



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2005 013 264.2

(51) Int Cl.: H01L 33/36 (2010.01)

(22) Anmelddatum: 22.03.2005

(43) Offenlegungstag: 01.12.2005

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 19.06.2019

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

2004-084282 23.03.2004 JP
2004-223600 30.07.2004 JP
2005-044649 21.02.2005 JP

(73) Patentinhaber:

Toyoda Gosei Co., Ltd., Nishikasugai-gun, Aichi-
ken, JP

(74) Vertreter:

TBK, 80336 München, DE

(72) Erfinder:

Suehiro, Yoshinobu, Nishikasugai, Aichi, JP;
Yamaguchi, Seiji, Nishikasugai, Aichi, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	101 62 223	A1
DE	102 21 504	A1
DE	199 21 987	A1
DE	10 2004 029216	A1
US	66 14 056	B1
US	2002 / 0 093 023	A1
US	2002/00 63 256	A1
EP	2 596 948	A2
JP	11-1 50 297	A

(54) Bezeichnung: Herstellverfahren für eine Festkörperelementvorrichtung

(57) Hauptanspruch: Herstellverfahren für eine Festkörperelementvorrichtung, wobei das Verfahren aufweist:

Anordnen einer Glasplatte aus einem Glasmaterial mit niedrigem Schmelzpunkt parallel zu einem Befestigungssubstrat (3), auf dem ein Festkörperelement (2) befestigt ist, und dann

Heißpressen der Glasplatte, so dass das Glasmaterial mit dem Befestigungssubstrat (3) verbunden wird, um einen anorganischen Versiegelungsabschnitt (6) zu bilden, der das Festkörperelement (2) versiegelt,

wobei das Festkörperelement (2) eine Mehrfachschichtelektrode (27) sowie einen Verbindungsabschnitt (5) aufweist, der mit einem auf dem Befestigungssubstrat (3) ausgebildeten Leiterbahnabschnitt (4) verbunden ist,

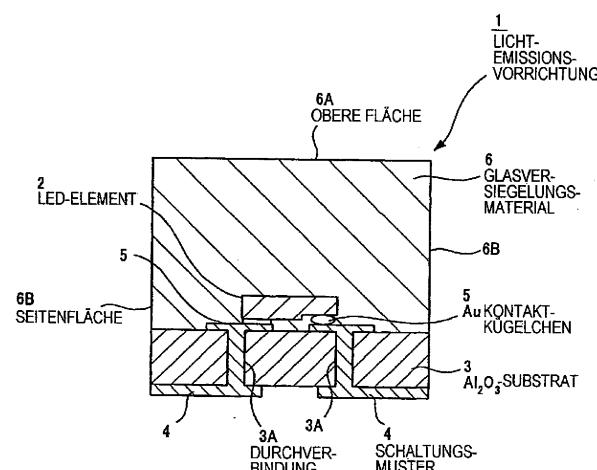
wobei das Festkörperelement (2) eine Halbleiterschicht (21-25), die auf einem Substrat (20) ausgebildet ist, aufweist,

wobei die Halbleiterschicht eine erste Schicht (23), die einem Emissionsbereich des Festkörperelementes (2) entspricht, und eine zweite Schicht (25) aufweist, durch die der Strom von der Mehrfachschichtelektrode (27) zugeführt wird;

wobei eine Lichtaustrittsoberfläche, durch die von der ersten Schicht (23) emittiertes Licht nach außen austritt, auf der Seite des Substrats (20) angeordnet ist;

wobei die Mehrfachschichtelektrode (27) ein erstes leitendes Material (27A) aufweist, das in ohmschem Kontakt mit der zweiten Schicht (25) steht;

die Mehrfachschichtelektrode (27) einen oder mehrere Bereiche aufweist, die das erste leitende Material (27A) aufweisen ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Herstellverfahren für eine Festkörperelementvorrichtung. In der Festkörperelementvorrichtung werden die durch Wärmeverspannung hervorgerufene Separation einer Elektrode und die Reduktion der Verbindungsfestigkeit verhindert, so dass Licht effizient vom Inneren der Vorrichtung austritt.

[0002] Einschlägiger Stand der Technik dazu findet sich in der Druckschrift US 2002 / 0 093 023 A1 „III-Phosphide and III-Arsenide Flip Chip Light-Emitting Devices“, in der Druckschrift DE 102 21 504 A1 „Mehrchip-LED-Halbleiteranordnung“, in der Druckschrift US 2002 / 0 063 256 A1 „Method and Structure for forming an Electrode on a Light Emitting Device“, in der Druckschrift DE 10 2004 029 216 A1 „Flip-Chip-Nitridhalbleiter-Leuchtdiode“, in der Druckschrift DE 101 62 223 A1 „Light-Emitting Device and Production thereof“, in der Druckschrift US 6 614 056 B1 „Scalable LED with improved Current Spreading Structures“, in der Druckschrift DE 199 21 987 A1 „Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen“ und in der nachveröffentlichten Druckschrift EP 2 596 948 A2 „Method of making a semiconductor device“.

[0003] Eine bekannte Festkörperelementvorrichtung ist eine Lichtemissionsvorrichtung, bei der eine LED (Lichtemissionsdiode) als Festkörperelement auf einem Substrat mit einem Leitungsrahmen oder einem Leiterbahnmuster befestigt ist. Bei der das LED-Element verwendenden Lichtemissionsvorrichtung ist es wichtig, dass innerhalb des LED-Elementes eingeschlossenes Licht zur Verbesserung der externen Abstrahlungseffizienz reduziert wird, damit eine Vorrichtung mit hoher Leuchtkraft oder hoher Ausgabe vorliegt.

[0004] Eines der LED-Elemente ist ein LED-Element in der Chipwendebauart („Flip-Chip-Type“), bei der eine Halbleiterschicht auf einem transparenten Substrat wie etwa aus Saphir ausgebildet ist, und Licht aus der Seite des transparenten Substrates austritt. Das LED-Element in Chipwendebauart zeigt eine ausgezeichnete äußere Abstrahlungseffizienz, da es keinen optischen Verlust in der Halbleiterschicht oder einer Passivierungsschicht erzeugt. Bei der Vorrichtungsbefestigung wird das LED-Element in der Chipwendebauart mit einem Leiterbahnenelement wie etwa einem Leitungsrahmen innerhalb eines Rückflussofens bei einer Temperatur von 250 bis 300°C gewendet verbunden.

[0005] In letzter Zeit wurde als für die elektrische Verbindung des LED-Elementes verwendetes Lötmittel ein bleifreies Lötmittel im Hinblick auf Umweltschutzerwägungen erforscht. Das bleifreie Lötmittel

weist einen höheren Schmelzpunkt als ein bleienthaltendes Lötmittel auf, weswegen sich das Problem ergibt, dass die Emissionseffizienz aufgrund eines Anstiegs bei den Wärmeverspannungen beim Chipwendenverbinden des LED-Elementes verringert wird.

[0006] Die Druckschrift JP H11 - 150 297 A (Druckschrift 1) offenbart ein Nitridhalbleiterlichtemissionselement, bei dem die p-Elektrode zur Verbesserung der Emissionseffizienz eines derartigen LED-Elementes in Chipwendebauart mehrfach geschichtet ist.

[0007] Das Nitridhalbleiterlichtemissionselement setzt sich aus einer ersten positiven Elektrode, die in ohmschem Kontakt mit einer Halbleiterschicht auf p-GaN-Basis steht, und einer auf der ersten positiven Elektrode ausgebildeten zweiten positiven Elektrode zusammen. Die zweite positive Elektrode beinhaltet eine Schicht aus Gold oder Platin, die in Kontakt mit der ersten positiven Elektrode steht, damit eine unmittelbar unter der zweiten positiven Elektrode angeordnete Lichtemissionsschicht zur Emission von Licht befähigt wird (vergleiche Absatz [0012] und **Fig. 1** von Druckschrift 1).

[0008] Gemäß Druckschrift 1 ergibt sich jedoch das Problem, dass die Elektrodenschicht von der Halbleiterschicht aufgrund einer Differenz bei dem Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen diesen unter Hochtemperaturbedingungen wie etwa beim Rückflussvorgang separiert (abgeschält) werden kann, da die erste und die zweite positive Elektrode in einer kontinuierlichen ebenen Fläche ausgebildet werden.

[0009] Demzufolge liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Herstellverfahren für eine Festkörperelementvorrichtung unter Verwendung eines Festkörperelementes bereitzustellen, welche die Separation ihrer Elektrodenschicht aufgrund einer Differenz beim Wärmeausdehnungskoeffizient vermeiden kann.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß jeweils durch das in dem beigefügten unabhängigen Anspruch definierte Verfahren gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen davon finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

[0011] Beispiele und bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachstehend unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben.

[0012] Es zeigen:

Fig. 1 eine Schnittansicht einer Lichtemissionsvorrichtung als Festkörperelementvorrichtung bei einem ersten Beispiel;

Fig. 2 eine Schnittansicht eines LED-Elementes aus **Fig. 1**;

Fig. 3A eine Unteransicht des LED-Elementes aus **Fig. 2**, gesehen von einer Elektrodenausbildungsoberfläche des LED-Elementes aus;

Fig. 3B eine Schnittansicht entlang der Linie A-A aus **Fig. 2**;

Fig. 3C eine Unteransicht einer Abwandlung einer p-Mehrfachschichtelektrode 27 aus **Fig. 3B**;

Fig. 4 eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei einem zweiten Beispiel;

Fig. 5A eine Schnittansicht einer Abwandlung (Lichtaustrittsstruktur) des LED-Elementes aus **Fig. 4**;

Fig. 5B eine Draufsicht des LED-Elementes aus **Fig. 5A**, gesehen von einer Position B in **Fig. 5A** aus;

Fig. 6A eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei einem dritten Beispiel;

Fig. 6B eine Draufsicht des LED-Elementes aus **Fig. 6A**, gesehen von einer Position B in **Fig. 6A** aus;

Fig. 7A eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei einem vierten Beispiel;

Fig. 7B eine Draufsicht des LED-Elementes aus **Fig. 7A**, gesehen aus einer Position B in **Fig. 7A** aus;

Fig. 8 eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei einem fünften Beispiel;

Fig. 9A eine Unteransicht eines LED-Elementes (gesehen von seiner Elektrodenausbildungs-oberfläche aus) bei einem sechsten Beispiel;

Fig. 9B eine Schnittansicht entlang einer Linie C-C aus **Fig. 9A**;

Fig. 10 eine Unteransicht eines LED-Elementes (gesehen von seiner Elektrodenausbildungs-oberfläche aus) bei einem siebten Beispiel;

Fig. 11A eine Schnittansicht eines LED-Elementes (das auf einem Al₂O₃-Substrat 32 befestigt ist) bei einem achten Beispiel;

Fig. 11B eine Draufsicht des Al₂O₃-Substrats 32 aus **Fig. 11A** mit einem darauf ausgebildeten Schaltungsmuster;

Fig. 12A eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei einem neunten Beispiel;

Fig. 12B eine Draufsicht des LED-Elementes aus **Fig. 12A**;

Fig. 12C ein Diagramm zur Darstellung von kritischen Winkeln;

Fig. 13 eine Schnittansicht eines LED-Elementes (das auf einem Al₂O₃-Substrat 32 befestigt ist) bei einem zehnten Beispiel;

Fig. 14 eine Draufsicht eines LED-Elementes (gesehen von seiner Elektrodenausbildungs-oberfläche aus) bei einem elften Beispiel; und

Fig. 15 eine Draufsicht eines LED-Elementes (gesehen von seiner Elektrodenausbildungs-oberfläche aus) bei einem zwölften Beispiel.

[Erstes Beispiel]

(Zusammensetzung der
Lichtemissionsvorrichtung 1)

[0013] **Fig. 1** zeigt eine Schnittansicht einer Lichtemissionsvorrichtung als einer Festkörperelementvorrichtung bei dem ersten Beispiel.

[0014] Die Lichtemissionsvorrichtung 1 setzt sich zusammen aus: einem LED-Element 2 in Chipwendebauart als Festkörperelement aus einem Halbleiter auf GaN-Basis; einem Al₂O₃-Substrat 3, auf dem das LED-Element 2 befestigt ist; einem Schaltungsmuster 4, das aus Wolfram/Nickel/Gold (W/Ni/Au) zusammengesetzt und auf dem Al₂O₃-Substrat 3 ausgebildet ist; einem Goldkontaktekügelchen 5, das als Verbindungsabschnitt zur Verbindung zwischen dem LED-Element 2 und dem Schaltungsmuster 4 ausgebildet ist; und einem Glasversiegelungsmaterial 6, das das LED-Element 2 versiegelt und mit dem Al₂O₃-Substrat 3 verbunden ist.

[0015] Das Al₂O₃-Substrat 3 ist mit einer Durchverbindung 3A zur elektrischen Verbindung zwischen den Schaltungsmustern 4 versehen, die aus Wolfram-Nickel sind und an der vorderen Oberfläche und der Rückoberfläche des Substrates metallisiert sind.

[0016] Das Glasversiegelungsmaterial 6 ist aus einem Glas mit niedrigem Schmelzpunkt und rechteckig mit einer oberen Fläche 6A und einer Seitenfläche 6B durch Schneiden mit einem Rohchipschneideelement ausgebildet, nachdem es unter Verwendung einer mit dem Al₂O₃-Substrat 3 zu verbindenden Gussform heißgepresst wurde.

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0017] **Fig. 2** zeigt eine Schnittansicht des LED-Elementes aus **Fig. 1**.

[0018] Das LED-Element 2 setzt sich zusammen aus: einem Saphirsubstrat (Al₂O₃) 20; sowie auf dem Saphirsubstrat 20 sequentiell aufgewachsen: eine AlN-Pufferschicht 21, eine n-GaN-Mantelschicht 22, eine Mehrfachschicht 23 mit einer Lichtemissionsschicht, eine p-AlGaN-Mantelschicht 24, und eine p-GaN-Kontaktschicht 25. Zudem ist es mit einer n-Elektrode 26, die auf einem Teil der n-GaN-Mantelschicht 22 ausgebildet ist, die durch Entfernen der p-GaN-Kontaktschicht 25 durch die n-GaN-Mantelschicht 22 durch einen Ätzvorgang freigelegt ist,

sowie mit einer p-Mehrfachschichtelektrode **27** versehen, die auf der Oberfläche der p-GaN-Kontaktschicht **25** ausgebildet ist.

(Zusammensetzung der p-Mehrfachschichtelektrode 27)

[0019] Die p-Mehrfachschichtelektrode **27** setzt sich zusammen aus: einer Rhodiumschicht (Rh) **27A**, die als ein Gitter auf der Oberfläche der p-GaN-Kontaktschicht **25** ausgebildet ist; einer Wolframschicht (W) **27B**, die auf der Oberfläche der p-GaN-Kontaktschicht **25** und der Rhodiumschicht (Rh) **27A** ausgebildet ist; und einer Goldschicht **27C**, die auf der Oberfläche der Wolframschicht (W) **27B** ausgebildet ist.

(Herstellung des LED-Elementes 2)

[0020] Bei der Herstellung des LED-Elementes **2** wird zunächst das Saphirsubstrat **20** als Wafer bereitgestellt. Dann werden auf dem Saphirsubstrat **20** durch ein bekanntes Verfahren die AlN-Pufferschicht **21**, die n-GaN-Mantelschicht **22**, die Mehrfachschicht **23** mit einer Lichtemissionsschicht, die p-AlGaN-Mantelschicht **24**, die p-GaN-Kontaktschicht **25** und die n-Elektrode **26** ausgebildet.

