



(10) **DE 198 61 386 B4** 2014.10.30

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **198 61 386.5**  
(22) Anmeldetag: **24.02.1998**  
(43) Offenlegungstag: **10.12.1998**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **30.10.2014**

(51) Int Cl.: **H01L 33/02 (2010.01)**  
**H01L 33/36 (2010.01)**  
**H01L 33/46 (2010.01)**

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:  
**868009 03.06.1997 US**

(62) Teilung aus:  
**198 07 758.0**

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

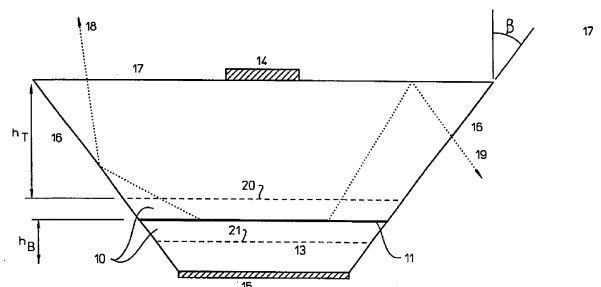
(74) Vertreter:  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler & Partner, 82049 Pullach, DE**

(72) Erfinder:  
**Krames, Michael R., Front Lane Mt. View, Calif., US; Kish jun., Fred A., San Jose, Calif., US; Tan, Tun S., Salem Ave Cupertino, Calif., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 5 087 949 A**

(54) Bezeichnung: **Lichtemittierende Halbleitervorrichtung und Verfahren zum Bilden einer lichtemittierenden Halbleitervorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Licht-emittierende Halbleitervorrichtung, die folgende Merkmale aufweist:  
eine Heterostruktur, die eine Mehrzahl von dotierten Schichten (10) vom p- und vom n-Typ aufweist, die auf einem Substrat (13) angeordnet sind, um eine p-n-Übergangsregion in oder nahe bei einer aktiven Region (11) zu schaffen;  
eine Fensterschicht (12), die auf einer ersten Seite der Heterostruktur angeordnet ist, wobei die Fensterschicht (12) gegenüber Licht, das durch die aktive Region (11) emittiert wird, im Wesentlichen durchlässig ist; und  
einen ersten elektrischen Kontakt (14) und einen zweiten elektrischen Kontakt (15), die elektrisch gekoppelt sind, um eine Spannung über die aktive Region anzulegen, wobei der erste elektrische Kontakt (14) und der zweite elektrische Kontakt (15) zu beiden Seiten des p-n-Übergangs angeordnet sind,  
wobei eine untere Seite der Fensterschicht (12) seitlich über die Heterostruktur vorsteht, wobei der erste elektrische Kontakt (14) auf der unteren Seite der Fensterschicht (12) angeordnet ist, und wobei der zweite elektrische Kontakt (15) auf einer zweiten Seite der Heterostruktur gegenüber der ersten Seite angeordnet ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung und auf ein Verfahren zum Bilden einer lichtemittierenden Halbleitervorrichtung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf das Verbessern des Lichtextraktionswirkungsgrads und auf das Erhöhen der Gesamtlichtausgabe dieser Elemente.

**[0002]** Der Extraktionswirkungsgrad von lichtemittierenden Halbleiterelementen (LEDs) ist durch den großen Kontrast zwischen den optischen Brechungsindizes von Halbleitermaterialien ( $n_s \sim 2,2$  bis  $3,6$ ) und denen der umgebenden Medien, typischerweise Luft ( $n_a \sim 1,0$ ) oder optisch transparentem Epoxidharz ( $n_e \sim 1,5$ ) begrenzt. Diese große Brechungsindizesdifferenz bewirkt, daß Photonen innerhalb des Elements mit hoher Wahrscheinlichkeit vollständig intern reflektiert werden, wenn sie auf Grenzflächen zwischen dem Halbleiter und dem Umgebungsmedium fallen.

**[0003]** Um dies zu veranschaulichen, sei ein Würfel aus GaP (optisch transparent für Wellenlängen  $> 555$  nm), der von Epoxidharz umgeben ist, betrachtet. Ein Photon  $\lambda > 555$  nm innerhalb des GaP ( $n_s \sim 3,3$ ), der auf eine der sechs Grenzflächen mit dem Epoxidharz ( $n_e \sim 1,5$ ) auftrifft, muß in einem Winkel kleiner als  $\Theta_c = \sim 27^\circ$  (bezüglich der Normalen) auftreffen, um nicht vollständig intern reflektiert zu werden, wobei dieser Prozeß als TIR bezeichnet wird (TIR = Total Internal Reflection). Dieser begrenzte Winkelbereich, in dem eine Transmission möglich ist, definiert einen "Austrittskegel" für das Photon. Wenn das Photon mit einer gleichen Emissionswahrscheinlichkeit aus dem GaP in einer beliebigen Richtung innerhalb von 4 Steradianen emittiert wird, beträgt die Wahrscheinlichkeit des Auftreffens auf eine der Grenzflächen innerhalb eines Austrittskegels 33%. Unter Berücksichtigung der Fresnel-Reflexion beträgt die Wahrscheinlichkeit für das Photon, damit es tatsächlich in das Epoxidharz transmittiert wird, 28,4%.

**[0004]** Kommerzielle LEDs sind nicht-ideale Elemente, die viele optische Verlustmechanismen enthalten, z. B. eine Reabsorption der aktiven Schicht, eine Absorption innerhalb interner epitaxialer Schichten, eine begrenzte Reflektivität des ohmschen Kontakts, eine Absorption von freien Ladungsträgern innerhalb dotierter Regionen. Insbesondere können bei Elementen mit Emissionsschichten mit niedrigem internen Quantenwirkungsgrad die Verlustmechanismen aufgrund der aktiven Schicht das extrahierbare Licht auf nur die Photonen begrenzen, die aus dem Element austreten, ohne dass sie einen zweiten Durchlauf durch die aktive Schicht nach der Emission vollführen. Dies bedeutet eine Grenze für den erreichbaren Extraktionswirkungsgrad solcher Elemente auf nicht mehr als 28,4% (basierend auf der obigen Berechnung). Anschaulich dargestellt beträgt der

Absorptionskoeffizient für einen Band-zu-Band-Prozess bei der Emissionswellenlänge etwa  $10^4 \text{ cm}^{-1}$ . Ein Photon, das einen einzigen Durchlauf durch eine Emissionsschicht mit einer typischen Dicke von  $1 \mu\text{m}$  vollführt, wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 63% absorbiert. Für ein Material mit niedrigem Quantenwirkungsgrad ist die Wahrscheinlichkeit einer Reemission als Photon relativ niedrig, beispielsweise  $\sim 10\%$ . Somit beträgt die Wahrscheinlichkeit erster Ordnung, dass das anfängliche Photon absorbiert wird und in einen nicht-strahlenden Prozess umgewandelt wird 57%. Das Problem wird durch andere Verlustmechanismen und durch die Tatsache verschärft, dass eine Mehrheit von Photonentrajektorien mehr als nur die vertikale Dicke der aktiven Schicht durchlaufen. Somit ist ein großer Teil des Lichts, das aus dem Element austritt, Licht, das durch die Halbleiter/Umgebungs-Grenzflächen unmittelbar beim ersten Auftreffen auf eine solche Grenzfläche transmittiert wird. Dieses Licht ist ein Licht des "ersten Durchlaufs". **Fig. 1** zeigt ein schematisches Diagramm, das Licht des ersten Durchlaufs und bestimmte der vorher erwähnten Photonenverlustmechanismen und Austrittswege darstellt. "Mehrfach-Durchlauf"-Licht ist das Licht, das erst dann aus dem Chip austritt, nachdem es mehrmals die Oberflächen des LED-Chips getroffen hat.

**[0005]** Bestimmte Verluste können reduziert werden, indem die Dicke der lichtemittierenden aktiven Region und irgendwelcher anderer absorbierender Schichten verringert wird. Fundamentale Begrenzungen im Materialwachstum und der Bauelementphysik (z. B. Trägerbegrenzung, Zwischenflächenrekombination) begrenzen die minimale Dicke der aktiven Schicht, bei der vernünftige Strahlungswirkungsgrade erreicht werden können. Die Auswahl der Dicke der aktiven Schicht (für ein Material mit niedrigem Strahlungswirkungsgrad) ist ein Kompromiss zwischen dem internen Strahlungswirkungsgrad und dem Extraktionswirkungsgrad. Elemente mit den höchsten erreichbaren Extraktionswirkungsgraden entstehen aus Halbleiter-LED-Struktur-entwürfen, die dafür sorgen, dass ein großer Teil des intern emittierten Lichts ein Licht des ersten Durchlaufs ist. In der Tat stehen selbst in Strukturen mit relativ hohem internen Quantenwirkungsgrad Verluste aufgrund ohmscher Kontakte und aufgrund einer Absorption freier Ladungsträger immer noch Entwürfen entgegen, die eine höhere Extraktion von Licht vom ersten Durchlauf bieten. Ein Lösungsansatz, um die Lichtextraktion zu verbessern, besteht darin, die Form oder Geometrie des Chips zu modifizieren.

