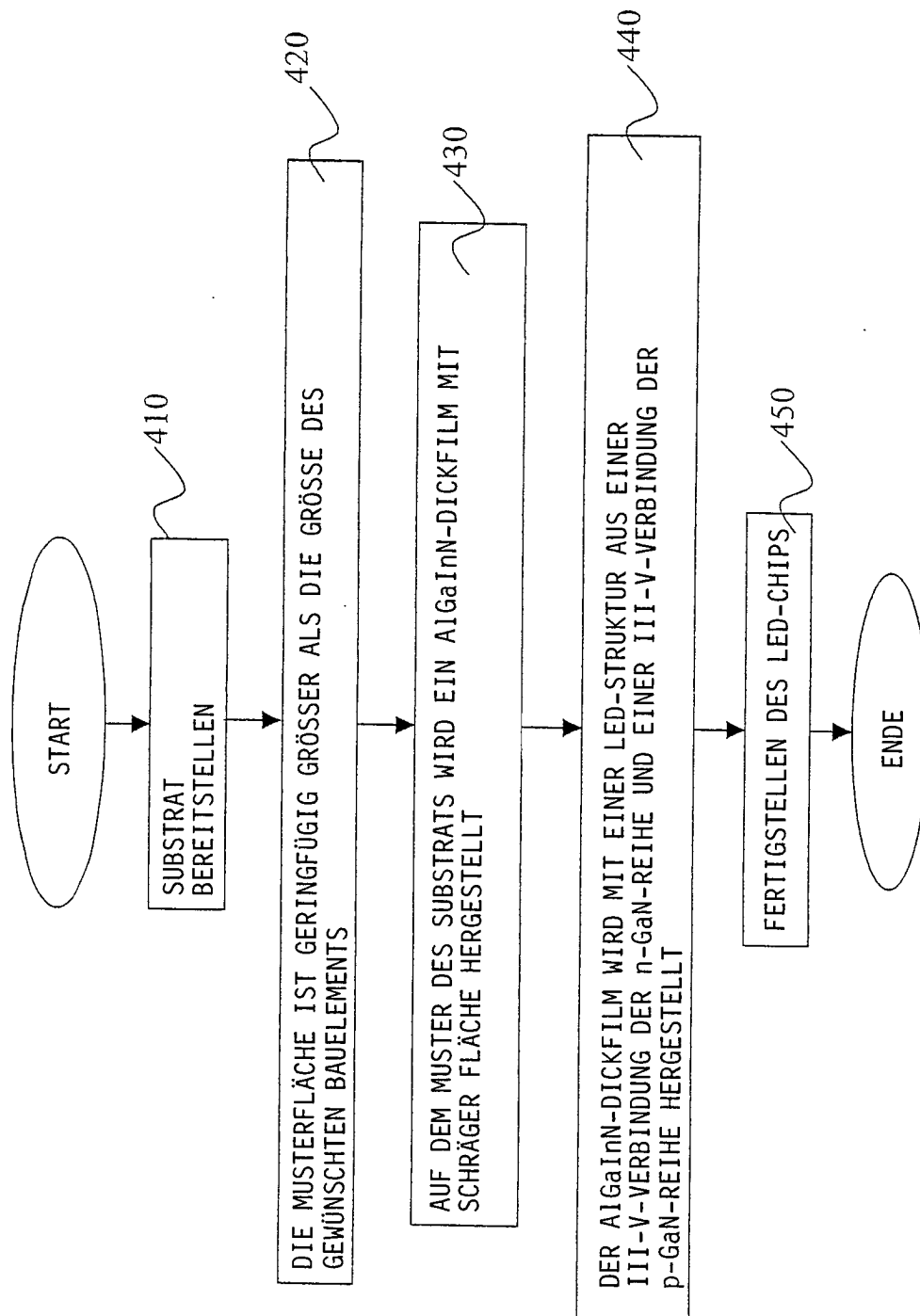


Fig. 1

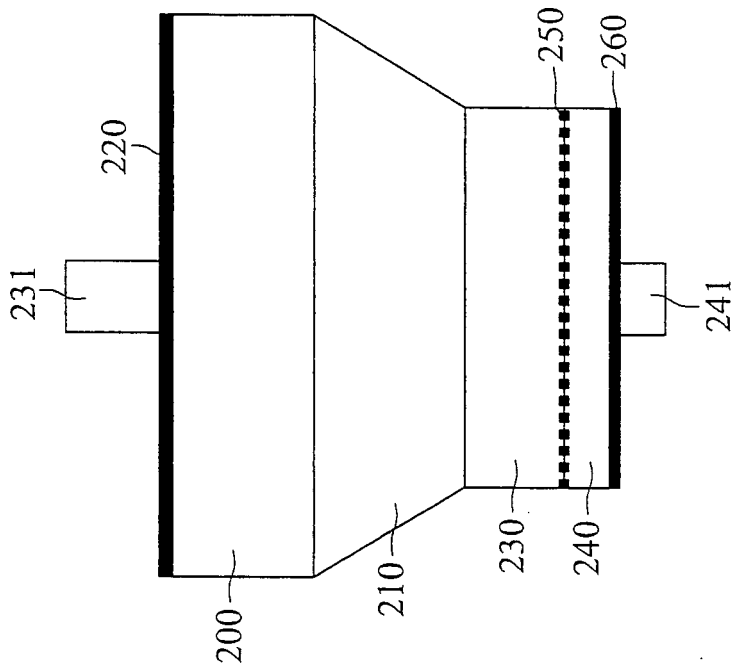


Fig. 2