[0021] Sodann wird die Rhodiumschicht (Rh) **27A** auf der Oberfläche der p-GaN-Kontaktschicht **25** durch einen Abscheidevorgang ausgebildet. Danach wird ein Photoresistlack auf der Oberfläche der Rhodiumschicht (Rh) **27A** ausgebildet. Danach wird eine Resistlackmaske in einer Gitterform auf dem Photoresistlack angeordnet, und der Photoresistlack wird entwickelt. Dann wird der entwickelte Teil der Rhodiumschicht (Rh) **27A** durch einen Ätzvorgang entfernt. Sodann wird die Resistlackmaske von der Oberfläche der gitterstrukturierten Rhodiumschicht (Rh) **27A** entfernt. Danach wird die Wolframschicht (W) **27B** darauf durch einen Abscheidevorgang zum Bedecken der gitterstrukturierten Rhodiumschicht (Rh) **27A** ausgebildet. Dann wird die Goldschicht **27C** auf der Wolframschicht (W) **27B** durch einen Abscheidevorgang ausgebildet. Sodann wird das Saphirsubstrat **20** mit den Halbleiterschichten auf GaN-Basis in 0,3 mm × 0,3 mm große Rohchips unterteilt. Somit wird das LED-Element **2** erhalten.

(p-Mehrfachschichtelektrode 27)

[0022] **Fig. 3A** zeigt eine Unteransicht des LED-Elementes aus **Fig. 2**, gesehen von der Elektrodenausbildungsobерfläche des LED-Elementes aus. **Fig. 3B** zeigt eine Schnittansicht entlang der Linie A-A aus **Fig. 2**. **Fig. 3C** zeigt eine Unteransicht einer Abwandlung der p-Mehrfachschichtelektrode **27** aus **Fig. 3B**.

[0023] Die p-Mehrfachschichtelektrode **27** ist gemäß **Fig. 3A** mit der auf der Oberfläche ausgebilde-

ten Goldschicht **27C** bedeckt. Die von der Wolframschicht (W) **27B** umgebene gitterstrukturierte Rhodiumschicht (Rh) **27A** ist unter der Goldschicht **27C** gemäß **Fig. 3B** ausgebildet. Die gitterstrukturierte Rhodiumschicht (Rh) **27A** setzt sich aus einer in rechteckigen Punkten ausgebildeten Vielzahl von Regionen zusammen. Die Regionen emittieren Licht, wenn Strom durch die Goldschicht **2C** zugeführt wird.

[0024] Die gitterstrukturierte Rhodiumschicht (Rh) **27A** kann derart ausgebildet sein, dass die Bereiche miteinander gemäß **Fig. 3C** verbunden sind. Die Verbindungsart kann derart sein, dass ein Teil der Bereiche regulär oder irregulär verbunden ist.

(Herstellung der Lichtemissionsvorrichtung 1)

[0025] Zunächst wird das Al₂O₃-Substrat **3** mit der Durchverbindung **3A** bereitgestellt. Eine Wolframpaste (W) wird auf die Oberfläche des Al₂O₃-Substrats **3** gemäß dem Schaltungsmuster **4** siebgedruckt. Sodann wird das Al₂O₃-Substrat **3** mit der darauf gedruckten Wolframpaste bei 1000°C oder höher wärmebehandelt, so dass das Wolfram auf dem Substrat **3** verbunden ist. Danach wird eine Nickelplattierung und eine Goldplattierung auf dem Wolfram ausgebildet, um das Schaltungsmuster **4** zu bilden. Danach wird das LED-Element **2** durch das Goldkontaktekügelchen **5** mit dem Schaltungsmuster **4** auf der vorderen Oberfläche des Al₂O₃-Substrats **3** elektrisch verbunden. Sodann wird eine Glasplatte mit niedrigem Schmelzpunkt parallel zu dem Al₂O₃-Substrat **3** mit darauf befestigtem LED-Element **2** parallel angeordnet, und der Heißpressvorgang wird bei einem Druck von 60 kgf (5,88 MPa) und einer Temperatur von 600°C in einer Stickstoffatmosphäre ausgeführt. Das Glas mit niedrigem Schmelzpunkt wird mit dem Al₂O₃-Substrat **3** durch darin enthaltene Oxide verbunden. Danach wird das mit dem Glas mit niedrigem Schmelzpunkt integrierte Al₂O₃-Substrat **3** durch ein Rohchipschneideelement in Rohchips unterteilt, und dadurch wird die rechteckige Lichtemissionsvorrichtung **1** separiert.

(Betrieb der Lichtemissionsvorrichtung 1)

[0026] Wenn eine Spannung durch Verbinden des Schaltungsmusters **4** mit einer (nicht gezeigten) Energieversorgungsquelle verbunden wird, strahlt das LED-Element **2** blaues Licht mit einer Wellenlänge von 460 nm ab, während innerhalb der Mehrfachschicht **23** Licht in ebener Form emittiert wird. Das blaue Licht dringt in das Saphirsubstrat **20** von der Mehrfachschicht **23** durch die n-GaN-Mantelschicht **22** und die AlN-Pufferschicht **21** ein, wobei es in das Glasversiegelungsmaterial **6** von dem Saphirsubstrat **20** eintritt, und aus der oberen Fläche **6A** und der Seitenfläche **6B** nach außen austritt.

(Wirkungen des ersten Beispiels)

[0027] Bei dem vorstehend beschriebenen ersten Beispiel wird die gitterstrukturierte Rhodiumschicht (Rh) **27A** auf der Oberfläche der p-GaN-Kontaktschicht **25** ausgebildet. Dadurch kann die p-GaN-Kontaktschicht **25** mit der p-Mehrfachschichtelektrode **27** in ohmschen Kontakt stehen, und eine gute Verbindungseigenschaft kann dazwischen erhalten werden.

[0028] Zudem ist die Rhodiumschicht (Rh) **27A** gitterstrukturiert, und Wolfram ist mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ausgebildet, was gleich dem der Schichten auf GaN-Basis (der p-AlGaN-Mantelschicht **24** und der p-GaN-Kontaktschicht **25**) des LED-Elementes **2** im Vergleich zu einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ von Rhodium ist. Dadurch kann eine durch eine Differenz beim Wärmeausdehnungskoeffizienten von der Goldschicht ($15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) mit dem größten Wärmeausdehnungskoeffizienten der Bestandteile verursachte Wärmeverspannung reduziert werden. Da her kann eine Separation (Abschälen) der Elektrodenenschicht selbst unter Hochtemperaturverbindungen wie etwa bei einem Glasversiegelungsvorgang und einem Rückflussvorgang vermieden werden. So mit kann ein stabiler Stromfluss in die Mehrfachschicht **23** durchgeführt werden.

[0029] Ferner kann durch Befestigen des LED-Elementes **2** auf dem Al_2O_3 -Substrat **3** mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten gleich dem LED-Element **2** eine durch eine Differenz im Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen dem LED-Element **2** und dem Al_2O_3 -Substrat **3** verursachte Wärmeverspannung reduziert werden. Da bei dem vorliegenden Beispiel das LED-Element **2** derart aufgebaut ist, dass die Schichten auf GaN-Basis auf dem Saphirsubstrat **20** (mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) ausgebildet sind, kann der gesamte Wärmeausdehnungskoeffizient des LED-Elementes **2** als dem Saphirsubstrat **20** gleich angesehen werden. Indem somit die Verspannung reduziert wird, kann die Separation dazwischen selbst unter Hochtemperaturbedingungen wie etwa bei einem Glasversiegelungsvorgang vermieden werden.

[0030] Obwohl bei dem ersten Beispiel die Rhodiumschicht (Rh) **27A** gitterstrukturiert ist, kann sie ebenso als Netz oder punktiertes Muster in Abweichung von der in **Fig. 3C** gezeigten Abwandlung ausgebildet sein. Ein anderes Elektrodenmaterial für einen ohmschen Kontakt kann Chrom (Cr) mit einer starken Verbindungsfestigkeit sein. Die Musterungsstruktur ist besonders effektiv bei der ohmschen Elektrode für Halbleiterschichten auf GaN-Basis, da sie keine ausreichende Verbindungsfestigkeit wie Halbleiter auf GaAs- oder AlInGaP-Basis aufweisen können, bei denen ihr Elektrodenelement in die Halbleiterschicht

diffundiert und eine intermetallische Verbindung dazwischen ausgebildet wird. Die Musterungsstruktur ist außerdem für andere Halbleiter effektiv, bei denen das Elektrodenmaterial wahrscheinlich nicht in die Halbleiterschicht diffundiert. Dieselbe Wirkung kann erhalten werden, selbst wenn das Elektrodenmaterial wahrscheinlich in die Halbleiterschicht diffundiert.

[0031] Vorzugsweise wird das Elektrodenmaterial wie etwa Rhodium eher durch einen Sputtervorgang als durch eine Elektronenstrahlabscheidung abgeschieden, was ausreichend ist, so dass die Verbindungsfestigkeit mit der Oberfläche der Halbleiter auf GaN-Basis verbessert wird.

(Abwandlung des ersten Beispiels)

[0032] Eine Abwandlung der Lichtemissionsvorrichtung **1** kann eine Lichtemissionsvorrichtung in Wellenlängenumwandlungsbauart sein, bei der ein Leuchtmittel enthaltendes Epoxydharz als Versiegelungsmaterial anstelle des Glasversiegelungsmaterials **6** verwendet wird. Das Leuchtmittel kann beispielsweise Ce:YAG (Yttrium-Aluminium-Granat) sein. Dabei wird das Leuchtmittel durch Licht von 460 nm zur Abstrahlung eines gelb angeregten Lichts von 520 bis 550 nm angeregt. Das gelb angeregte Licht wird mit dem blauen Licht zur Erzeugung von weißem Licht gemischt.

[Zweites Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0033] **Fig. 4** zeigt eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei dem zweiten Beispiel.

[0034] Das LED-Element **2** gemäß dem zweiten Beispiel unterscheidet sich von dem ersten Beispiel dahingehend, dass ein GaN-Substrat **28** (mit einem Brechungsindex von $n = 2,4$) anstelle des Saphirsubstrats **20** verwendet wird, und dass ein Glas mit hohem Brechungsindex auf Bi-Basis mit einem Brechungsindex von 1,85 verwendet wird. Das GaN-Substrat **28** wird mit einer durch Entfernen des Eckenabschnitts durch einen Schneide- oder Polievorgang oder ähnlichem ausgebildeten Neigung **28A** ausgebildet. Bei dem vorliegenden Beispiel sind gleiche Teile durch dieselben Bezugszeichen wie die beim ersten Beispiel verwendeten angegeben.

(Wirkungen des zweiten Beispiels)

[0035] Bei dem zweiten Beispiel tritt zu den Wirkungen des ersten Beispiels aufgrund der Verwendung des GaN-Substrats **28** hinzu, dass in der Mehrfachschicht **23** erzeugtes Licht die Grenzfläche zwischen dem GaN-Substrat **28** und dem (in **Fig. 4** nicht gezeigten) Glasversiegelungsmaterial ohne einen optischen Verlust erreichen kann. Da zudem

das Versiegelungsmaterial einen hohen Brechungsindex aufweist, und das LED-Element **2** nicht rechteckig sondern mit der Neigung **28A** ausgebildet ist, kann in dem LED-Element **2** eingeschlossenes Licht reduziert werden. Dadurch kann die äußere Abstrahlungseffizienz des LED-Elementes **2** bedeutend verbessert werden. Außerdem kann aufgrund der auf dem GaN-Substrat **28** ausgebildeten Neigung **28A** von der Mehrfachschicht **23** in Richtung der p-Mehrfachschichtelektrode **27** emittiertes und auf der p-Mehrfachschichtelektrode **27** reflektiertes blaues Licht nach außen austreten. Somit kann die äußere Abstrahlungseffizienz verbessert werden.

[0036] Da zudem das Versiegelungsmaterial des LED-Elementes **2** aus Glas ausgebildet ist, verschlechtert sich das Versiegelungsmaterial nicht aufgrund von Licht oder von dem LED-Element **2** erzeugter Wärme, und eine Hochbrechungsindexcharakteristik kann erhalten werden. Im Falle des harten Versiegelungsmaterials Glas ist das Auftreten eines Risses aufgrund einer Wärmeverspannung im Vergleich zu Harzen wahrscheinlich. Selbst wenn eine Wärmekontraktion von Glas beim Abkühlungsvorgang nach der Vorrichtungsversiegelung eine große innere Verspannung verursacht, kann jedoch die Neigung **28A** die Lokalisierung der Verspannung in dem Glas vermeiden. Somit kann die Lichitemissionsvorrichtung **1** einen Gehäuseriss unter Offerierung einer guten Zuverlässigkeit vermeiden.

(Abwandlung)

[0037] Fig. **5A** zeigt eine Schnittansicht einer Abwandlung (Lichtaustrittsstruktur) des LED-Elementes aus Fig. **4**. Fig. **5B** zeigt eine Draufsicht des LED-Elementes aus Fig. **5A**, gesehen von Position B aus Fig. **5A**.

[0038] Das LED-Element **2** ist mit einem konvexen Abschnitt **22A** versehen, bei dem eine Nut **22a** auf der Oberfläche des GaN-Substrats **28** durch einen Schneidevorgang ausgebildet ist. Außerdem ist das GaN-Substrat **28** mit einer Neigung **28B** versehen, die durch Schneiden des Eckabschnitts durch einen Schneidevorgang oder Polievorgang oder ähnliches ausgebildet ist. Zudem ist eine kontinuierliche Silberschicht **27** in der p-Mehrfachschichtelektrode **27** anstelle der Wolframschicht **27B** ausgebildet.

[0039] Bei dem somit ausgebildeten LED-Element **2** steigt die Fläche der Lichtaustrittsoberfläche, da das GaN-Substrat **28** eine unebene Lichtaustrittsoberfläche aufweist. Dadurch kann die Lichtaustrittscharakteristik des LED-Elementes **2** verbessert werden. Außerdem kann von der Mehrfachschicht **23** in Richtung der p-Mehrfachschichtelektrode **27** emittiertes und auf der p-Mehrfachschichtelektrode **27** reflektiertes blaues Licht gut nach außen austreten. Somit kann die äußere Abstrahlungseffizienz verbessert werden.

[Drittes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0040] Fig. **6** zeigt eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei dem dritten Beispiel. Fig. **6B** zeigt eine Draufsicht des LED-Elementes aus Fig. **6A**, gesehen aus Position B in Fig. **6A**.

[0041] Das LED-Element **2** setzt sich aus dem GaN-Substrat **28** zusammen, wobei die Nut **22a** durch Schneiden auf der Lichtaustrittsoberfläche ausgebildet ist, wie in Zusammenhang mit Fig. **5A** beschrieben ist, und wobei die p-Mehrfachschichtelektrode **27** mit der Wolframschicht (W) **27B** gitterstrukturiert ist.

(Wirkungen gemäß dem dritten Beispiel)

[0042] Aufgrund der gitterstrukturierten Wolframschicht (W) **27B** kann bei dem dritten Beispiel die Separation der Elektrodenschicht vermieden werden. Zudem weist das p-GaN einen hohen spezifischen Widerstand auf, was die Ausbildung eines Emissionsbereichs gemäß der Struktur von ohmschen Elektroden erlaubt, und die unebene Oberfläche wird gemäß dem Emissionsbereich ausgebildet. Daher kann die Lichtaustrittscharakteristik aus der Halbleiterschicht auf GaN-Basis verbessert werden.

[Viertes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0043] Fig. **7A** zeigt eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei dem vierten Beispiel. Fig. **7B** zeigt eine Draufsicht des LED-Elementes aus Fig. **7A**, gesehen aus Position B in Fig. **7A**.

[0044] Das LED-Element **2** gemäß dem vierten Beispiel unterscheidet sich von dem ersten Beispiel dahingehend, dass das Saphirsubstrat **20** von dem LED-Element **2** gemäß dem ersten Beispiel unter Verwendung von Laserlicht separiert ist, und anstatt dessen eine wärmehärtende Harzschiht **29** mit einem Brechungsindex von $n = 2,1\ 100\ \mu\text{m}$ dick auf der Oberfläche der n-GaN-Mantelschicht **22** ausgebildet ist.