**[0006]** Eine solche Form ist ein Element in der Form eines invertierten abgeschnittenen Kegels, wobei der p-n-Übergang an oder nahe an (innerhalb mehrerer  $\mu\text{m}$ ) der Abschnideebene positioniert ist, wie es von Franklin u. a. in Journal of Applied Physics, Bd. 35, 1153 (1964), offenbart ist. Das Element zeigt verbes-

serte Lichtemissionscharakteristika in der Vorwärtsrichtung und einen verbesserten externen Wirkungsgrad. Die geformten Seitenwände des kegelförmigen Abschnitts lenken Licht, das auf diese Oberfläche einfällt, zu der oberen Oberfläche bei nahezu normalem Einfallswinkel um. In *Infrared Physics* 6, 1 (1966) hat Carr bestimmt, dass es eine minimale obere Fensterhöhe gibt, über der der Wirkungsgrad nicht länger zunimmt. Derselbe hat ferner einen optimalen Winkel  $\beta_m = (\pi/2 - \theta_c)/2$  vorgeschlagen, wobei  $\theta_c$  der kritische Winkel für die totale interne Reflexion ist, wobei der optimale Winkel einen maximalen Wirkungsgrad liefern soll. Diese Analyse vernachlässigt die interne Absorption und Sekundärreflexionen. Das gemessene Licht wird nur von der oberen Oberfläche des Elements emittiert. Für Anwendungen mit hohem Fluss sind diese Elemente (Franklin u. a. und Carr) darin suboptimal, dass sie kein Seitenlicht verwenden, das 40% oder mehr des gesamten extrahierten Lichts einer LED ausmachen kann. Ebenfalls verwendet ein solches Element keinen Heteroübergang und würde einen reduzierten Injektionswirkungsgrad bei Zimmertemperatur erleiden, wenn derselbe mit den veröffentlichten Daten bei  $T = 77\text{ K}$  verglichen wird. Ferner ist das obere Extraktionsfenster für dieses Element mit Homoübergang nicht transparent für einen wesentlichen Teil der Photonen, die innerhalb der p-n-Übergang-Aktivregion erzeugt werden. Da der interne Quantenwirkungsgrad von GaAs-LEDs typischerweise nahe bei 100% liegt (besonders bei  $T = 77\text{ K}$ ), zeigt der relativ niedrige gemessene Wert des externen Quantenwirkungsgrads ( $< 10\%$  in Luft), dass das Weglassen der Seitenlichtsammlung und die schlechte Transparenz zu einem wesentlich reduzierten Extraktionswirkungsgrad bei diesem Elemententwurf beitragen.

**[0007]** In "Sov. Phys. Tech. Phys. 23, 476 (1978)" offenbarten Alferov u. a. eine andere geformte LED mit einer Doppelmesastruktur, die den Extraktionswirkungsgrad verbessert, indem Abprallwege geschaffen werden, die die aktive Region und die hintere Oberfläche des Elements vermeiden, und zwar für ein Mehrfach-Durchlauf-Licht. Ein Mesaätzen der Seitenwandoberflächen erlaubt keine Steuerung bezüglich des Winkels der Seitenwände, welcher ein wichtiger Parameter für die Lichtextraktion und die Chipkosten ist. Ebenfalls zeigt das Doppelmeselement ein Flächen-Verhältnis von der oberen Oberfläche zu der aktiven Fläche in der Größenordnung von 9 oder mehr. Dieses Flächen-Verhältnis ist die Anzahl von Elementen, die pro Einheitsfläche auf einem Wafer erhalten werden können. Da die Reduktion des Flächenenertrags ( $\sim 9\times$ ) wesentlich größer als der betrachtete Gewinn im Extraktionswirkungsgrad ( $< 3\times$  im Vergleich zu herkömmlichen Geometrien) ist, ist dieser Elementlösungsansatz für eine kosteneffektive hochvolumige Herstellung nicht geeignet.

**[0008]** Gemäß der US 5 087 949 A offenbart Haitz eine LED mit diagonalen Seiten für eine verbesserte Lichtextraktion. Die aktive Schicht in den LEDs ist nahezu neben der Basis mit größerer Fläche (von dem imaginären Scheitelpunkt der Pyramidenform weg) positioniert. Folglich profitieren lichtemittierende Regionen in der Nähe des Umfangs der aktiven Schicht nicht so von den angewinkelten Seiten wie es in den mittleren Regionen der aktiven Schicht ist. Daher sind die Gewinne im effektiven Extraktionswirkungsgrad bei einem solchen Element begrenzt.

**[0009]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung und ein Verfahren zum Bilden einer lichtemittierenden Halbleitervorrichtung zu schaffen, um auf wirtschaftliche Art und Weise lichtemittierende Elemente mit verbessertem Extraktionswirkungsgrad zu erhalten.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung gemäß Anspruch 1 und durch ein Verfahren gemäß Anspruch 13 gelöst.

**[0011]** Durch Formen eines lichtemittierenden Halbleiterelements (LED), derart, dass die Seitenoberfläche (die Seitenoberflächen) in einem Winkel (in Winkeln) ausgerichtet ist (sind), die bezüglich der Richtung senkrecht zu der Ebene der lichtemittierenden Schicht versetzt sind, wird die gesamte Lichtextraktion erhöht. Durch Verwenden eines p-n-Heteroübergangs für einen hohen Injektionswirkungsgrad und durch Verwenden von transparenten Fenstern für eine optische Extraktion mit niedrigem Verlust, sowohl an der oberen als auch an den Seitenoberflächen, werden hohe externe Gesamtquantenwirkungsgrade erreicht. Schließlich sind die Elemententwürfe und Herstellungstechniken für eine hochvolumige Herstellung geeignet. Verfahren zum Schaffen von transparenten Fenstern mittels Wafer-Bonden und epitaxialem Neuwachstum erlauben ein genaues Positionieren des p-n-Übergangs und ermöglichen eine Steuerung sowohl über die Elementcharakteristika als auch über den Ertrag. Der bevorzugte Elemententwurf verbessert den gesamten Extraktionswirkungsgrad, während ein vernünftiger Grad an erhaltenen Elementen pro Einheitsfläche auf einem Wafer beibehalten wird.

**[0012]** Die Elementform liefert einen optischen Weg von der aktiven Schicht zu dem Umgebungsmedium, wodurch Begegnungen mit den optischen Verlustmechanismen, die innerhalb des Elements vorhanden sind, minimiert werden. Diese Funktion wird durch geformte Seitenwände erreicht, die Licht zu der oberen Oberfläche des Elements innerhalb des kritischen Winkels der Transmission in die Umgebung hin reflektieren, und wodurch ferner ermöglicht wird, dass TIR-Licht von der oberen Oberfläche aus den geformten Seitenwänden entweichen kann. Somit wird die

Extraktion von Licht des ersten Durchlaufs erhöht. Während Licht zur Transmission in die Umgebung ausgerichtet wird, schaffen die geformten Seitenwände ferner auf inhärente Art und Weise ein relativ größeres Volumen aus Material mit niedrigem Verlust, durch das Photonen eine Anzahl von Malen laufen können, ohne dass sie der absorbierenden aktiven Schicht oder einem absorbierenden ohmschen Kontakt begegnen, d. h. der Raumwinkelquerschnitt der aktiven Schicht und des ohmschen Kontakts sind bezüglich des Falls eines herkömmlichen Chips reduziert. Ferner erfordert das geformte Element keine übermäßigen mehrfachen Durchläufe oder nicht vertretbar lange mittlere Fluglängen für Photonen innerhalb des Elements vor der Transmission, weshalb ein solches Element nicht so außerordentlich unter der Absorption von freien Ladungsträgern leidet.