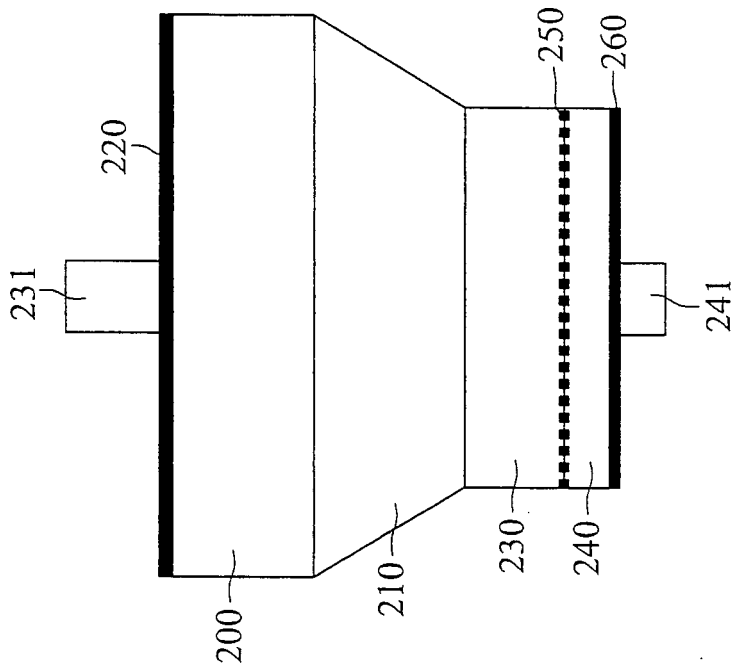


Fig. 3

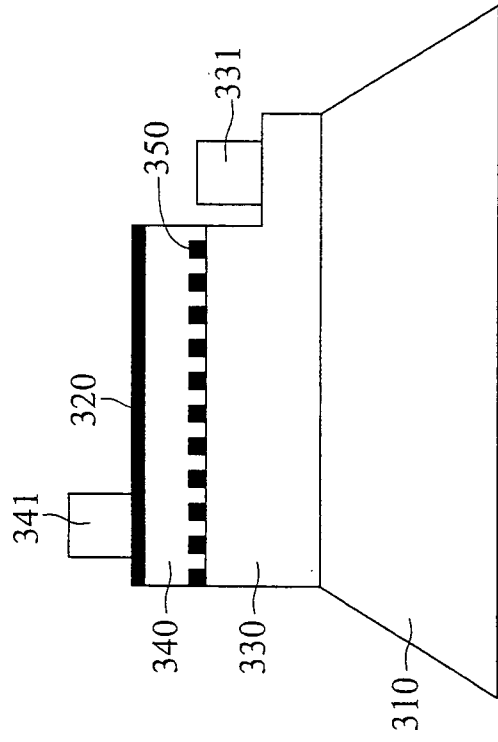


Fig. 4