[0045] Die wärmehärtende Harzschiht **29** ist mit einem konvexen Abschnitt **29A** bereitgestellt, bei dem hexagonal konvexe Flächen in einem Zickzackmuster strukturiert sind. Zudem ist die Rhodiumschicht (Rh) **27A** in hexagonalen Abschnitten (oder Inseln) auf der p-GaN-Kontaktschicht **25** in einem Zickzackmuster strukturiert ausgebildet. Gemäß Fig. **7B** ist der konvexe Abschnitt **29A** (hexagonal konvexe Flächen) der wärmehärtenden Harzschiht **29** gemäß der Rhodiumschicht (Rh) **27A** (hexagonale Inseln) angeordnet.

[0046] Die wärmehärtende Harzschicht **29** ist derart ausgebildet, dass eine Schicht von wärmehärtendem Harz im Voraus durch einen Gießvorgang wie etwa einen Druckgussvorgang gemäß den hexagonal konvexen Flächen des konvexen Abschnitts **29A** strukturiert ist, und die strukturierte Schicht auf der Oberfläche der n-GaN-Mantelschicht **22** verbunden ist.

[0047] Alternativ kann anstelle der Verwendung der Schicht aus wärmehärtendem Harz die wärmehärtende Harzschicht **29** auf der Oberfläche der n-GaN-Mantelschicht **22** durch Injizieren des wärmehärtenden Harzes in eine Gussform ausgebildet sein. Dabei ist die Gussform mit der Struktur gemäß den hexagonal konvexen Flächen des konvexen Abschnitts **29A** versehen.

[0048] Das LED-Element **2** mit der somit ausgebildeten wärmehärtenden Harzschicht **29** ist mit Silikonharz versiegelt.

(Wirkungen gemäß dem vierten Beispiel)

[0049] Bei dem vierten Beispiel wird die wärmehärtende Harzschicht **29** mit einem Brechungsindex nahe dem der Halbleiterschicht auf GaN-Basis verwendet, und die wärmehärtende Harzschicht **29** wird mit dem konvexen Abschnitt **29A** versehen. Dadurch kann die Lichtausstoßoberfläche mit dem hohen Brechungsindex und dem vergrößerten Oberflächenbereich leicht ausgebildet werden, ohne dass ein Verarbeitungsvorgang wie etwa ein Schneidvorgang oder ein Polievorgang auf der Oberfläche der n-GaN-Mantelschicht **22** benötigt wird.

[0050] Da außerdem der konvexe Abschnitt **29A** (hexagonal konvexe Flächen) der wärmehärtenden Harzschicht **29** gemäß der Rhodiumschicht (Rh) **27A** (hexagonale Inseln) angeordnet ist, kann von der Mehrfachschicht **23** unmittelbar über der Rhodiumschicht (Rh) **27A** imitiertes blaues Licht die Lichtausstoßoberfläche mit dem vergrößerten Bereich erreichen. Dadurch erhöht sich das Licht, das nach außen austreten kann, im Vergleich zu dem Fall, wenn Licht aus einer ebenen Lichtaustrittsoberfläche austritt.

[0051] Der konvexe Abschnitt **29A** kann gemäß Fig. 5B ausgebildet sein, und die konvexe Fläche kann gekrümmt sein. Die konvexen Flächen können in einer anderen Struktur als dem Zickzackmuster angeordnet sein. Die wärmehärtende Harzschicht **29** kann mit einer aufgerauten Oberfläche versehen sein, welche eine größere Oberfläche als eine ebene Oberfläche zulässt, anstatt dass der konvexe Abschnitt **29A** verwendet wird.

[Fünftes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0052] Fig. 8 zeigt eine Schnittansicht eines LED-Elementes bei dem fünften Beispiel.

[0053] Das LED-Element **2** gemäß dem fünften Beispiel unterscheidet sich von dem vierten Beispiel dahingehend, dass die p-Mehrfachschichtelektrode **27** derart aufgebaut ist, dass die Silberschicht **27D** und die Goldschicht **27C** als getrennte Elektrodenbereiche in einem Gittermuster wie auch die Rhodiumschicht (Rh) **27A** ausgebildet sind.

[0054] Die Rhodiumschicht (Rh) **27A** weist eine derartig geringe Dicke auf, dass die Transmission (Durchlass) von aus der Mehrfachschicht **23** emittiertem Licht derart ermöglicht wird, dass das durchgelassene Licht auf der Silberschicht **27D** mit guter Reflexionseffizienz reflektiert wird.

(Wirkungen des fünften Beispiels)

[0055] Bei dem fünften Beispiel tritt zu den Wirkungen des vierten Beispiels hinzu, dass die durch eine Differenz bei dem Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der p-Mehrfachschichtelektrode **27** und der Halbleiterschicht auf GaN-Basis verursachte Wärmeverspannung reduziert werden kann. Daher kann die Separation (das Abscheren) der Elektrodenschicht selbst unter Hochtemperaturbedingungen wie etwa bei einem Glasversiegelungs- und Rückflussvorgang vermieden werden. Somit kann ein stabiler Stromfluss in die Mehrfachschicht **23** durchgeführt werden.

[0056] Durch Einstellen des Reflexionsvermögens an der Elektrodenschicht zwischen der Rhodiumschicht (Rh) **27A** und der Silberschicht **27D** kann das Reflexionsvermögen verbessert werden. Dadurch kann die externe Abstrahlungseffizienz verbessert werden.

[Sechstes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0057] Fig. 9A zeigt eine Unteransicht eines LED-Elementes (gesehen von seiner Elektrodenausbildungssoberfläche) bei dem sechsten Beispiel. Fig. 9B zeigt eine Schnittansicht entlang der Linie C-C aus Fig. 9A.

[0058] Das LED-Element **2** ist gemäß Fig. 9A mit einer n-Elektrode **26** aus Ti/Pt, einer p-Kontaktelektrodenschicht **30** als eine p-Kontaktelektrode aus ITO (Indiumzinnoxid) mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten im Wesentlichen gleich dem des LED-Elementes **2** (aus einem Halbleiter auf GaN-Basis), und teilweise auf der n-Elektrode **26** und der p-Kontak-

telektrodenschicht **30** ausgebildeten Goldkontakteflächenelektroden **31** versehen. Das LED-Element **2** weist eine Größe von etwa 300 µm im Quadrat auf. Das ITO ist durch eine Elektronenstrahlabscheidung dünn ausgebildet.

[0059] Fig. 9B zeigt in teilweise vergrößerter Ansicht den Fall, bei dem das LED-Element **2** gemäß dem sechsten Beispiel auf die Lichtemissionsvorrichtung **1** gemäß dem in Fig. 1 gezeigten ersten Beispiel angewendet wird. Bei dem sechsten Beispiel ist das Schaltungsmuster **4** aus W/Ni/Ag auf der Vorrhrtungsbefestigungsseite und aus W/Ni/Au auf der Rückseite des Substrates **32** ausgebildet, wobei beide Seiten des Schaltungsmusters **4** durch das Wollrammuster (W) in der Durchverbindung **3A** verbunden sind. Die Goldkontakteflächenelektrode **31** weist im Wesentlichen dieselbe Größe wie das Goldkontaktekügelchen **5** auf.

[0060] Bei dem sechsten Beispiel ist das LED-Element **2** auf dem Schaltungsmuster **4** durch Ultraschallwärmekompression des Goldkontaktekügelchens **5** befestigt und mit einem Glas mit niedrigem Schmelzpunkt mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ versiegelt.

(Wirkungen gemäß dem sechsten Beispiel)

[0061] Bei dem sechsten Beispiel ist die Goldkontakteflächenelektrode **31** teilweise auf der p-Kontaktelektrodenschicht **30** mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten im Wesentlichen gleich dem des LED-Elementes **2** ausgebildet, und das LED-Element **2** ist durch das Goldkontaktekügelchen **5** auf dem Schaltungsmuster **4** des Al_2O_3 -Substrates **32** mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten im Wesentlichen gleich dem des LED-Elementes **2** befestigt und mit Glas versiegelt. Daher wird die p-Kontaktelektrodenschicht **30** wahrscheinlich nicht von der Halbleiterischicht **200** auf GaN-Basis separiert, und die Wärmeverspannung kann absorbiert werden, während eine Wärmedeformation der Goldkontakteflächenelektrode **31** und des Goldkontaktekügelchens **5** erlaubt ist.

[0062] Bei Experimenten der Erfinder wurde das LED-Element **2** auf Substraten mit verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten befestigt, d.h. auf einem Al_2O_3 -Substrat und einem glasenthaltenden Al_2O_3 -Substrat (mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), und mit Glas versiegelt. Im Ergebnis wurde im Vergleich zu dem Al_2O_3 -Substrat bestätigt, dass einige der glasenthaltenden Al_2O_3 -Substrate einen Anstieg (0,3 V im Durchschnitt) bei der Durchlassspannung als Folge der Separation der Elektrode und einem Fehler bei dem Emissionsmuster verursachen. Da somit das LED-Element **2** einen Wärmeausdehnungskoeffizienten im Wesentlichen gleich dem des Al_2O_3 -Substrats **32** aufweist, wird die durch eine Differenz beim Wärmeausdeh-

nungskoeffizienten verursachte Wärmeverspannung selbst bei einer hohen Temperatur nicht erzeugt, d.h. bei 500 bis 600°C beim Glasversiegelungsvorgang. Daher kann eine glasversiegelte LED in guter Qualität erhalten werden, und die Ausbeute kann verbessert werden.

[0063] Um eine gute Durchlassspannung und ein gutes Emissionsmuster ohne eine Elektrodenseparation bei dem LED-Element **2** mit einer derartigen Größe zu erzielen, ist es wünschenswert, dass das Befestigungssubstrat **32** einen Wärmeausdehnungskoeffizienten im Wesentlichen gleich dem des LED-Elementes **2** ($7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) aufweist, d.h. 5×10^{-6} bis $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

[0064] Und da zudem die Goldkontakteflächenelektrode **31** teilweise auf der p-Mehrfachschichtelektrode **27** ausgebildet ist, kann die erzeugte Wärmeverspannung reduziert werden. Außerdem kann die bei der Befestigung erzeugte Wärmeverspannung durch Befestigen des LED-Elementes **2** auf dem Substrat mit einem im Wesentlichen dazu gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten reduziert werden.

[0065] Ferner weist die ITO-Elektrode (p-Kontaktelektrodenschicht **30**) eine Verbindungs Kraft mit GaN auf, die größer als die von Rhodium (Rh) ist, und daher tritt eine Separation durch Verspannung wahrscheinlich nicht auf. Somit kann die glasversiegelte LED in guter Qualität stabil hergestellt werden.

[0066] Bei der Glasversiegelung wird ein Glasmaterial mit einer relativ hohen Viskosität bei hoher Temperatur mit dem Al_2O_3 -Substrat unter Druck verbunden. Dadurch kann eine elektrische Verschaltungseinrichtung wie etwa ein Golddraht kollabieren, was zu einer elektrischen Verbindungstrennung oder einem Kurzschluss führen kann. Um dies zu vermeiden, wird das LED-Element **2** mit gewendetem Chip befestigt, und die ITO-Elektrode **30** des LED-Elements **2** wird auf der Seite des Befestigungssubstrats **32** ausgebildet. Obwohl die ITO-Elektrode **30** als transparente Elektrode bekannt ist, die eine Verbesserung beim Lichtaustritt erlaubt, wird sie verwendet, weil sie einen Wärmeausdehnungskoeffizienten ($7,7\text{--}8,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) im Wesentlichen gleich dem LED-Element **2** sowie eine große Verbindungs Kraft mit GaN aufweist. Daher tritt aufgrund des ITO die Separation der Elektrode selbst bei einem Glasversiegelungsvorgang bei einer Temperatur über 500°C wahrscheinlich nicht auf.

[0067] Alternativ kann das Elektrodenmaterial AZO (ZnO:Al), IZO ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$, **90-10** Gew.-%) abgesehen von dem ITO sein. Zudem können andere leitende Metalloxyde verwendet werden, die Eigenschaften wie die Kontaktelektrodenschicht aufweisen, und einen Wärmeausdehnungskoeffizienten im Wesentlichen gleich dem LED-Element **2** besitzen, und die über eine derartige Verbindungs Kraft mit der Halb-

leiterschicht verfügen, welche die Separation der Elektrode vermeiden kann. Obwohl bei den vorstehend beschriebenen Beispielen das LED-Element **2** derart ausgebildet ist, dass die Schichten auf GaN-Basis auf dem Saphirsubstrat (mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) aufgewachsen sind, kann es derart ausgebildet sein, dass die Schichten auf GaN-Basis auf einem Siliziumkarbid- oder GaN-Substrat (mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) aufgewachsen sind, und das ITO ist darauf als die p-Kontaktelektroden-schicht **30** ausgebildet.

[0068] Obwohl bei dem sechsten Beispiel ITO als Kontaktelektrodenschicht mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten gleich der Vorrichtung verwendet wird, kann Rhodium (Rh) (mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) anstelle des ITO verwendet werden. Wenn Rhodium verwendet wird, kann die Lichtaustrittscharakteristik verbessert werden, da es außerdem als Lichtreflektionsschicht dient. Alternativ kann eine Au/Co-Schicht verwendet werden, auf der eine Passivierungsschicht aus SiO₂ oder SiN oder ähnlichem zum Schutz der Peripherie ausgebildet wird.

[0069] Bei Experimenten der Erfinder wurde bestätigt, dass die Separation der Elektrode nicht erzeugt wird, wenn das LED-Element **2**, das nicht auf dem Befestigungssubstrat befestigt ist, einer Wärmebehandlung bei 600°C in der bekannten Struktur unterworfen wird, bei der die Rhodiumschicht auf der gesamten Oberfläche der p-GaN-Kontaktschicht **25** ausgebildet ist, und bei der die Goldschicht für eine Verbindungskontaktfläche auf der gesamten Oberfläche der Rhodiumschicht ausgebildet ist. Wenn jedoch das LED-Element **2** auf dem glasenthaltenden Al₂O₃-Substrat befestigt und mit Glas versiegelt ist, ist es aufgrund der bei der Befestigung erzeugten Wärmeverspannung schwierig, die Separation der Elektrodenschicht sicher zu vermeiden. Falls daher die Verbindungskraft mit der p-GaN-Kontaktschicht **25** gering ist, und die Differenz im Wärmeausdehnungskoeffizienten groß ist, ist es erforderlich, dass die Goldschicht für eine Verbindungskontaktfläche teilweise in einer Größe nach Bedarf ausgebildet ist, und dass das Befestigungssubstrat einen Wärmeausdehnungskoeffizienten im Wesentlichen gleich dem des LED-Elements **2** aufweist.

[0070] Die Goldkontakteflächenelektrode **31** kann abgesehen von Au aus Ag ausgebildet sein. Dadurch kann die Lichtabsorption durch die Kontaktflächen-elektrode reduziert werden.

[Siebtes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0071] Fig. 10 zeigt eine Unteransicht eines LED-Elementes (gesehen von seiner Elektronenausbildungssoberfläche) gemäß dem siebten Beispiel.

[0072] Das LED-Element **2**, das ein Chip mit großer Ausdehnung von $1000 \mu\text{m}$ im Quadrat ist, ist mit einer n-Elektrode **26**, die aus einer Vielzahl von auf der n-GaN-Mantelschicht **22** ausgebildeten Goldkontakteflächenelektroden **31** zusammengesetzt ist, sowie einer p-Kontaktelektrodenschicht **30** versehen, die aus ITO ausgebildet ist, und auf der eine Vielzahl von Goldkontakteflächenelektroden **31** ausgebildet sind.

[0073] Die n-Elektrode **26** ist wie ein zwischen Streifen der p-Kontaktelektrodenschicht **30** zwischengelagerter Kamm ausgebildet, so dass die Stromausbreitungseigenschaft zur p-GaN-Schicht verbessert ist, und sie weist zwei darauf ausgebildete Goldkontakteflächenelektroden **31** auf.

[0074] Die p-Kontaktelektrodenschicht **30** ist in einem Bereich mit Ausnahme der n-Elektrode ausgebildet, und sie weist achtzehn in vorgegebenen Intervallen darauf ausgebildete Goldkontakteflächenelektroden **31** auf.