**[0013]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detaillierter erläutert. Es zeigen:

**[0014]** Fig. 1 ein schematisches Diagramm, das Lichtwege in einem herkömmlichen lichtemittierenden Element darstellt;

**[0015]** Fig. 2 eine Seitenansicht eines Beispiels eines lichtemittierenden Halbleiterelements;

**[0016]** Fig. 3 experimentelle Lichtextraktionsgewinne für beispielhafte lichtemittierende Halbleiterelemente;

**[0017]** Fig. 4 weitere experimentelle Lichtextraktionsgewinne;

**[0018]** Fig. 5 eine Draufsicht auf ein Beispiels eines lichtemittierenden Halbleiterelements;

**[0019]** Fig. 6 eine Draufsicht auf ein alternatives Beispiel eines lichtemittierenden Halbleiterelements

**[0020]** Fig. 7 ein Verfahren zum Erhöhen des Flächenertrags bei einem lichtemittierenden Halbleiterelement;

**[0021]** Fig. 8 Beziehungen zwischen dem Flussgewinn und den Chipkosten für verschiedene lichtemittierende Halbleiterelemente;

**[0022]** Fig. 9 Vorteile der beschriebenen Beispiele;

**[0023]** Fig. 10 eine Seitenansicht eines weiteren Beispiels eines lichtemittierenden Halbleiterelements; und

**[0024]** Fig. 11 ein Ausführungsbeispiel, das einen elektrischen Kontakt für sowohl p als auch n hat,

wobei die Kontakte dieselbe Oberflächenausrichtung aufweisen.

**[0025]** Eine Seitenansicht eines Beispiels eines lichtemittierenden Halbleiterelements LED ist in **Fig. 2** gezeigt. Die LED umfasst eine Heterostruktur, die eine Mehrzahl von dotierten Epitaxialschichten **10** vom p- und vom n-Typ aufweist, die auf einem Substrat, wie z. B. GaAs, GaP oder Saphir, aufgewachsen sind. Die p- und die n-Schicht sind angeordnet, um eine p-n-Übergangsregion in oder nahe bei einer aktiven Region **11** zu schaffen. Der resultierende Heteroübergang schafft einen hohen Injektionswirkungsgrad bei Zimmertemperatur und ist für Elemente in Hochleistungsanwendungen wesentlich. Die Flächenausdehnung der p-n-Übergangsregion definiert die aktive Elementfläche. Für Hoch-Fluss-Anwendungen ist die aktive Elementfläche vorzugsweise größer als  $0,0968 \text{ mm}^2$  ( $150 \text{ mil}^2$ ).

**[0026]** Das Wachstumssubstrat kann optional entfernt werden und mittels Wafer-Bonden ersetzt werden (siehe beispielsweise US 5 376 580 A, US 5 376 580 A von Kish et al.) oder neu aufgewachsen werden, um ein neues Substrat mit vorteilhaften Charakteristika zu schaffen. Dies ist wünschenswert, wenn das Wachstumssubstrat die Lichtwellenlänge absorbiert, die aus der aktiven Region emittiert wird. Wafer-Bonden kann verwendet werden, um das Befestigen einer transparenten Fensterschicht mit beliebiger Dicke zu ermöglichen. Eine Schicht ist transparent, wenn ihr optischer Absorptionskoeffizient geringer als  $20 \text{ cm}^{-1}$  bei der Wellenlänge ist, die dem Substratenergiebandabstand des Materials im aktiven Bereich entspricht.

**[0027]** Ein transparentes Substrat oder eine Schicht bzw. Fensterschicht **12**, ein Fenster zur Lichtextraktion (und Stromspreizung) ist die obere Fensterschicht für das Element. Auf ähnliche Art und Weise kann eine Fensterschicht **13** zur Lichtextraktion (und Stromspreizung) an den epitaxialen Schichten auf der Seite gegenüber der oberen Fensterschicht mittels Wafer-Bonden, epitaxialem Wachstum oder Neuwachstum angebracht werden, um die untere Fensterschicht zu werden. Diese Flexibilität ermöglicht es, dass die aktive Schicht beliebig innerhalb des Elements positioniert werden kann, wodurch die Möglichkeit erleichtert wird, einen Kompromiss zwischen dem Anstieg der Lichtausgabe und dem Ertrag an aktiver Fläche pro Einheitsfläche eines Wafers zu schaffen.

**[0028]** Obere und untere elektrische ohmsche Kontakte **14**, **15**, die an den Fensterschichten angebracht sind, erlauben die Injektion von Elektronen und Löchern in die p-n-Übergangsregion zur Rekombination und entsprechenden Erzeugung von Licht aus der aktiven Region. Für Hochleistungsanwendungen sollte der Widerstand jedes Kontakts geringer als 2 Ohm sein. Vorzugsweise ist der spezifische Kontaktwider-

stand jedes Kontakts geringer als  $5 \times 10^{-5}$  Ohm-cm<sup>2</sup>, um Kontakte mit niedrigem Widerstand und kleineren Flächen zu schaffen. Dies ermöglicht es, die Verdeckung und Absorption, die durch die Kontakte bewirkt wird, zu minimieren. Der p- und der n-Typ-Ohmkontakt können in einer einzigen Oberflächenausrichtung des Elements hergestellt werden, um die Drahtbondverbindungen zu minimieren, und um die Lichtverdeckung, die durch einen oberen Kontakt bewirkt wird, zu reduzieren.

**[0029]** Die obere Fensterschicht braucht nicht leitend sein und kann aus einem undotierten Halbleitermaterial, das kristallin oder polykristallin sein kann, oder aus einem amorphe Material mit geeigneten Eigenschaften oder auch aus einer Mischung, die aus mehreren Schichten mit unterschiedlichen Charakteristika besteht, bestehen. Das Material und die lichtemittierende Schicht haben vorzugsweise ähnliche Brechungsindizes. Zusätzlich kann einer oder beide Kontakte an einer oder allen Seitenoberflächen des Elements hergestellt werden.

**[0030]** Bei einem Beispiel sind die Seitenwände **16** des Primärfensters in einem Winkel (oder Winkeln)  $\beta$  bezüglich der vertikalen Richtung ausgerichtet, derart, dass das Flächenausmaß der oberen Oberfläche **17** größer als das der aktiven Elementfläche ist. Die Seitenwand bildet einen stumpfen Winkel bezüglich der Heterostruktur.  $\beta$  Muss nicht als Funktion der Elementhöhe (wie in **Fig. 2** gezeigt) konstant sein, sondern kann durchgehend gemäß der Elementhöhe variieren, um in entweder teilweise oder vollständig konkaven oder konvexen Seitenwandformen zu resultieren. Die Seitenwandausrichtung bewirkt, dass Licht, das auf die Seitenwände auftritt, in einen Austrittskegel an der oberen Oberfläche des Elements vollständig intern reflektiert wird, wie es durch einen Strahl **18** in **Fig. 2** gezeigt ist. Der größte Teil des Lichts, der an der oberen Oberfläche vollständig intern reflektiert wird, wird in einen Austrittskegel an den Seitenwänden umgeleitet, was durch einen Strahl **19** veranschaulicht ist. Das Seitenlicht macht etwa 40% oder mehr des gesamten extern emittierten Lichts aus. Dies resultiert in einer Zunahme der Extraktion von Licht vom ersten Durchlauf.

**[0031]** Die relative Zunahme der Oberflächenfläche der Halbleiter/Umgebung-Grenzflächen bezüglich zu der des oberen Kontakts oder der aktiven Region reduziert die Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon an diesen Regionen absorbiert wird. Dieser letztere Effekt ist, immer merkbarer, wenn der Winkel  $\beta$  und die Höhe  $h_T$  der transparenten oberen Fensterschicht erhöht werden. Obwohl die Gesamtlichtextraktion theoretisch mit zunehmendem  $\beta$  und zunehmendem  $h_T$  zunimmt, entstehen praktische Begrenzungen bei der Auswahl von Werten dieser Parameter.