(Wirkungen gemäß dem siebten Beispiel)

[0075] Bei dem siebten Beispiel wird selbst bei dem im Vergleich zu einem LED-Element **2** mit normaler Größe signifikant durch Wärmeverspannung beeinflussten LED-Element **2** mit starker Ausdehnung die p-Kontaktelektrodenschicht **30** wahrscheinlich nicht von der Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis separiert, wie bei dem sechsten Beispiel. Daher kann eine homogene Emission erhalten werden, ohne eine Unebenheit bei der Emission innerhalb des Emissionsbereichs zu erzeugen.

[Achtes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0076] Fig. 11A zeigt eine Schnittansicht eines LED-Elementes (das auf einem Al₂O₃-Substrat **32** befestigt ist) bei dem achten Beispiel. Fig. 11B zeigt eine Draufsicht des Al₂O₃-Substrats **32** aus Fig. 11A mit einem darauf ausgebildeten Schaltungsmuster.

[0077] Bei dem achten Beispiel ist gemäß Fig. 11A ein Dickschichtabschnitt **4A** aus Ni durch nicht elektrische Abscheidung $15 \mu\text{m}$ dick integriert mit dem auf dem Al₂O₃-Substrat **32** ausgebildeten Schaltungsmuster **4** ausgebildet. Der Dickschichtabschnitt **4A** ist mit einer auf der Nickeloberfläche ausgebildeten $0,5 \mu\text{m}$ dicken (nicht gezeigten) Goldschicht versehen.

[0078] Im Übrigen ist das LED-Element **2** nicht mit dem Goldkontaktekügelchen **5** versehen. Die anderen Bestandteile sind dieselben wie bei dem sechsten Beispiel, und deren Beschreibung wird weggelassen.

(Wirkungen gemäß dem achten Beispiel)

[0079] Bei dem achten Beispiel ist der durch nicht elektrische Abscheidung anstelle des Goldkontaktekügelchens **5** ausgebildete Dickschichtabschnitt **4A** aus Ni mit dem Schaltungsmuster **4** integriert. Daher tritt zu den Wirkungen des sechsten Beispiels hinzu, dass der Verbindungsabschnitt integriert ausgebildet werden kann. Insbesondere, wenn Mehrfachverbindungsabschnitte verwendet werden, wie es in **Fig. 11B** gezeigt ist, kann die Positionierung oder Lagesteuerung der Verbindungsabschnitte mit einem Vorrichtungsbefestigungsbereich **210** erleichtert werden, sowie der Vorgang zur Ausbildung des Goldkontaktekügelchens **5** eliminiert werden. Somit kann die Massenproduktivität der Lichtemissionsvorrichtung **1** verbessert werden.

[Neuntes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes **2**)

[0080] **Fig. 12A** zeigt eine Schnittansicht eines LED-Elementes gemäß dem neunten Beispiel. **Fig. 12B** zeigt eine Draufsicht des LED-Elementes aus **Fig. 12A**. **Fig. 12C** zeigt ein Diagramm zur Darstellung von kritischen Winkeln.

[0081] Das LED-Element **2** in Chipwendebauart ist gemäß **Fig. 12A** zusammengesetzt aus: dem Saphirsubstrat **20**; einer aus einer Halbleiterverbindung auf GaN-Basis ausgebildeten n-GaN-Schicht **201**; einer auf der n-GaN-Schicht **201** ausgebildeten Lichtemissionsschicht **202**; einer p-GaN-Schicht **203**; einer n-Elektrode **26**, die auf einem Teil der durch Entfernen der p-GaN-Schicht **203** durch die n-GaN-Schicht **201** durch einen Ätzvorgang freigelegte n-GaN-Schicht **201** ausgebildet ist; einem ITO (Indium-zinnoxid) **240**, das auf der p-GaN-Schicht **203** ausgebildet ist, und einen Brechungsindex ($n = 1,8$) kleiner dem des Halbleiters auf GaN-Basis ($n = 2,4$) aufweist; sowie einer aus Rhodium ausgebildete p-Rh-Elektrode **205** mit einem hohen Brechungsindex. Die n-GaN-Schicht **201**, die Lichtemissionsschicht **202** und die p-GaN-Schicht **203** setzen die Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis zusammen. Eine (nicht gezeigte) Goldkontaktekügelchenelektrodenschicht zum Kontaktieren mit Verbindungshügeln bei der Befestigung ist auf einer gegebenen Verbindungsposition der p-Rh-Elektrode **205** teilweise ausgebildet.

[0082] Bei dem neunten Beispiel dient das Saphirsubstrat **20** als ein lichtdurchlässiger Abschnitt, der eine Lichtdurchlasscharakteristik für eine Emissionswellenlänge von aus der Lichtemissionsschicht **202**

emittiertem blauen Licht aufweist. Das ITO **204** und die p-Rh-Elektrode **205** sind auf der unter der Lichtemissionsschicht **202** angeordneten Befestigungsoberflächenseite angeordnet, und setzen einen Lichtreflexionsabschnitt zusammen, wobei die Endfläche des LED-Elementes **2** freigelegt ist. Das ITO **204** arbeitet als leitende Totalreflexionsschicht, während sie eine Lichtdurchlasscharakteristik aufweist.

[0083] Die Halbleiterschicht auf GaN-Basis kann durch ein bekanntes Verfahren ausgebildet werden, d.h. metallorganische chemische Gasphasenabscheidung (MOCVD), Molekularstrahlepitaxie (MBE), Hydridgasphasenepitaxie (HVPE), Zerstäuben, Ionenplattieren, Elektronenduschen oder ähnliche. Das LED-Element **2** kann als Homo-, Hetero- oder Doppelheterostruktur ausgebildet sein. Das LED-Element **2** kann eine Quantentopstruktur (Einzel- oder Multiquantentopstruktur) enthalten.

[0084] **Fig. 12B** zeigt eine Draufsicht des LED-Elementes **2**, wobei **Fig. 12A** einem entlang einer Linie D-D geschnittenen Schnittansicht entspricht. Die Darstellung zeigt, dass die p-Rh-Elektrode **205** die n-Elektrode **26** umgebend ausgebildet ist, und die Lichtemissionsschicht **202** emittiert Licht in dem Bereich, wo die p-Rh-Elektrode **205** ausgebildet ist.

[0085] **Fig. 12C** zeigt ein Diagramm zur Darstellung des Verhaltens von blauem Licht innerhalb der Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis gemäß dem neunten Beispiel. Von dem aus der Lichtemissionsschicht **202** in die Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis emittierten Licht wird der in die Grenzfläche zwischen dem Saphirsubstrat **20** und der Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis in einem größeren Winkel als ein kritischer Winkel auf der Grundlage der Differenz von deren Brechungsindizes eindringende Lichtanteil nicht nach außen abgestrahlt und in der Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis als in Schichtrichtung ausgebreitetes Licht einbehalten. Das in der Schichtrichtung ausgebreitete Licht pflanzt sich fort, während es zwischen dem ITO **204** und dem Saphirsubstrat **20** oder zwischen der p-Rh-Elektrode **205** und dem Saphirsubstrat **20** reflektiert wird. Das meiste Licht breite sich in der Schichtrichtung aus, ohne die p-Rh-Elektrode **205** aufgrund des ITO **204** zu erreichen.

(Wirkungen gemäß dem neunten Beispiel)

[0086] Da bei dem neunten Beispiel das ITO **204** mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten gleich der Halbleiterschicht zwischen der p-GaN-Schicht **203** und der p-Rh-Elektrode **205** angeordnet ist, wird die Elektrodenschicht wahrscheinlich nicht von der p-GaN-Schicht **203** separiert.

[0087] Ferner ist das in der Schichtrichtung ausgebreitete Licht, das in die Grenzfläche unter einem größeren Winkel als ein kritischer Winkel basierend auf

den Brechungsindexverhältnissen von GaN und ITO zu der p-Rh-Elektrode **205** eindringt, der Totalreflexion unterworfen. Daher erreicht es die p-Rh-Elektrode **205** nicht und wird in der Schicht einbehalten, ohne aus der Halbleiterschicht **200** auf GaN Basis nach außen abgestrahlt zu werden. Dadurch kann der Metallabsorptionsverlust vermieden werden, der erzeugt wird, wenn in der Schichtrichtung ausgebreitete Licht auf der p-Rh-Elektrode **205** reflektiert wird. Dies kann die Dämpfung des in der Schichtrichtung ausgebreiteten Lichts auf kurze Distanz vermeiden.

[0088] Obwohl in **Fig. 12A** die GaN-Schicht zur Beschreibung dick dargestellt ist, ist sie tatsächlich eine dünne Schicht von mehreren Mikrometern. Deswegen weist das in Schichtrichtung ausgebreitete Licht eine große Durchschnittszahl an Reflexionen auf. Selbst wenn ein Metall mit einem hohen Reflexionsvermögen von 90 % verwendet wird, muss der Einfluss durch Absorptionsverluste hoch sein. Somit können die Absorptionsverluste signifikant reduziert werden.

[0089] Als solches kann das in der Schichtrichtung ausgebreitete und zwischen dem Saphirsubstrat **20** und dem ITO **204** reflektierte Licht von der Seitenfläche des LED-Elementes **2** nach außen abgestrahlt werden. Die äußere Abstrahlungseffizienz kann somit verbessert werden.

[0090] Obwohl bei dem neunten Beispiel das ITO **204** als transparentes Dielektrika als Schicht mit niedrigem Brechungsindex zwischen der Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis und der p-Rh-Elektrode **205** angeordnet ist, können andere Schichten mit geringem Brechungsindex wie etwa InGaN ($n = 2,1$), $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$:90-10 Gew.-%, sowie AZO (ZnO:Al)-IZO ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$):90-10 Gew.-% verwendet werden. Vorzugsweise wird jedoch ein Material mit geringem Brechungsindex gewählt, so dass das in Schichtrichtung ausgebreitete Licht auf der Grundlage von Totalreflexion ansteigt.

[0091] Das ITO weist eine größere Bindungskraft mit GaN als mit Rh auf. Zudem ist die Oberfläche des ausgebildeten ITO aufgeraut. Daher steigt die Bindungskraft des Rh mit dem ITO.

[0092] Daher tritt die Separation der Elektroden-Schicht im Vergleich zu einer unmittelbar mit GaN verbundenen Rhodiumschicht wahrscheinlich nicht auf.

[0093] Außerdem ist das als p-Elektrode verwendete Material mit hohem Reflexionsvermögen nicht auf Rhodium beschränkt, und ein anderes Material wie etwa Ag kann verwendet werden. Es sei jedoch angemerkt, dass die Schichtdicke im Falle eines Materials mit einem großen Wärmeausdehnungskoeffizienten nicht mehr als nötig ansteigt.

[0094] Wenn die Befestigungsoberfläche für die Wendechipbefestigung des LED-Elementes **2** ein hohes Reflexionsvermögen aufweist, kann alternativ das Material mit hohem Reflexionsvermögen weggelassen werden, ohne die vorstehend beschriebene Kombination aus transparentem Dielektrika und Material mit hohem Reflexionsvermögen zu verwenden. Im Falle eines Verbindungshalbleiters auf GaAs-Basis kann beispielsweise eine aus einer Mehrfachschicht mit Materialien verschiedener Brechungsindizes zusammengesetzte Bragg-Reflexionsschicht verwendet werden, wenn das Material mit hohem Reflexionsvermögen weggelassen wird.

[0095] Obwohl bei dem neunten Beispiel das LED-Element **2** aus der auf dem Saphirsubstrat **20** aufgewachsenen Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis zusammengesetzt ist, kann das LED-Element **2** ein GaN-Substrat aufweisen, oder das Saphirsubstrat **20** kann nach dem Aufwachsen der Halbleiterschicht **200** auf GaN-Basis abgehoben werden. Selbst im Falle des Abhebens des Saphirsubstrats **20** ist in der Form im Wesentlichen enthalten, dass die Halbleiterschicht auf dem Saphirsubstrat **20** ausgebildet ist, und von einer entsprechenden Lichtemissionsschicht emittiertes Licht nach außen austritt. Zudem kann das LED-Element **2** aus einem von GaN verschiedenen Material ausgebildet sein.

[Zehntes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0096] **Fig. 13** zeigt eine Schnittansicht eines (auf einem Al_2O_3 -Substrat **32** befestigten) LED-Elementes gemäß dem zehnten Beispiel.

[0097] Bei dem vorliegenden Beispiel ist anstelle des gemäß dem sechsten Beispiel verwendeten Goldkontaktekügelchens **5** eine Ni-Schicht **33** 15 μm dick durch nicht elektrisches Plattieren auf dem auf der Oberfläche des Al_2O_3 -Substrats **32** ausgebildeten Schaltungsmuster **4** ausgebildet. Eine (nicht gezeigte) Goldschicht ist 0,5 μm dick auf der Oberfläche der Ni-Schicht **33** ausgebildet.

(Wirkungen gemäß dem zehnten Beispiel)

[0098] Da bei dem zehnten Beispiel die dicke Ni-Schicht **33** durch nicht elektrisches Plattieren auf der Seite des LED-Elementes **2** integriert ausgebildet ist, kann der dicke Abschnitt gemäß der Form der n-Elektrode **26** und der p-Kontaktelektrodenschicht **30** leicht ausgebildet werden. Dadurch kann die Leistungsfähigkeit des Herstellungsvorgangs verbessert werden. Außerdem kann die Befestigungseigenschaft durch die auf der Seite des LED-Elementes **2** ausgebildeten Ni-Schicht **33** verbessert werden, wo eine hohe Genauigkeit beim Positionieren des Schaltungsmus-

ter **4** und des LED-Elementes **2** erforderlich ist. Dadurch kann die Ausbeute verbessert werden.

[Elftes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0099] Fig. 14 zeigt eine Draufsicht eines (von seiner Elektrodenausbildungsoberfläche gesehenen) LED-Elementes gemäß dem elften Beispiel.

[0100] Bei dem elften Beispiel ist eine n-Elektrode **26** radial vom Zentrum des LED-Elementes **2** ausgebildet, und die p-Kontaktelektronenschicht **30** ist auf der die n-Elektrode **26** umgebende p-GaN-Schicht ausgebildet. Die bei dem neunten Beispiel beschriebene Ni-Schicht **33** ist auf der n-Elektrode **26** und der p-Kontaktelektronenschicht **30** ausgebildet. Die n-Elektrode **26** ist radial auf einem Teil der durch Entfernen der p-GaN-Schicht durch Ätzen in diagonaler Richtung der Elektrodenausbildungsoberfläche freigelegten n-GaN-Schicht ausgebildet. Dadurch kann die Stromverteilungseigenschaft der p-GaN-Schicht verbessert werden.

(Wirkungen gemäß dem elften Beispiel)

[0101] Bei dem elften Beispiel tritt zu den Wirkungen gemäß dem neunten Beispiel hinzu, dass die Stromverteilungseigenschaft durch die radial von dem Zentrum des LED-Elementes **2** ausgebildete n-Elektrode **26** verbessert werden kann. Die durch nicht elektrisches Plattieren ausgebildete Ni-Schicht **33** weist bezüglich ihren Dimensionen einen Freiheitsgrad auf. Daher können die Befestigungskontaktflächenelektroden (die Ni-Schicht **33**) an einer geeigneten Position und in geeigneter Form ausgebildet werden, selbst wenn das Elektrodenmuster nach vorstehender Beschreibung ausgebildet wird. Im Einzelnen ist die n-Elektrodenkontakte **33** im Zentrum des LED-Elementes **2** angeordnet, und die p-Elektrodenkontakte **33** sind auf vier Seiten der p-Kontaktelektronenschicht **30** ausgebildet, so dass sie bei der Befestigung Stabilität zeigen, und sie sind verkleinert, um einen Kurzschluss mit der n-Elektrode **26** selbst bei einer leichten Deformation bei der Befestigung zu vermeiden.

[Zwölftes Beispiel]

(Zusammensetzung des LED-Elementes 2)

[0102] Fig. 15 zeigt eine Draufsicht eines (von ihrer Elektrodenausbildungsoberfläche gesehenen) LED-Elementes gemäß dem zwölften Beispiel.

[0103] Bei dem zwölften Beispiel ist die Ni-Schicht **33** auf der n-Elektrode **26** ausgebildet, und eine Vielzahl von rechteckigen (oder quadratischen) Ni-Schichten **33** sind in vorgegebenen Intervallen wie In-

seln auf der p-Kontaktelektronenschicht **30** mit Ausnahme der n-Elektrode **26** ausgebildet.

(Wirkungen gemäß dem zwölften Beispiel)

[0104] Bei dem zwölften Beispiel tritt bezüglich des zehnten Beispiels hinzu, dass die Verbindungsfläche der p-Kontaktelektronenschicht **30** mit dem Schaltungsmuster **4** erhöht werden kann. Dadurch kann die Stromführungseigenschaft und die Wärmeabstrahlungseigenschaft des LED-Elementes **2** verbessert werden. Da hierbei die Ni-Schicht **33** (Befestigungskontaktflächen) mit einem hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten nicht kontinuierlich sondern wie Inseln bezüglich der anderen Bestandteile ausgebildet ist, kann die bei einer hohen Temperatur erzeugte Wärmeverspannung reduziert werden.

[0105] Die Festkörperelementvorrichtungen gemäß vorstehender Beschreibung werden auf die Lichtermissionsvorrichtung **1** unter Verwendung des LED-Elementes **2** als Festkörperelement angewendet. Das Festkörperelement oder die Festkörperelementvorrichtung ist jedoch nicht auf die Lichtermissionsvorrichtung **1** beschränkt. Sie kann beispielsweise auf eine Festkörperelementvorrichtung angewendet werden, bei der ein Lichtempfangselement als Festkörperelement auf einem Substrat befestigt und mit Glas versiegelt ist. Das Versiegelungsmaterial ist nicht auf ein transparentes Material beschränkt und kann ein anorganisches Material sein, das durch Kristallisation leicht vernebelt ist, sowie eine Lichtdurchlasscharakteristik aufweist. Es kann zudem ein von dem anorganischen Material verschiedenes Harzmaterial sein, falls es eine Temperatur überdauern kann, bei der eine Wärmeverspannung wie etwa bei einem Rückflussvorgang ein Problem sein kann.

[0106] So umfasst ein Festkörperelement eine auf einem Substrat ausgebildete Halbleiterschicht, wobei die Halbleiterschicht eine erste Schicht, die einem Emissionsbereich des Festkörperelementes entspricht, und eine zweite Schicht umfasst, durch die der ersten Schicht Strom zugeführt wird; eine Lichtaustrittsoberfläche, durch die von der ersten Schicht emittiertes Licht nach außen austritt, wobei die Lichtaustrittsoberfläche auf der Seite des Substrats angeordnet ist; sowie eine Elektrode mit einer Vielzahl von Bereichen, die aus einem leitenden Material ausgebildet ist, und die in ohmschen Kontakt mit der zweiten Schicht steht.

Patentansprüche

1. Herstellverfahren für eine Festkörperelementvorrichtung, wobei das Verfahren aufweist:
Anordnen einer Glasplatte aus einem Glasmaterial mit niedrigem Schmelzpunkt parallel zu einem Befestigungssubstrat (3), auf dem ein Festkörperelement (2) befestigt ist, und dann

Heißpressen der Glasplatte, so dass das Glasmaterial mit dem Befestigungssubstrat (3) verbunden wird, um einen anorganischen Versiegelungsabschnitt (6) zu bilden, der das Festkörperelement (2) versiegelt, wobei das Festkörperelement (2) eine Mehrfachschichtelektrode (27) sowie einen Verbindungsabschnitt (5) aufweist, der mit einem auf dem Befestigungssubstrat (3) ausgebildeten Leiterbahnabschnitt (4) verbunden ist, wobei das Festkörperelement (2) eine Halbleiterschicht (21-25), die auf einem Substrat (20) ausgebildet ist, aufweist, wobei die Halbleiterschicht eine erste Schicht (23), die einem Emissionsbereich des Festkörperelementes (2) entspricht, und eine zweite Schicht (25) aufweist, durch die der ersten Schicht (23) Strom von der Mehrfachschichtelektrode (27) zugeführt wird; wobei eine Lichtaustrittsoberfläche, durch die von der ersten Schicht (23) emittiertes Licht nach außen austritt, auf der Seite des Substrats (20) angeordnet ist; wobei die Mehrfachschichtelektrode (27) ein erstes leitendes Material (27A) aufweist, das in ohmschem Kontakt mit der zweiten Schicht (25) steht; die Mehrfachschichtelektrode (27) einen oder mehrere Bereiche aufweist, die das erste leitende Material (27A) aufweisen und einen Teil einer Oberfläche der zweiten Schicht (25) bedecken; ein zweites leitendes Material (27B, 27D) einen anderen Teil der Oberfläche der zweiten Schicht (25) bedeckt; das zweite leitende Material (27B, 27D) verschieden von dem ersten leitenden Material (27A) ist und einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, der näher bei dem der Halbleiterschicht (21-25) als bei dem des ersten leitenden Materials (27A) liegt.

2. Herstellverfahren nach Anspruch 1, wobei das erste leitende Material (27A) Rhodium oder Chrom ist.

3. Herstellverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das zweite leitende Material (27B) Wolfram ist.

4. Herstellverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Mehrfachschichtelektrode (27) genau einen Bereich aufweist, und das zweite leitende Material (27D) Silber ist.

5. Herstellverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Mehrfachschichtelektrode (27) ferner eine Goldschicht (27C) aufweist, die das erste leitende Material (27A) und das zweite leitende Material (27B, 27D) bedeckt.

6. Herstellverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Halbleiterschicht (21-25) eine Halbleiterverbindung auf der Basis von GaN aufweist.

7. Herstellverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Befestigungssubstrat (3) einen ther-

mischen Ausdehnungskoeffizienten hat, der gleich dem des Festkörperelements (2) ist.

8. Herstellverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Festkörperelement (2) eine Lichtemissionsdiode ist.

9. Herstellverfahren nach Anspruch 8, ferner mit Unterteilen des mit dem Befestigungssubstrat (3) verbundenen anorganischen Versiegelungsabschnitts (6) durch ein Rohchipschneideelement, um eine rechteckige Lichtemissionsvorrichtung (1) zu erhalten.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