**[0032]** Um dies darzustellen, sind die bevorzugten Größenordnungen bei einer Fläche der aktiven Region von  $508 \mu\text{m} \times 508 \mu\text{m}$  (20 Millizoll  $\times$  20 Millizoll) für den Seitenwandwinkel  $\beta$   $20^\circ$  bis  $50^\circ$  und für die Höhe des oberen Fensters  $h_T = 50,8 \mu\text{m}$  bis  $381 \mu\text{m}$  (2 bis 15 Millizoll). Die oberen Grenzen für  $\beta$  und  $h_T$  werden ausgewählt, um einen vernünftigen Flächenertrag pro Wafer beizubehalten. Innerhalb dieser Geometrie ist es möglich, die Lichtextraktion von nach oben emittiertem Licht von der aktiven Schicht um einen Faktor von etwa 1,8 bezüglich eines herkömmlichen Elements zu verbessern. Wenn das nach unten emittierte Licht berücksichtigt wird, welches zu Anfang nicht denselben Effekt erfährt, liegt der Gesamteffekt der Lichtextraktion in der Größenordnung von 1,4. Für eine begrenzte Absorption in der aktiven Schicht und einem reflektierenden Rückkontakt wird ferner ein Gewinn des Extraktionswirkungsgrads des oberen Fensters durch das nach unten emittierte Licht beobachtet, derart, dass die Gewinne im Vergleich zu herkömmlichen Elementen einen Faktor von 1,5 oder mehr erreichen können. Selbst dann, wenn die Absorption, die der lichtemittierenden Schicht zugeordnet ist, größer als 50% pro Durchlauf ist, kann nicht erwartet werden, dass nach unten emittiertes Licht wirksam zu dem oberen Fenster hin umgelenkt wird. Es ist daher vorteilhaft, ein unteres Fenster **13** zur Lichtextraktion vorzusehen, wie es in **Fig. 2** gezeigt ist. Die Fensterschicht sollte dick genug sein, um es zu ermöglichen, dass eine nennbare Menge an Licht vom ersten Durchlauf aus den Seiten des Elements entweicht, während eine ausreichend große untere Oberfläche für die Befestigungsqualität und die Wärmesenkenwirkung machbar ist. Diese Schicht kann dickenmäßig in einem Bereich von  $50,8 \mu\text{m}$  bis zu  $254 \mu\text{m}$  (2 bis 10 Millizoll) liegen, und dieselbe beträgt vorzugsweise 10 bis 40% der seitlichen Breite der aktiven Region bezüglich ihrer Dicke. Die Entwurfsauswahl liefert ein wesentliches Auskoppeln von Licht durch die Seiten der unteren Schicht, während ein Aspektverhältnis beibehalten wird, das für mechanische Stabilität sorgt. Ein Praktiken in der Technik wird erkennen, dass alle Abmessungen mit der Fläche der aktiven Region skaliert sind. Dieses Konzept ist auf andere Geometrien ausdehnbar.

**[0033]** Experimentelle Beobachtungen der erhöhten Lichtausgabe aus geformten Elementen sind in **Fig. 3** gezeigt. Diese Elemente haben einen quadratischen aktiven Bereich (in **Fig. 5** gezeigt) und vier Seitenoberflächen, die in einem Winkel von  $35^\circ$  bezüglich der Normalen (in **Fig. 2** gezeigt) gewinkelt sind. Die Dicke des oberen Fensters (über den aktiven Region) beträgt etwa  $200 \mu\text{m}$ , während die Dicke des unteren Fensters (unter der aktiven Region) etwa  $50 \mu\text{m}$  beträgt. Lichtausgabegewinne von  $1,4\times$ – $1,8\times$  werden für diese geformten Elemente bezüglich herkömmlicher Elemente (mit einer rechteckigen quaderförmigen Geometrie) von demselben Wafer beobachtet.

Alle Elemente wurden in Epoxidharz ( $n \sim 1,5$ ) gekapselt. Aus **Fig. 3** ist zu sehen, dass Gewinne in der relativen Lichtausgabe für einen breiten Bereich von Wellenlängen beobachtet werden, während die absoluten Wirkungsgrade einfach von der Auswahl des Startmaterials abhängen.

**[0034]** Für Elemente, bei denen die aktive Schicht sehr nahe (innerhalb von 20% der Breite der aktiven Fläche in der Dicke) an der Unterseite des Elements ist, ist es wünschenswert, einen stark reflektierenden Rückkontakt bereitzustellen, um die höchsten Extraktionswirkungsgradgewinne zu erreichen. Experimentelle Daten bezüglich der Lichtausgabe von invertierten, abgeschnittenen Pyramiden-elementen sind in **Fig. 4** gezeigt. Wenn ein legiertes AuZn in Vollschicht als Rückkontakt verwendet wird, leidet die Lichtausgabe aufgrund der schlechten Reflektivität, die durch einen solchen Kontakt geschaffen ist. Wenn statt dessen ein strukturierter AuZn-Rückkontakt (eine Flächenbedeckung von etwa 20%) in Verbindung mit reflektierendem Ag-basiertem Chipbefestigungsepoxydharz (gesamte Winkeldurchschnittsreflektivität  $>$  etwa 50%) verwendet wird, wird die Gesamtlichtausgabe um etwa 20% erhöht.

**[0035]** Die Seitenansicht in **Fig. 2** steht mit einer Vielzahl von Elementgeometrien in Einklang. Eine Draufsicht ist in **Fig. 5** für eine quadratische oder rechteckige Basis gezeigt. Bei diesem Element in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide existieren vier getrennte Seitenwände des Elements, die in einem Winkel (oder in Winkeln)  $\beta$  bezüglich der Vertikale ausgerichtet sind. Das Element kann hergestellt werden, indem der Elementwafer unter Verwendung eines Sägeblatts mit einem gefasten ("V-förmigen") Schneidprofil gesägt wird, um die Schräge für die Seitenwände zu definieren. Statt dessen kann das Element hergestellt werden, indem ein Abschnitt des Wafers maskiert wird, und indem die erwünschte Geometrie durch Sandstrahlen und durch Steuern der Winkel durch Variieren der Parameter der Sandstrahloperation gebildet wird. Ferner können die Winkel definiert werden, indem vorzugsweise entlang spezifizierter kristallographischer Ebenen geritzt wird, um eine bevorzugte Elementgeometrie zu bilden.

**[0036]** Ein weiteres Verfahren besteht darin, einen Abschnitt des LED-Wafers geeignet zu maskieren, und die Geometrie durch Trocken- oder Nassätzen zu bilden. Das kristallographische Wesen des Substrats kann in diesen Fällen wichtig sein. GaP mit einer (111)-Ausrichtung kann beispielsweise mit den Epitaxialschichten waferverbunden werden, um die obere Fensterschicht zu bilden. Dieses Material kann geätzt oder geschliffen werden, um gewinkelte Kristallflächen freizulegen, die die gewinkelten Seitenoberflächen für eine verbesserte Lichtextraktion bei einem lichtemittierenden Element schaffen. Wenn es

erwünscht ist, kann die Fensterschicht durch Wafer-Bonden unter Aufnahme eines Zwischenmaterials (transparentem ITO, einer sehr dünnen Schicht aus AuGe oder AuZn) wafergebondet werden, um eine wafergebondete Grenzfläche zu ermöglichen, die leitfähig und vernünftig transparent ist. Die kristallographische Ausrichtung des Substrats wird ausgewählt, um eine vernünftige Steuerung über das Chipformen zu bewirken, ohne dass Kompromisse bezüglich anderer Elementverhaltenscharakteristika eingegangen werden. Nach einem anfänglichen "rohen" Formprozess kann es notwendig sein, "feine" Formprozesse zu verwenden, um an der schließlich erwünschten Form anzukommen und/oder sehr glatte Seitenwände zu erzeugen, die für ein korrekt funktionierendes Element erwünscht sind. Bei anderen Beispielen kann das Element eine unterschiedliche Anzahl von geformten Seitenoberflächen haben, z. B. drei Oberflächen für ein Element in Form einer invertierten abgeschnittenen Dreieckspyramide. Ein photoelektrochemisches Ätzen kann ebenfalls verwendet werden, um die Elemente entweder zu formen und/oder zu vereinzeln. Viele Elementgeometrien werden gemäß den obigen Prinzipien arbeiten, wobei eine ausgewählte Geometrie durch die Anforderungen einer spezifischen Elementanwendung und durch Kosten- und Herstellungs-Überlegungen bestimmt wird.

**[0037]** Eine Draufsicht eines alternativen Beispiels ist in **Fig. 6** gezeigt. Der invertierte abgeschnittene Kegel hat eine Basis, die kreisförmig ist (allgemein elliptisch). Dieses Element kann durch eine geeignete Verarbeitung des Materials durch irgendeines der vorher erwähnten Verfahren geformt oder approximiert werden. Das Strahlungsmuster aus dem konischen Element ist axial symmetrisch und eignet sich vorteilhafterweise zum Fokussieren oder Defokussieren beim Häusen oder bei einer Sekundäroptikanordnung.