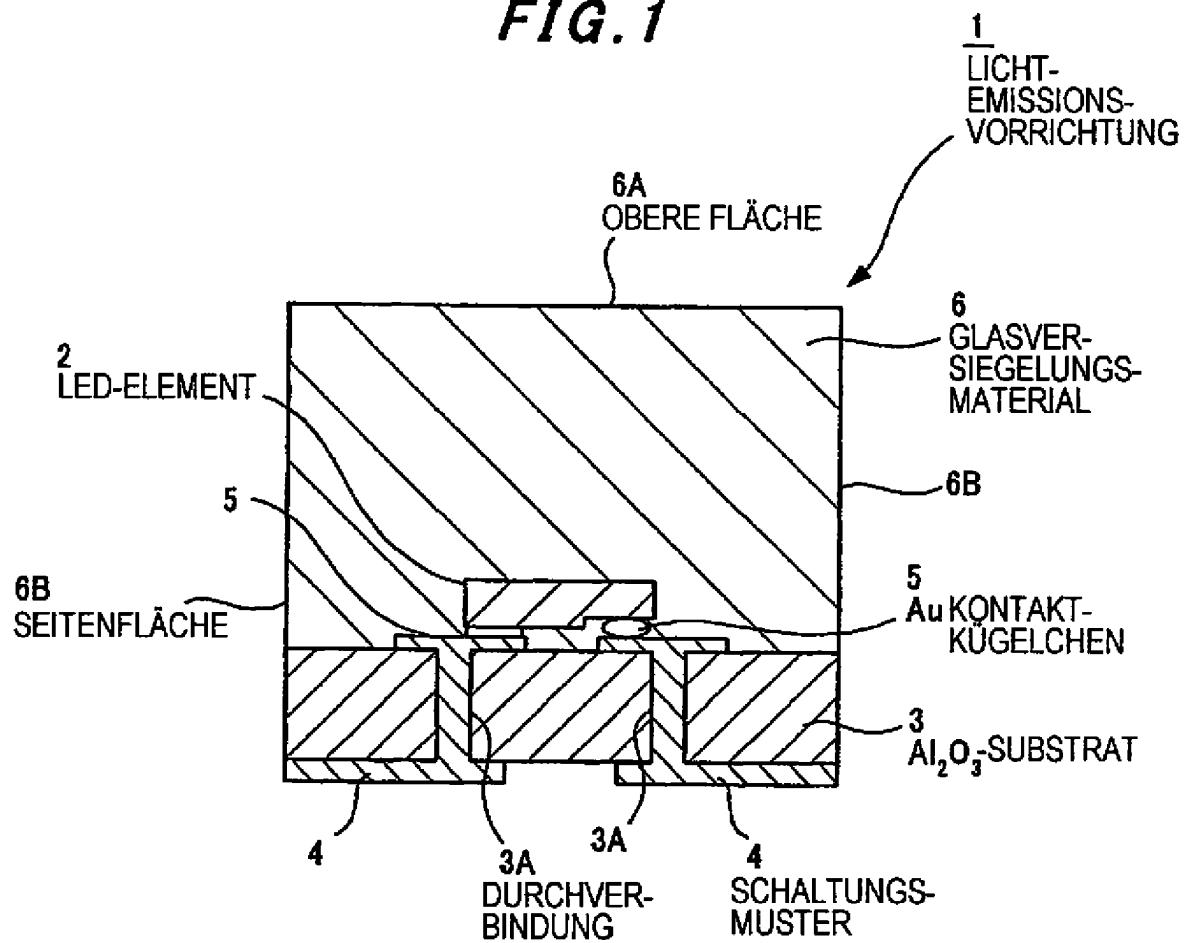
FIG. 1

FIG. 2

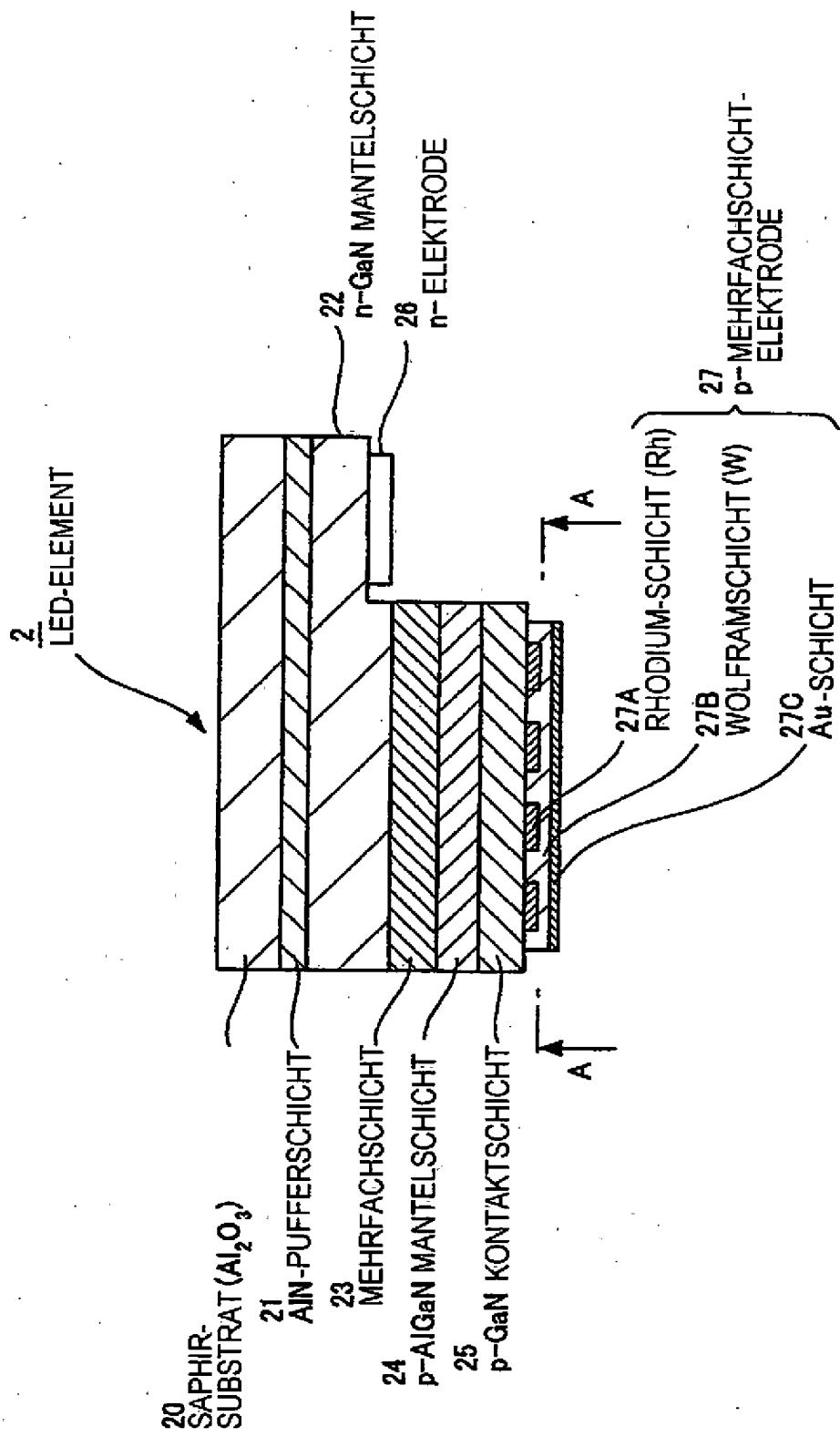


FIG. 3A

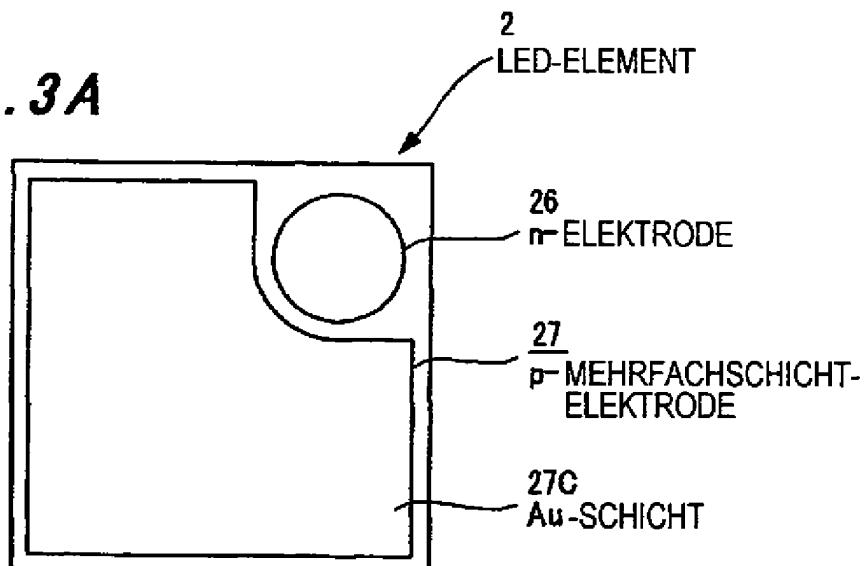


FIG. 3B

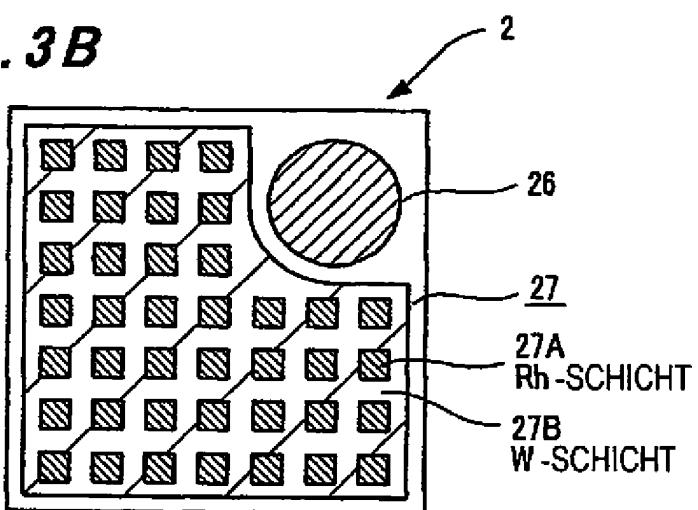


FIG. 3C

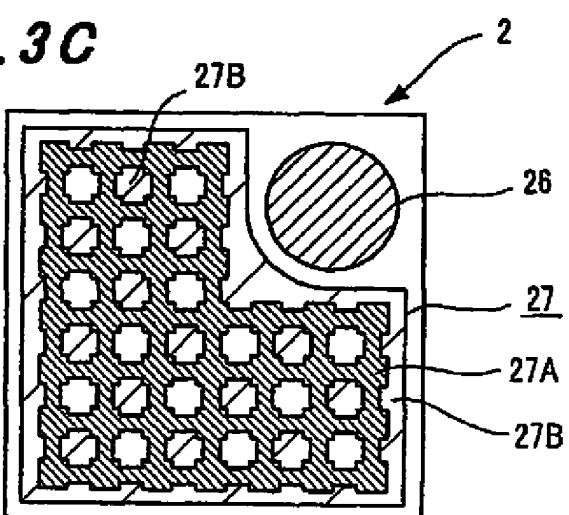


FIG. 4

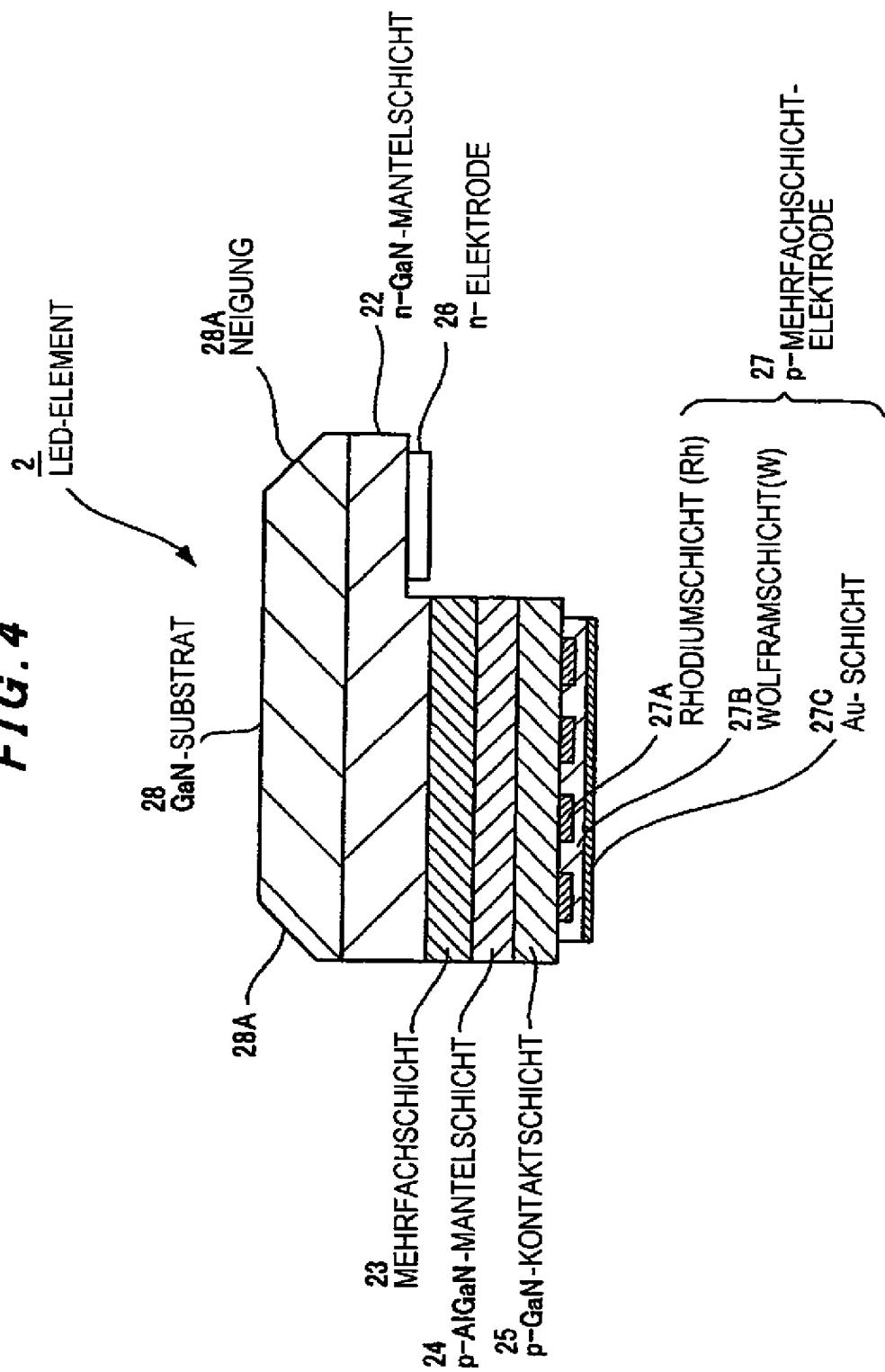


FIG. 5A $\frac{1}{2}$ LED-ELEMENT

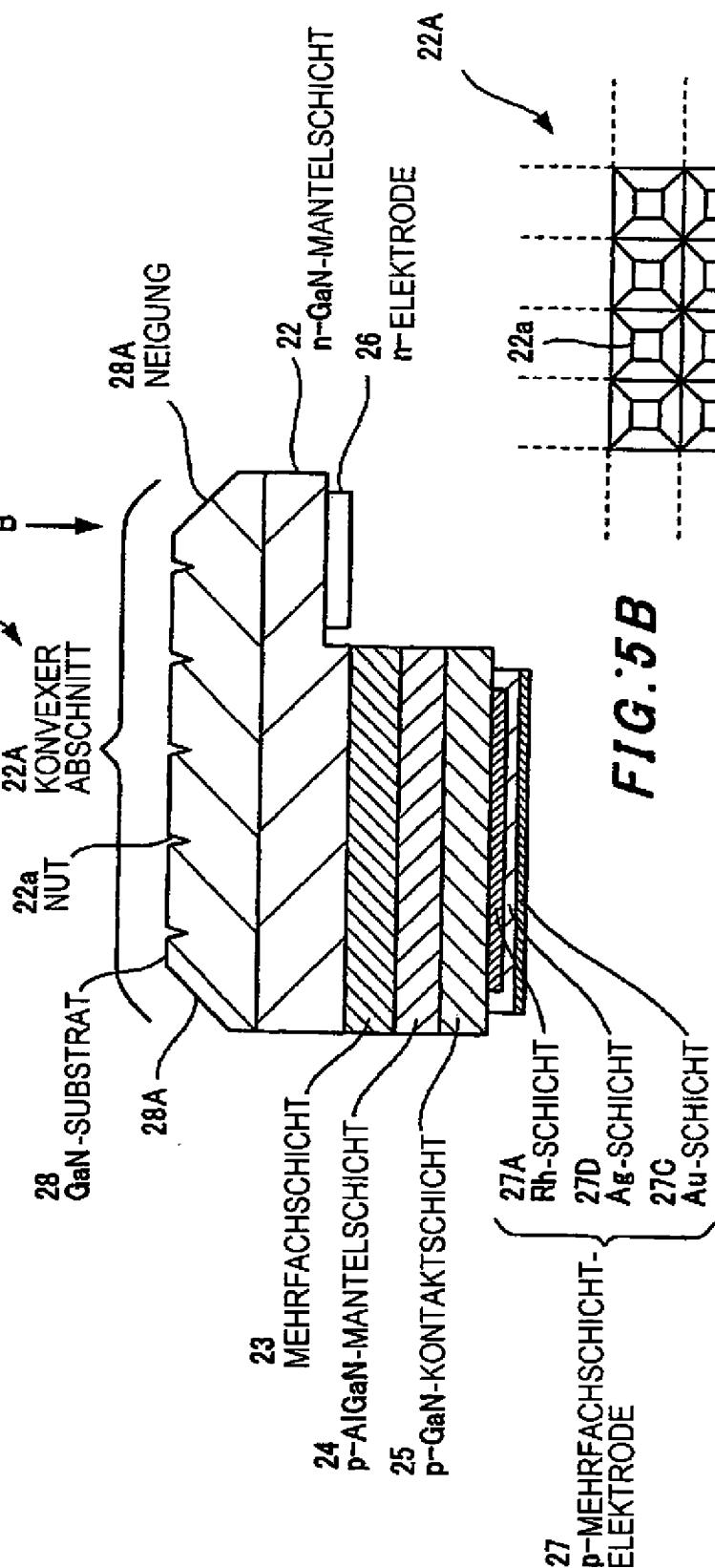


FIG. 5B

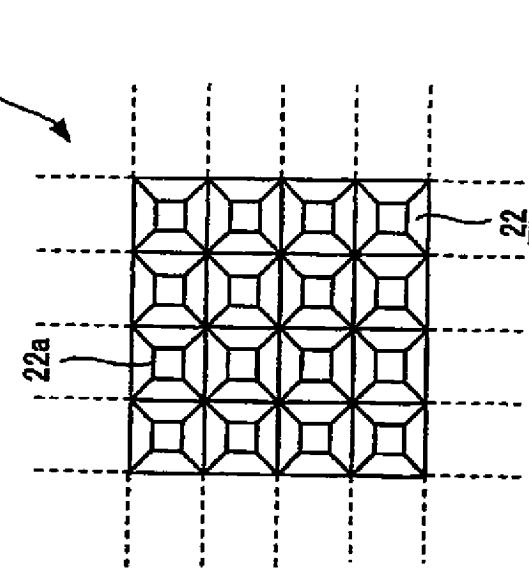


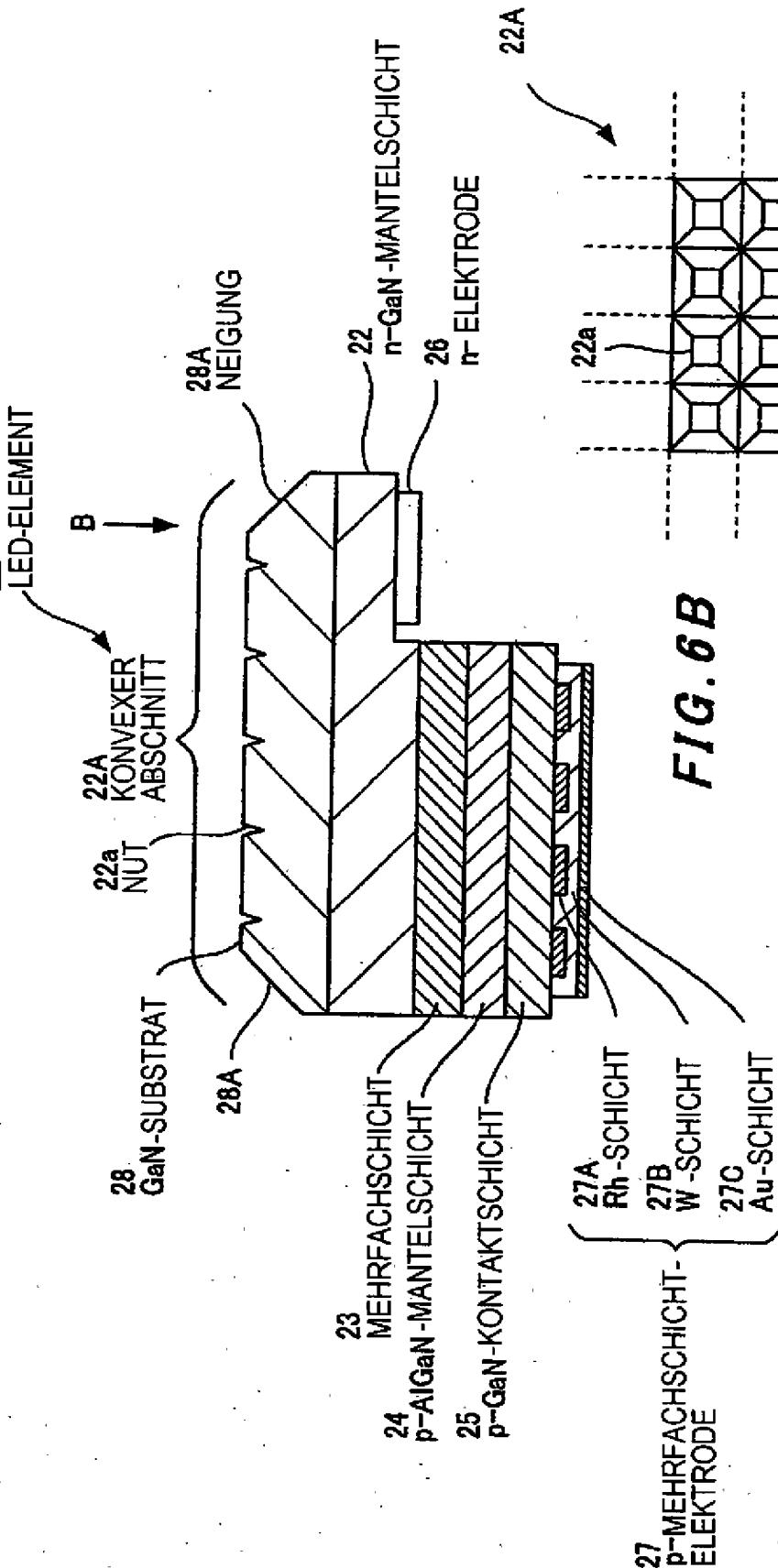
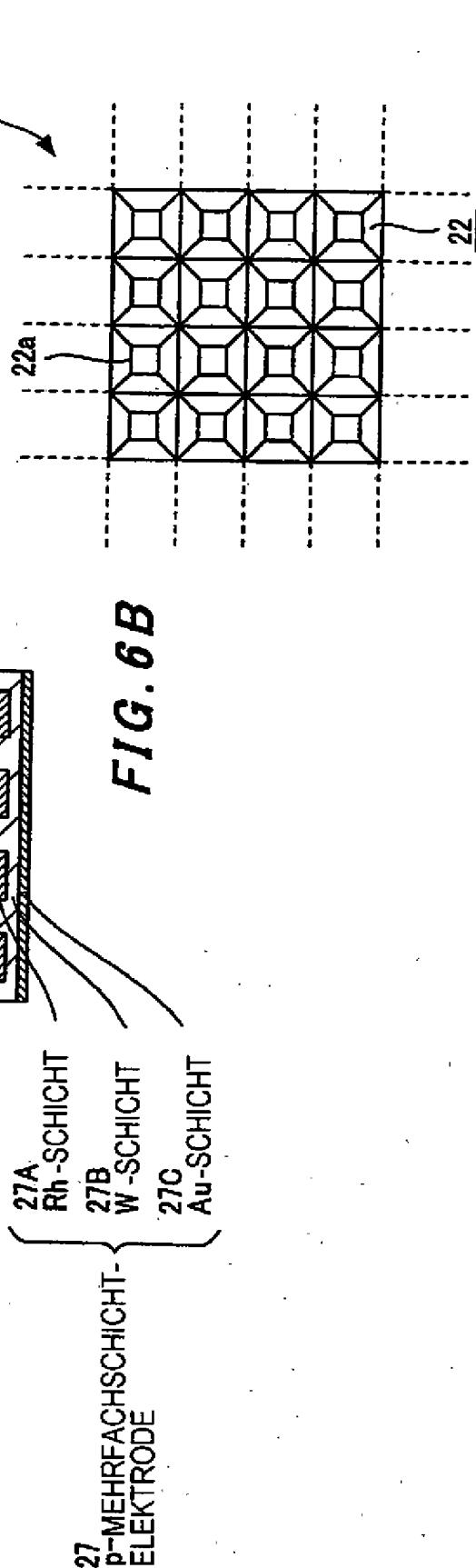
FIG. 6A**FIG. 6B**

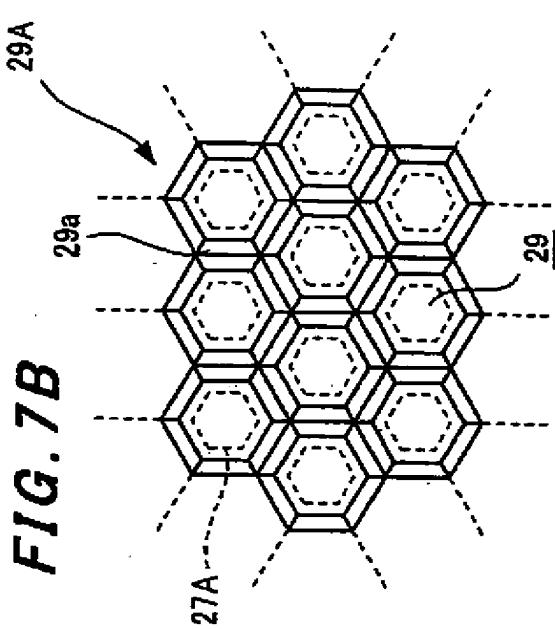
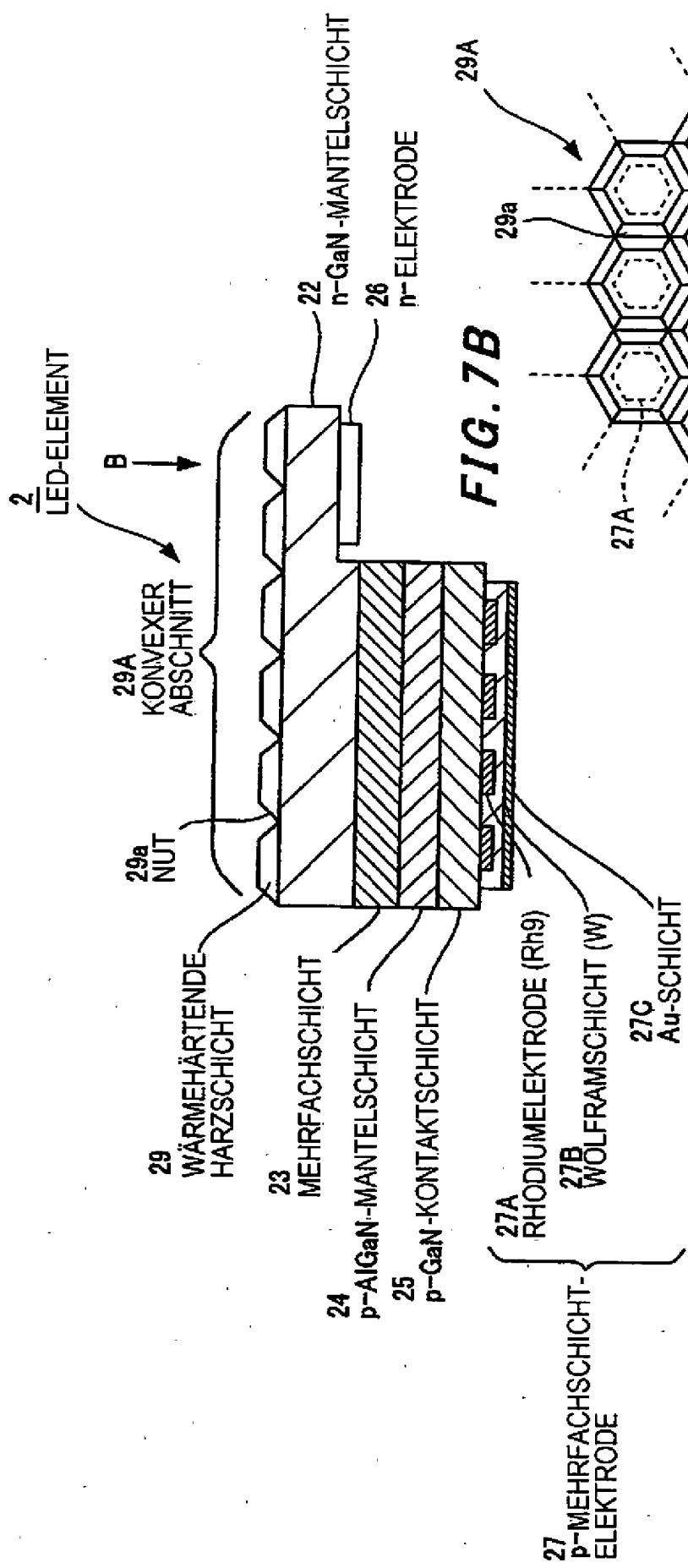
FIG. 7A

FIG. 8

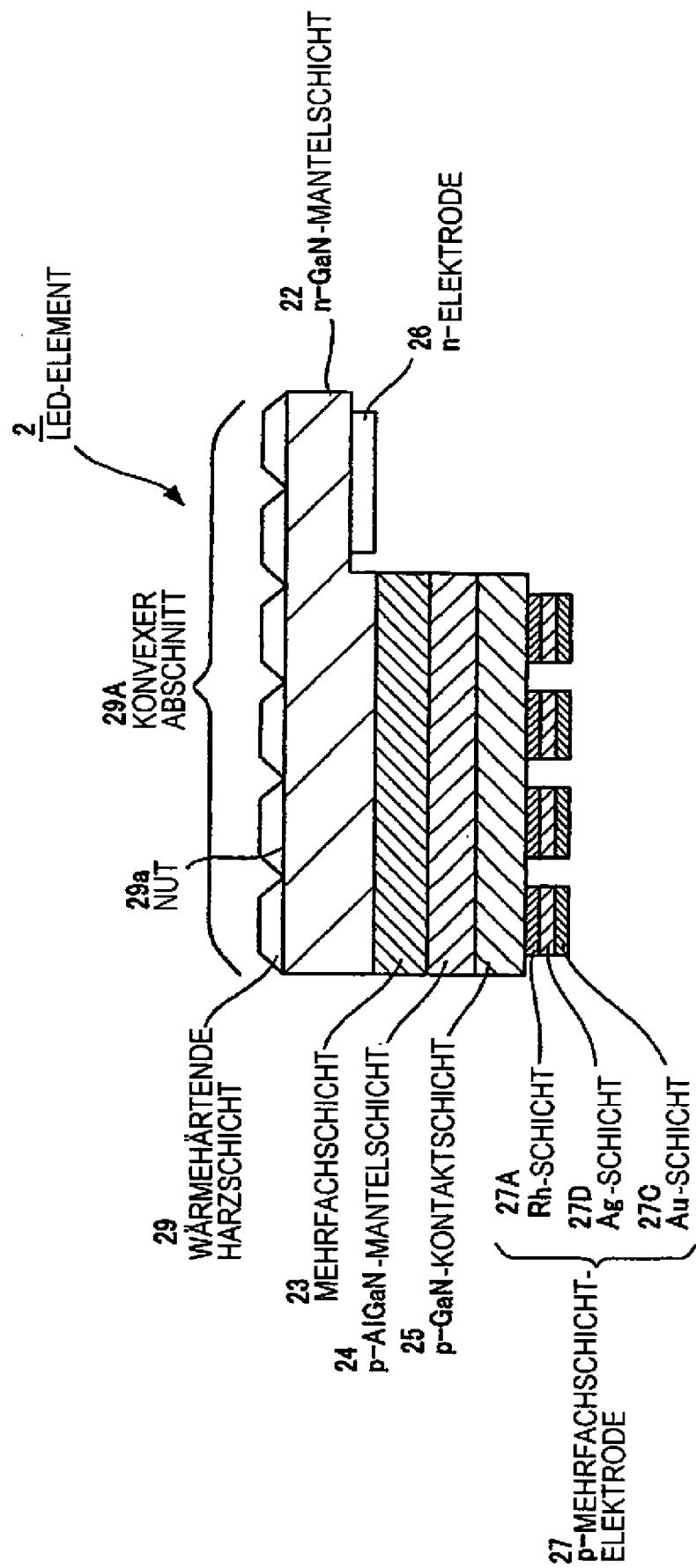


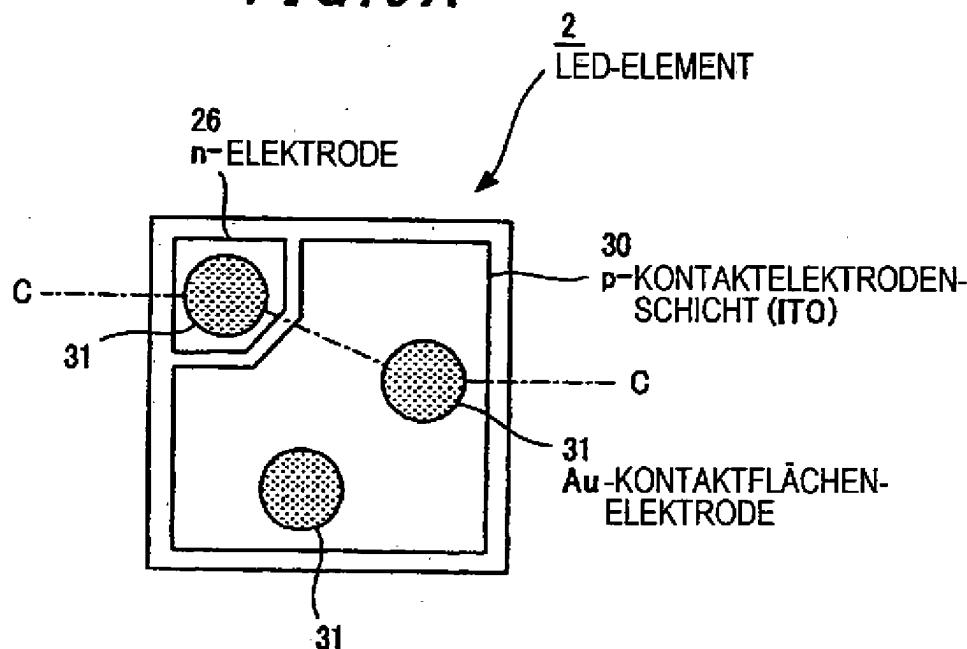
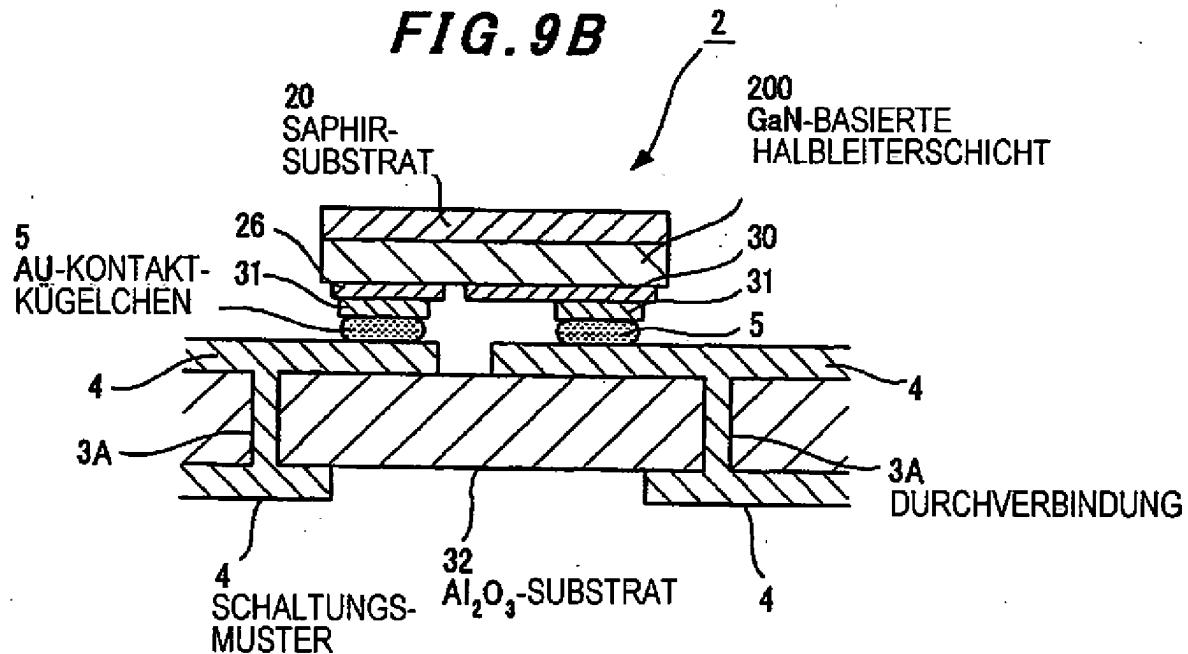
FIG. 9A***FIG. 9B***