**[0038]** Ein Element mit gewinkelten Seitenoberflächen zeigt eine Zunahme im Flächen-Verhältnis der maximalen Erstreckung des Elements (der oberen Fläche des Elements) relativ zu der aktiven Fläche. Für eine gegebene Auswahl einer aktiven Fläche resultiert dies in einer Reduktion der Anzahl von verfügbaren Elementen pro Einheitsfläche auf einem Wafer (bezüglich herkömmlicher Geometrien). Die Wichtigkeit liegt in der Tatsache, dass die epitaxialen Schichten, die die aktive Schicht und den p-n-Übergang aufweisen, typischerweise der stärkste Kostentreiber für den Wafer sind. Diese Flächenenertragsreduktion nimmt zu, wenn die Höhe des oberen Fensters erhöht wird. Dieselbe nimmt ebenfalls zu, wenn der Seitenwandwinkel erhöht wird. Sei einem Wafer, der in Elemente in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide unter Verwendung einer gefasten Säge (in **Fig. 7** gezeigt) geschnitten wird, beträgt das Elementergebnis pro Wafer für ein Element in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide mit  $\beta = 30^\circ$  et-

wa 29% bezüglich eines herkömmlichen Elements, wenn die aktive Schicht 50  $\mu\text{m}$  von der Oberseite des Wafers (während des Schneidens), der 250  $\mu\text{m}$  dick ist (Position 1) entfernt ist, und wenn der Schneideindex 500  $\mu\text{m}$  beträgt. Ein Platzieren der aktiven Schicht näher an die untere Seite des Wafers während des Schneidens, z. B. 200  $\mu\text{m}$  von der Waferunterseite (Position 2), erhöht den Elementflächenertrag auf ungefähr 78%. Wenn der Übergang von der Unterseite des Elements wegbewegt wird, wird somit der Flächenertragsverlust reduziert (wird die Anzahl von Elementen pro Wafer und somit die Kosteneffektivität dieses Elements erhöht). Natürlich kann der Extraktionswirkungsgrad des Elements ebenfalls reduziert werden, wenn die Höhe des oberen Fensters des Elements effektiv verringert wird. Die Verringerung des Wirkungsgrads durch die Platzierung des Übergangs wird jedoch weniger einschneidend sein, da die Absorption der aktiven Schicht reduziert ist (entweder durch Erhöhen des internen Quantenwirkungsgrads der aktiven Schicht oder durch Verringern der Dicke der aktiven Schicht), da Photonen mehr Durchläufe durch die aktive Schicht überleben können, bevor sie ohne Neuemission absorbiert werden. Beim Reduzieren der Dicke der aktiven Schicht von 1,0 auf 0,1  $\mu\text{m}$  läuft die Zunahme der Transmission pro Durchlauf (vertikal) von 37% bis zu 90%. Kosteneffektive Lösungen müssen die Übergangsplatzierung, den Seitenwandwinkel, die Fensterhöhe (die Fensterhöhen) und den internen Wirkungsgrad der aktiven Fläche zusammen mit Verlustmechanismen, z. B. absorbierenden ohmschen Kontakten, für ein korrektes Elementedesign berücksichtigen. Es wird bevorzugt, einen breiten Bereich der Steuerung über die Platzierung des Übergangs innerhalb des Elements zu haben. Ein Positionieren der Position des Übergangs erlaubt den Entwurf einer LED mit einer deutlichen Extraktionswirkungsgradverbesserung ( $> 1,4\times$ ), die an den zusätzlichen Herstellungskosten aufgrund des Verlusts an Ertrag an aktiver Fläche stärker angepasst ist. Basierend auf den erwarteten Lichtausgabegewinnen ( $> 1,4\times$ ) wird bevorzugt, einen Flächenertrag größer als 33% beizubehalten.

**[0039]** Es existieren mehrere Argumente zum Beibehalten eines Flächenertrags aufgrund des Chipformens, der größer als 33% ist. Zum Beispiel liegen typische Erträge für eine hochvolumige Herstellung von LEDs in ausgereifter Technologie in dem Bereich von etwa 30 bis 50%. Es wird bevorzugt, einen Flächenertrag beizubehalten, der zumindest mit den Erträgen von herkömmlichen LEDs ebenbürtig ist, derart, dass das Formen allein keine harte obere Grenze für erreichbare Verbesserungen im Ertrag auferlegt. Zweitens wurden viele geformte LEDs mit Geometrien hergestellt, die Flächenerträgen größer als 33% entsprechen, und die Extraktionswirkungsgradgewinne größer als  $1,4\times$  gegenüber herkömmlichen Elementen zeigen. Schließlich ist es für bestimmte Systemanwendungen akzeptabel, die Chipkosten zu ver-

dreifachen und dafür einen 40%igen Gewinn im Wirkungsgrad zu haben, besonders wenn die Chipkosten nur einen Bruchteil der Gesamtkosten des Systems ausmachen.

**[0040]** In dem Kompromiss zwischen dem Ertrag und dem Extraktionswirkungsgrad ist eine kosteneffektive Lösung möglich, indem die Elementhöhe, der Seitenwandwinkel und die Übergangspositionsparameter verändert werden. Die Elementhöhe wird durch die Substratdicke, z. B. durch Sägen, Lippen, Polieren oder Ätzen oder durch die Anzahl von Malen des Schichtwachstums, gesteuert. Der Seitenwandwinkel wird durch die Herstellungstechnik bestimmt und kann sehr gut definiert werden, beispielsweise durch gefastetes Sägen, durch photoelektrochemisches Ätzen oder durch kristallographisches Ätzen. Die Übergangsposition wird durch die Anzahl von Malen des Wachstums zu einem bestimmten Grad (epitaxiale Fenster) gesteuert, wobei jedoch der volle Bereich von Übergangspositionen einfacher erreicht werden kann, indem die Dicke der waferverbundenen Schichten variiert wird. Die aktive Schicht kann beispielsweise fast genau in der Mitte eines Elements mit einer Höhe von 203,2  $\mu\text{m}$  (8 Millizoll) durch einfaches Wafer-Bonden von Substraten mit einer Höhe von 101,6  $\mu\text{m}$  auf jeder Seite positioniert werden.

**[0041]** Eine Folge dieser Elementegeometrie auf den Gesamtflussgewinn (einschließlich des Flächenertrags) ist in **Fig. 8** dargestellt. Hier ist entlang der y-Achse der experimentelle Gesamtflussgewinn (in Lumen) für LEDs in Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide ( $\beta = 35^\circ$ ) geteilt durch das Flächen-Verhältnis der oberen Ausdehnung des Elements bezüglich der aktiven Fläche aufgezeichnet. Dieses Flächen-Verhältnis ist umgekehrt proportional zu der Anzahl von Elementen, die pro Wafer verfügbar sind, und ist somit direkt proportional zu den Herstellungskosten des LED-Chips. Somit ist die y-Achse im Wesentlichen das Verhältnis des Gesamtflussgewinns als Funktion der Chipkosten bezüglich herkömmlichen Gegenstücklementen (mit vertikalen Seitenwänden), die alle mit derselben Stromdichte von 107,7 A/cm<sup>2</sup> getrieben werden. Die x-Achse ist das geometrische Aspektverhältnis (Höhe des oberen Fensters geteilt durch die Breite der aktiven Region) der Pyramiden-LEDs. **Fig. 8** stellt den allgemeinen Trend des reduzierten Flusses pro Geldeinheit (MU; MU = Monetary Unit) dar, während das Aspektverhältnis des Elements zunimmt. Für eine feste Breite der aktiven Region schlägt der Trend vor, dass ein dünneres oberes Fenster eine günstigere Situation im Hinblick auf den Fluss pro MU schaffen wird. Das obere Fenster muss dick genug sein, um die Extraktionswirkungsgradanforderungen der Anwendung zu erfüllen. Für das herkömmliche Element beträgt das Fluss/Kosten-Verhältnis 1,0 (dieser Wert wurde offensichtlich normiert!). Es existiert jedoch kein Gewinn beim Extraktionswirkungsgrad für das

herkömmliche Element. Ebenfalls ist die Chipkostenzunahme übertrieben dargestellt, da ein Kerbschnittverlust, der der Herstellung herkömmlicher LEDs zugeordnet ist, vernachlässigt ist. Da ferner die Chipkosten nur einen Bruchteil der Kosten einer fertigen LED-Lampe darstellen, ist die Fluss-pro-MU-Situation in der Tat viel besser (in Zahl  $n$  ausgedrückt) als es in **Fig. 8** für die geformten LEDs dargestellt ist. Ein korrekter Elemententwurf muss die geeignete Mitte zwischen Fluss-pro-MU- und einem minimal erforderlichen Extraktionswirkungsgrad erreichen, die jedoch von Anwendung zu Anwendung variiert.