FIG. 10

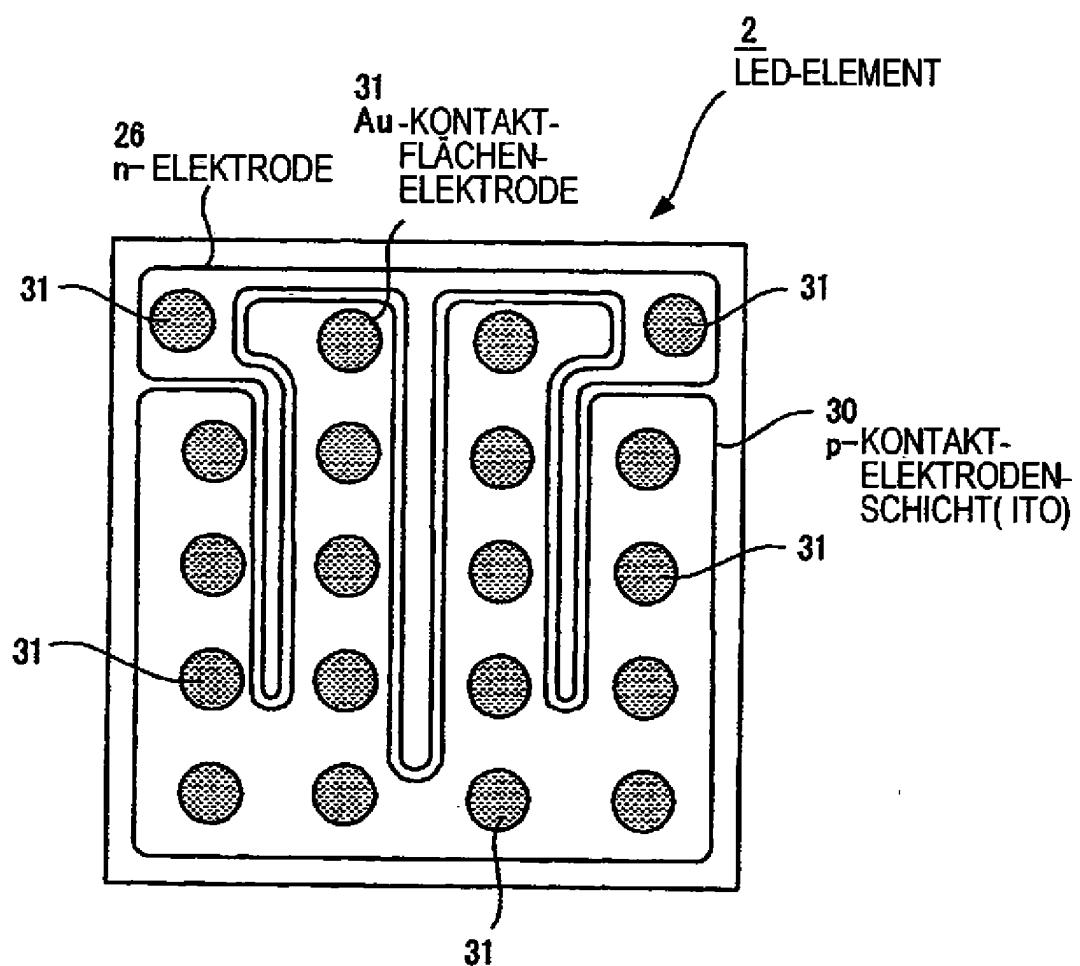
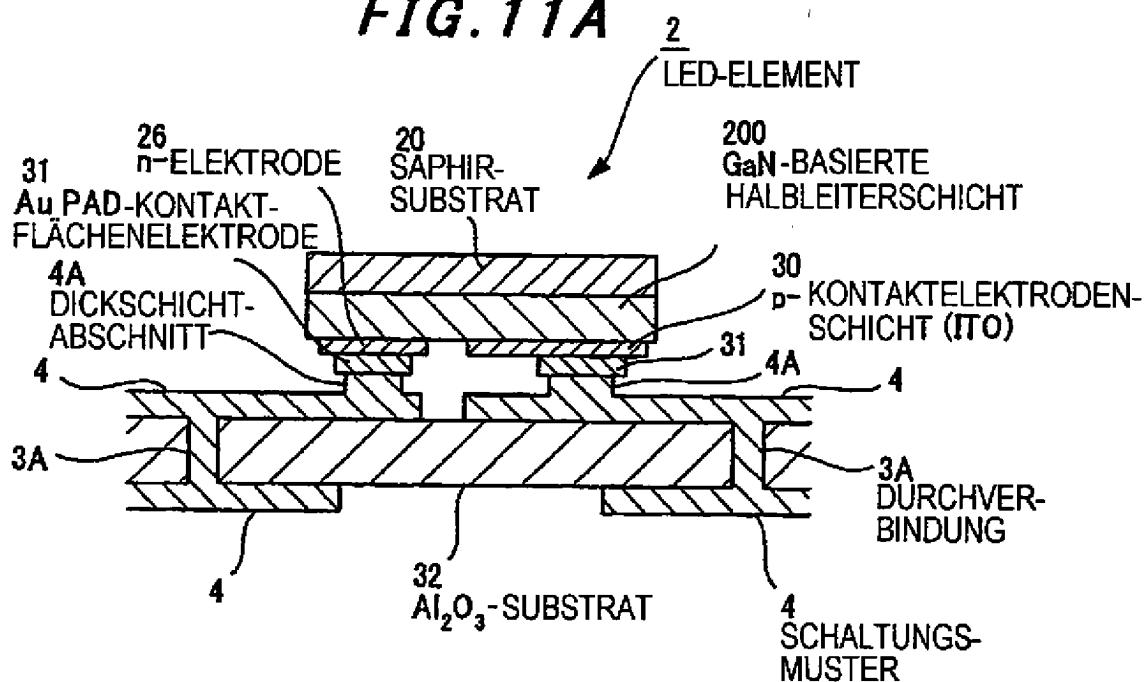
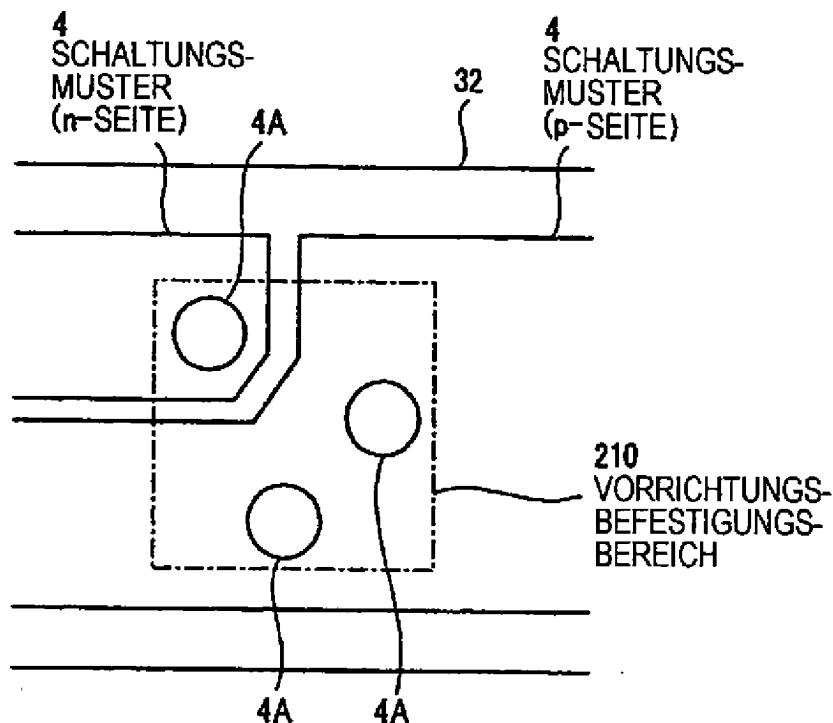
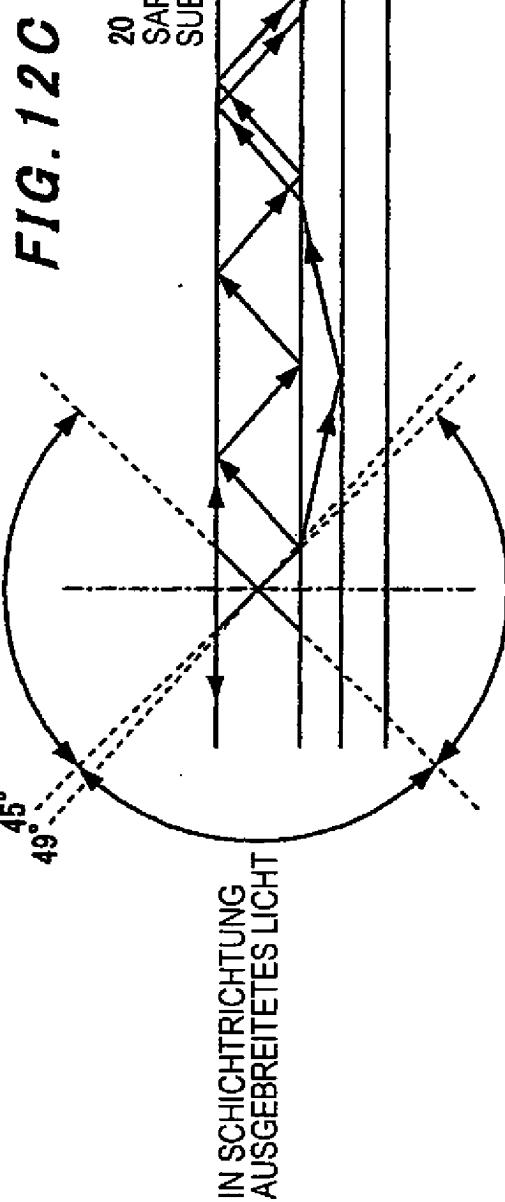
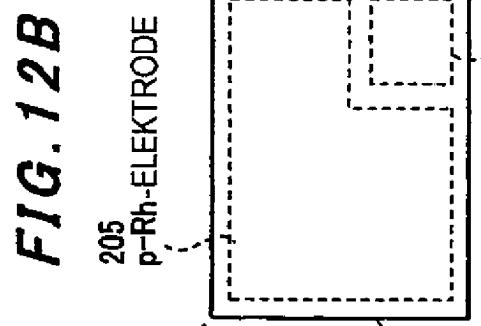
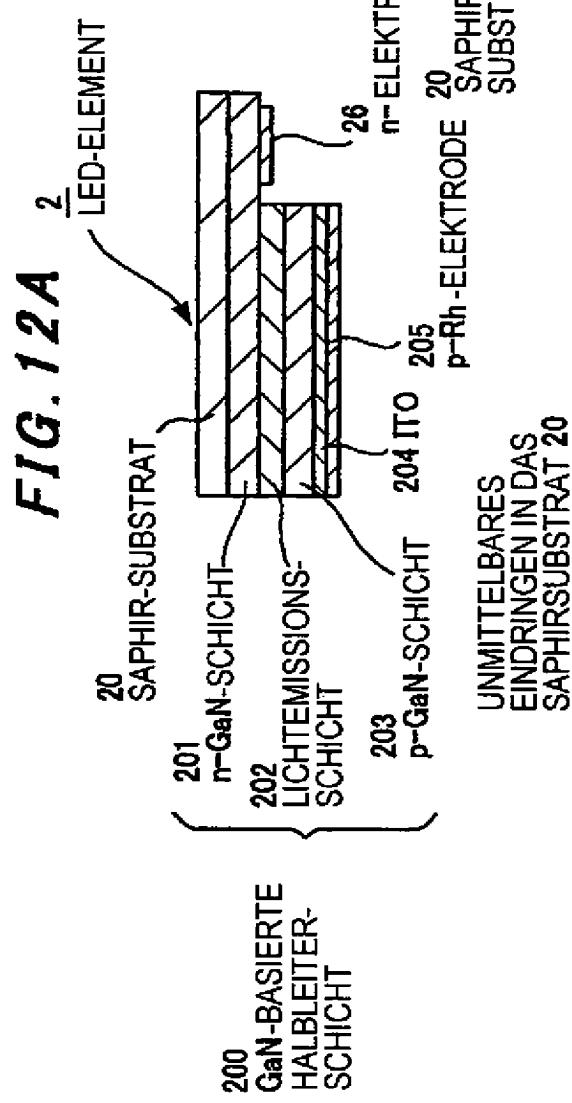


FIG. 11A***FIG. 11B***



EINDRINGEN IN DAS SAPHIRSUBSTRAT 20 NACH EINMALIGER REFLEXION AUF Rh

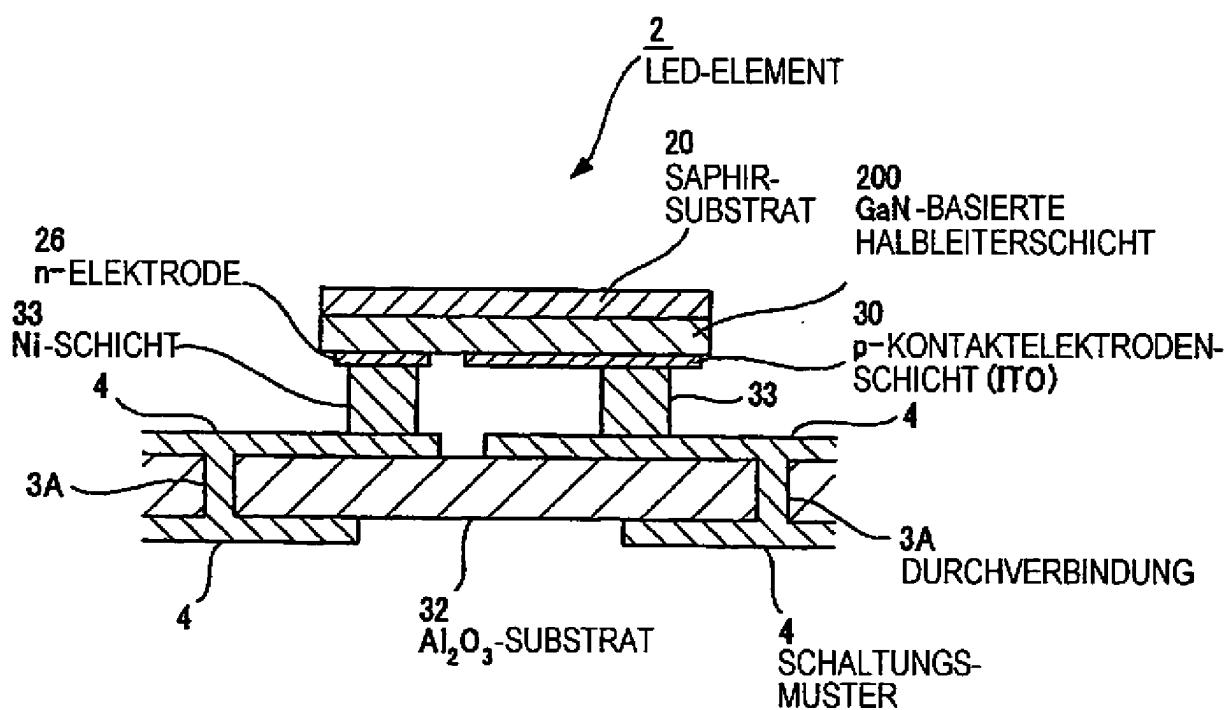
FIG. 13

FIG. 14

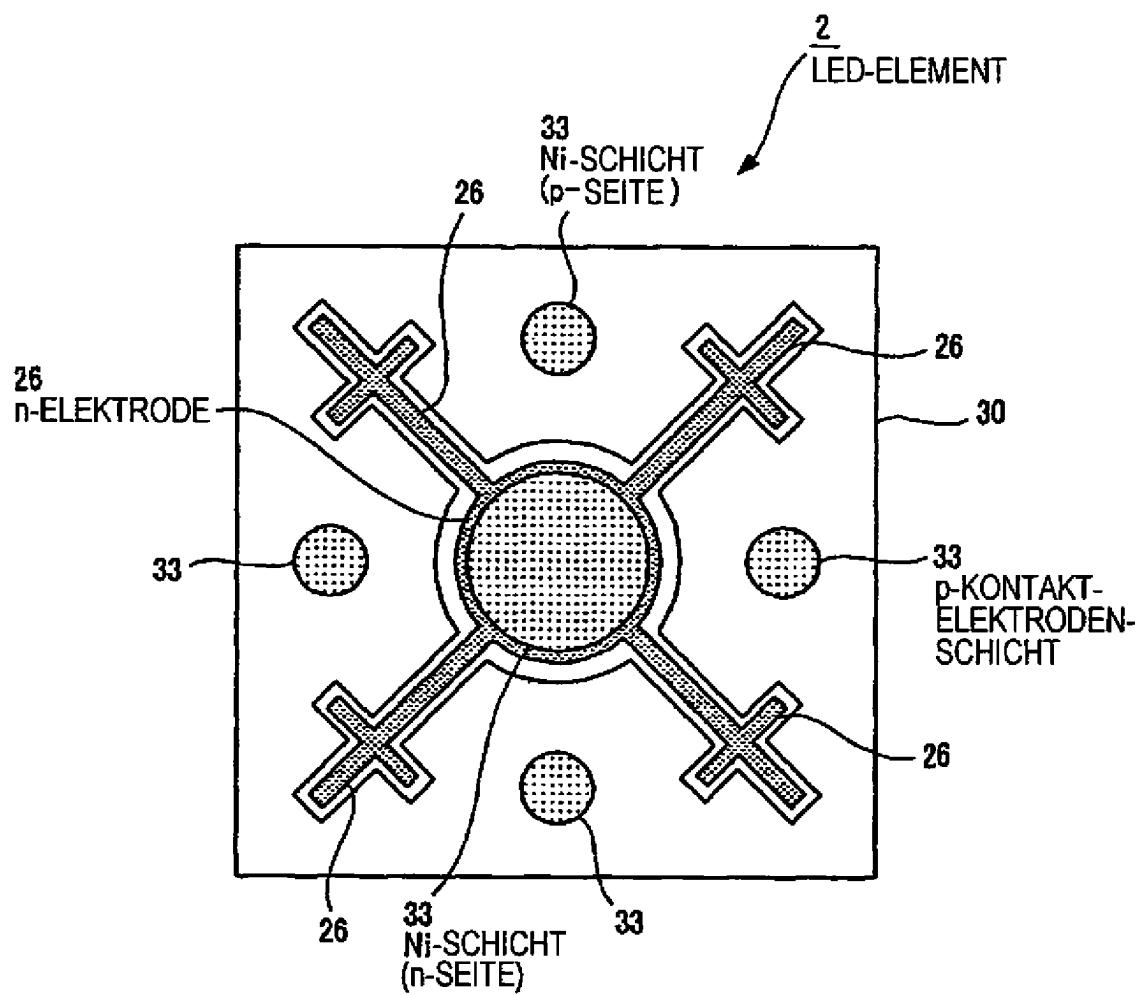


FIG. 15