**[0042]** **Fig. 9** stellt eine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik dar. Die x-Achse ist das Flächen-Verhältnis der Ausdehnung der oberen Oberfläche eines Elements relativ zu der aktiven Fläche (proportional zu den Chipkosten). Die y-Achse ist der Extraktionswirkungsgrad geteilt durch das Flächenverhältnis, und dieselbe ist im Wesentlichen ein Maß für die Kosten des Lichtausgabewirkungsgrads bei einem Element (Lumen pro Ampere pro MU). Die zwei diamantförmigen Punkte stammen aus dem Stand der Technik und wurden unter Verwendung gemessener externer Quantenwirkungsgrade (in Luft) als die Zahlen für den Extraktionswirkungsgrad dargestellt (d. h. unter der Annahme eines 100%igen internen Quantenwirkungsgrads, was für diese Elemente und Testumgebungen vernünftig ist). Der dritte Datenpunkt (Quadrat- und Fehlerbalken) in **Fig. 9** stellt eine LED in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide dar ( $\beta = 35^\circ$ ,  $h_T = 215,9 \mu\text{m}$ , AlInGaP-LED bei 636 nm). Da der interne Quantenwirkungsgrad der AlInGaP-LED geringer als 100% ist (wie es in der Technik bekannt ist), wird der Extraktionswirkungsgrad aus experimentellen Lichtausgabegewinnen gegenüber herkömmlichen (rechteckigen, quaderförmigen) AlInGaP-LEDs aus demselben Material abgeschätzt. In diesem Fall hat das Element einen Extraktionswirkungsgrad in dem Bereich von etwa 18 bis 22% und per Entwurf ein Flächen-Verhältnis kleiner 3. Es sei angemerkt, dass dieses Element eine verbesserte Beziehung zwischen dem Wirkungsgrad und den Kosten bezüglich der bekannten Elemente aufweist. Das von Alferov beschriebene Element würde, obwohl es einen hohen externen Quantenwirkungsgrad zeigt, übermäßige Chipkosten ( $> 9\times$ ) basierend auf der ausgewählten Geometrie haben. Das Element von Franklin u. a. verwendet eine akzeptable Geometrie im Hinblick auf die Chipkosten, dasselbe weist jedoch einen schlechten externen Quantenwirkungsgrad aufgrund des Mangels an Seitenlichtextraktion und aufgrund der mangelhaften Fenstertransparenz auf. Es ist offensichtlich, dass Elemententwürfe innerhalb der vorliegenden Lehren in einer wesentlichen Verbesserung der Beziehung zwischen dem Wirkungsgrad und den Kosten resultieren und wesentliche auf die Verwendung von LEDs in vielen Anwendungen haben.

**[0043]** **Fig. 10** stellt eine Seitenansicht eines weiteren Beispiels dar. Die geformten Seitenwände sind mit einem stark reflektierenden Dünnschicht beschichtet, der metallisch oder dielektrisch oder eine Kombination derselben sein kann, um zu verhindern, dass Licht aus den Seitenoberflächen des Elements austritt, und um Licht zu unterstützen, das durch die obere Oberfläche austritt. Der optische Entwurf für das Packungsschema ist einfacher, da das gesamte Licht aus einer einzigen planaren Oberfläche emittiert wird. Die optische Packung erfordert keine stark reflektierende Befestigungsoberfläche für die LED, da sich kein nach hinten ausbreitendes Licht in der LED befindet, das umgeleitet werden muss. Ferner kann ein Abschnitt der reflektierenden Dünnschichtbeschichtung einer der ohmschen elektrischen Kontakte zu dem Element sein, um eine Drahtbondbefestigung an einem oberen Kontakt an der oberen Oberfläche des Elements zu beseitigen. Dies reduziert Zuverlässigkeitsprobleme, die dem Drahtbonden zugeordnet sind, entfernt den Drahtbondschritt aus dem Herstellungsprozess und beseitigt die Verdeckung eines oberen Kontakts gegenüber Licht innerhalb des Elements. Dieses Kontaktierungsschema kann transparentes ITO als ohmschen Kontakt umfassen, welches anschließend mit einer dielektrischen oder mit einer Metallschicht bedeckt wird, um eine starke Reflektivität zu schaffen. Alternativ können die geformten Seitenoberflächen mit einer antireflektierenden Beschichtung, typischerweise einem dielektrischen (z. B.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) Dünnschicht oder einem Mehrschichtstapel aus dielektrischen Filmen, beschichtet sein, wie es in der Technik bekannt ist oder in dem Handbook of Optics von Driscoll u. a. (McGraw-Hill, New York, 1978), Abschnitte 8.1 bis 8.124, offenbart ist.

**[0044]** **Fig. 11** zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem die elektrischen Kontakte zu beiden Seiten des p-n-Übergangs auf den unteren Befestigungsoberflächen des Elements gebildet sind. Hier existiert keine Verdeckung eines oberen Kontakts und keine Anforderung nach einer Drahtverbindung zum Bilden eines Stromwegs in dem gehäuteten Element. Die Kontaktgeometrie und das Stromspreizen ist derart, dass eine vernünftig gleichmäßige Injektion in die aktive Schicht erreicht wird. Da kein Leitungsweg durch die obere Fensterschicht erforderlich ist, muss die obere Fensterschicht nicht dotiert sein. Diese Schicht braucht kein Halbleiter sein, sondern kann irgendein transparentes Material sein, das an den epitaxialen Schichten angebracht ist, um eine optische Grenzfläche für eine Lichtextraktion aus der aktiven Region des Elements zu bilden.

### Patentansprüche

1. Licht-emittierende Halbleitervorrichtung, die folgende Merkmale aufweist:



eine Heterostruktur, die eine Mehrzahl von dotierten Schichten (10) vom p- und vom n-Typ aufweist, die auf einem Substrat (13) angeordnet sind, um eine p-n-Übergangsregion in oder nahe bei einer aktiven Region (11) zu schaffen;

eine Fensterschicht (12), die auf einer ersten Seite der Heterostruktur angeordnet ist, wobei die Fensterschicht (12) gegenüber Licht, das durch die aktive Region (11) emittiert wird, im Wesentlichen durchlässig ist; und

einen ersten elektrischen Kontakt (14) und einen zweiten elektrischen Kontakt (15), die elektrisch gekoppelt sind, um eine Spannung über die aktive Region anzulegen, wobei der erste elektrische Kontakt (14) und der zweite elektrische Kontakt (15) zu beiden Seiten des p-n-Übergangs angeordnet sind, wobei eine untere Seite der Fensterschicht (12) seitlich über die Heterostruktur vorsteht, wobei der erste elektrische Kontakt (14) auf der unteren Seite der Fensterschicht (12) angeordnet ist, und wobei der zweite elektrische Kontakt (15) auf einer zweiten Seite der Heterostruktur gegenüber der ersten Seite angeordnet ist.

2. Licht-emittierende Halbleitervorrichtung gemäß Anspruch 1, bei der die Fensterschicht (12) nicht leitfähig ist.

3. Licht-emittierende Halbleitervorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, bei der die Fensterschicht (12) aus einem Halbleitermaterial gebildet ist.

4. Licht-emittierende Halbleitervorrichtung gemäß Anspruch 3, bei der das Halbleitermaterial GaP ist.

5. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß Anspruch 3, bei der das Halbleitermaterial undotiert ist.

6. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der die Fensterschicht (12) eine Oberfläche aufweist, die einen stumpfen Winkel mit der ersten Seite der Heterostruktur bildet.

7. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, die ferner eine gebondete Schnittstelle (20) aufweist, die zwischen der aktiven Region (11) und der Fensterschicht (12) angeordnet ist.

8. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß Anspruch 7, bei der die Fensterschicht (12) direkt mit einer Halbleiterschicht der Heterostruktur verbunden ist.

9. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß Anspruch 7, bei der die Fensterschicht (12) über eine Verbindungsschicht mit der Heterostruktur verbunden ist.

10. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der zumindest einer der elektrischen Kontakte (14, 15) gegenüber Licht, das

durch die aktive Region (11) emittiert wird, hoch reflektiv ist.

11. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, bei der der erste elektrische Kontakt (14) den zweiten elektrischen Kontakt (15) umgibt.

12. Licht-emittierende Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, die ferner zumindest eine Schicht aufweist, die gegenüber Licht hoch reflektiv ist, das durch die aktive Region (11) emittiert wird, die positioniert ist, um das Licht zu der Fensterschicht (12) hin zu reflektieren.

13. Verfahren zum Bilden einer Licht-emittierenden Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Bilden einer Heterostruktur, die eine Mehrzahl von dotierten Schichten (10) vom p- und vom n-Typ aufweist, die auf einem Substrat (13) angeordnet sind, um eine p-n-Übergangsregion in oder nahe bei einer aktiven Region (11) zu schaffen;

Anbringen einer Fensterschicht (12) an eine erste Seite der Heterostruktur, wobei die Fensterschicht (12) gegenüber Licht, das durch die aktive Region (11) emittiert wird, im Wesentlichen durchlässig ist;

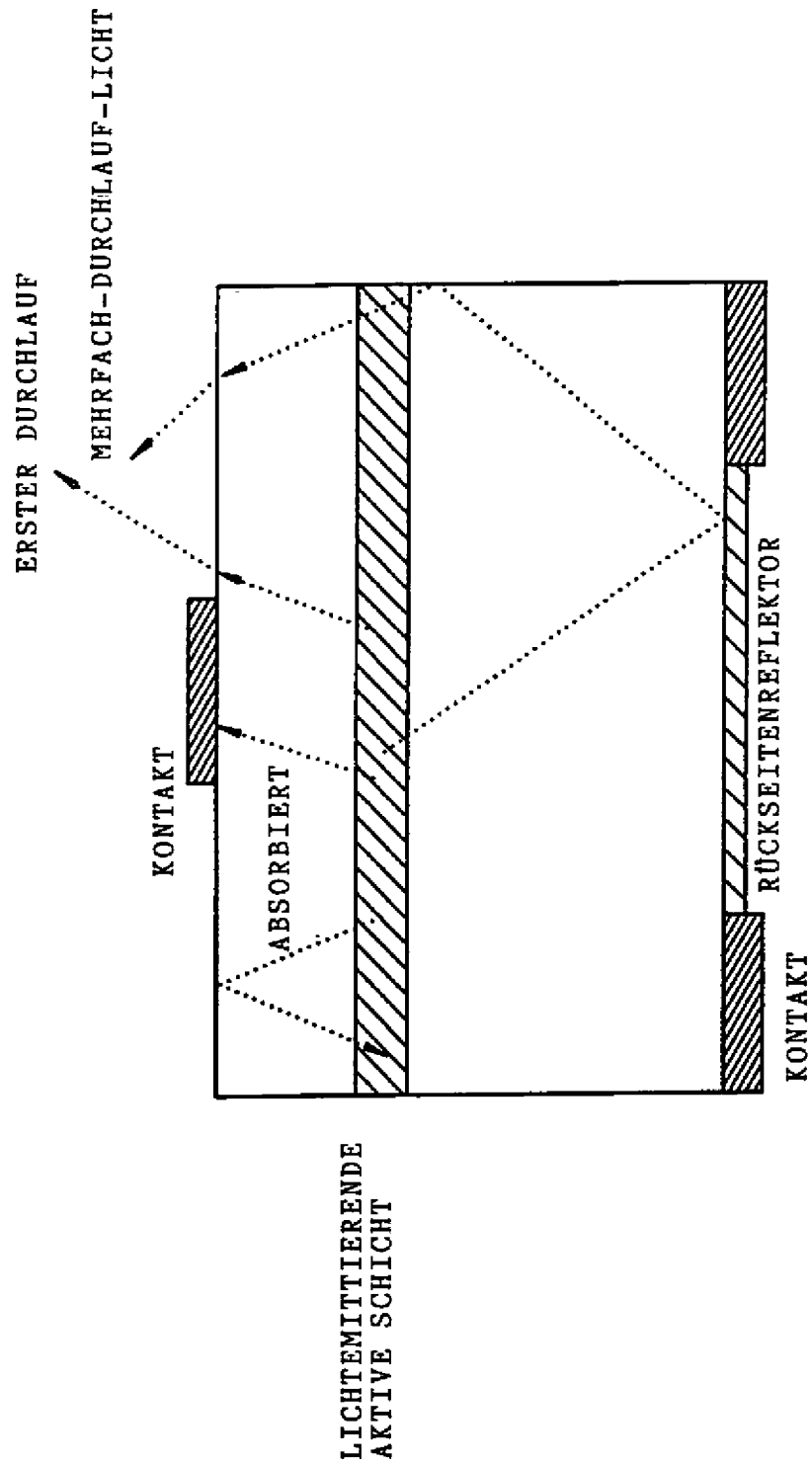
Bilden eines ersten elektrischen Kontakts (14) und eines zweiten elektrischen Kontakts (15) zu beiden Seiten des p-n-Übergangs der Heterostruktur, wobei der erste elektrische Kontakt (14) und der zweite elektrische Kontakt (15) elektrisch gekoppelt sind, um eine Spannung über die aktive Region (11) anzulegen, wobei eine untere Seite der Fensterschicht (12) seitlich über die Heterostruktur vorsteht, wobei der erste elektrische Kontakt (14) auf der unteren Seite der Fensterschicht (12) angeordnet ist, und wobei der zweite elektrische Kontakt (15) auf einer zweiten Seite der Heterostruktur gegenüber der ersten Seite angeordnet ist.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, das ferner ein Verbinden der Fensterschicht (12) mit der Heterostruktur aufweist.

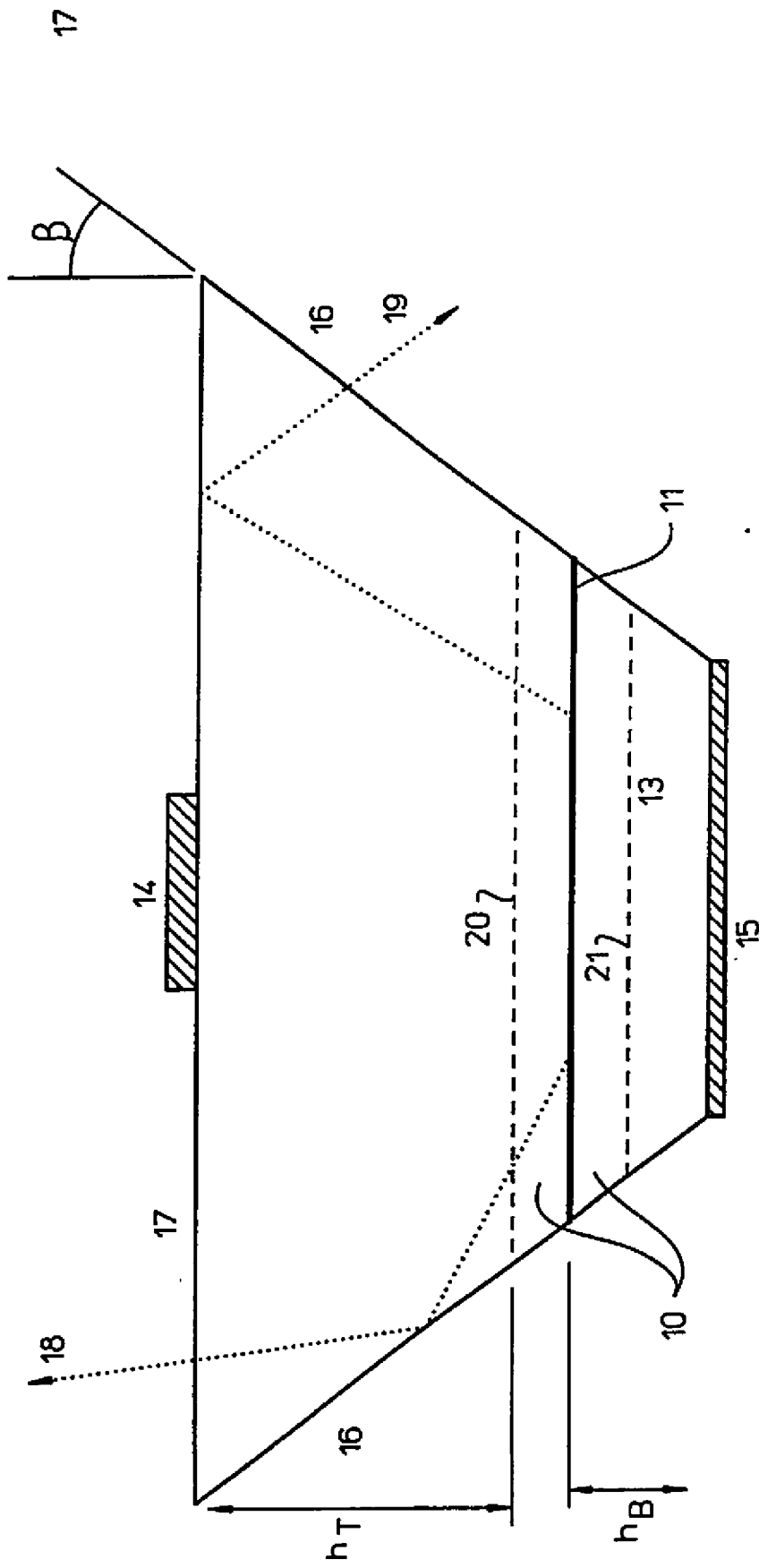
15. Das Verfahren gemäß Anspruch 13, das ferner ein Aufwachsen der Fensterschicht (12) auf die Heterostruktur aufweist.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

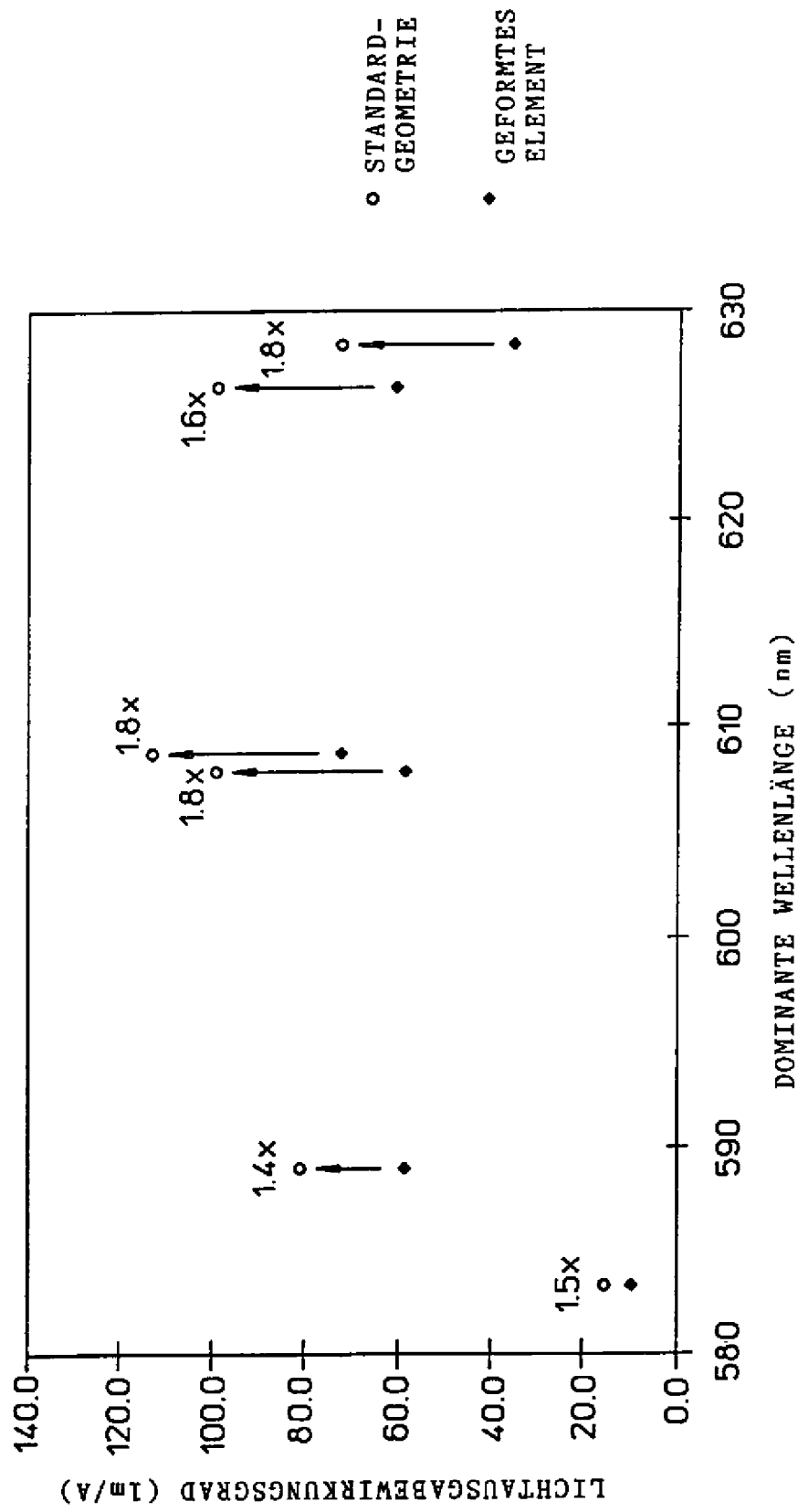


**Figur 1** (STAND DER TECHNIK)

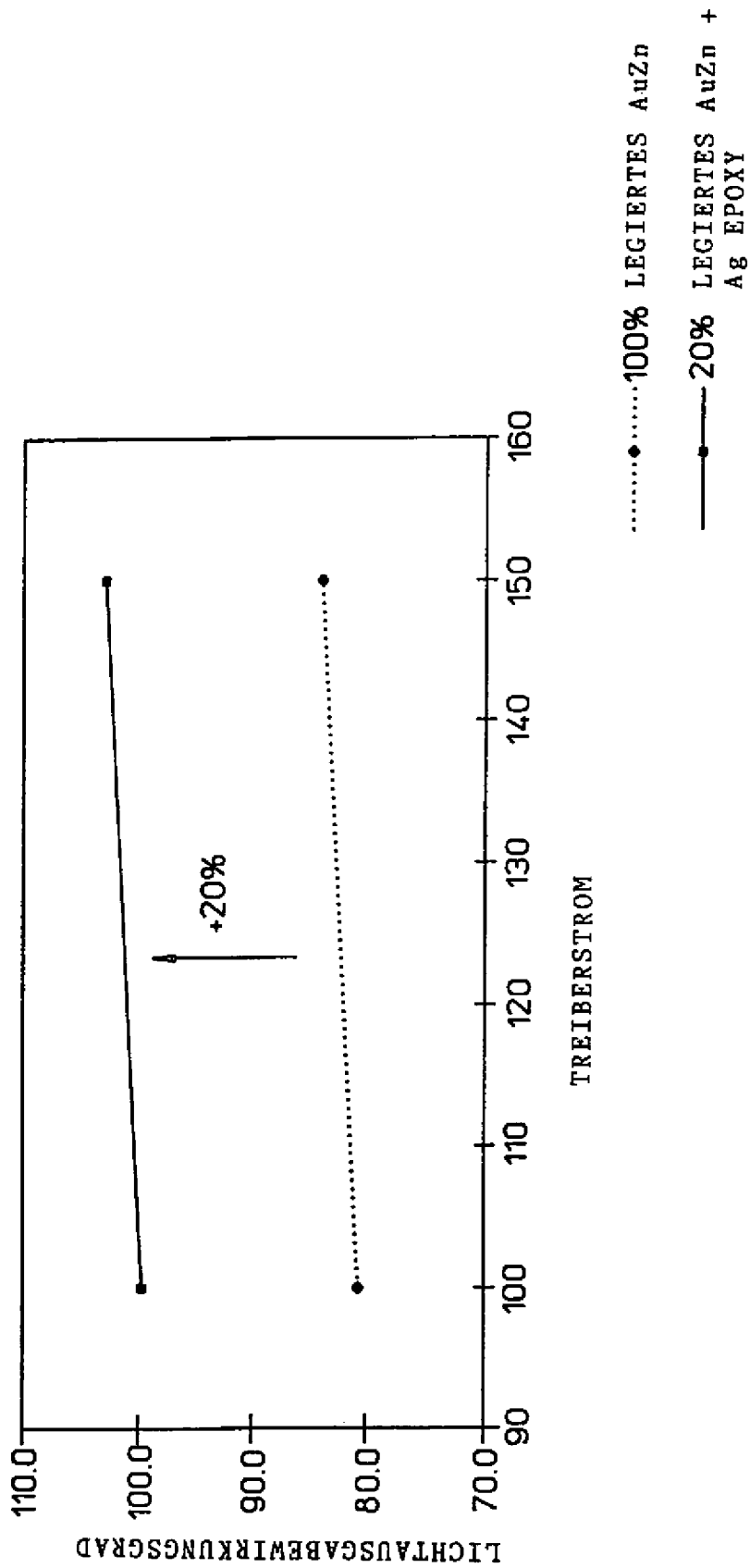


## Figur 2

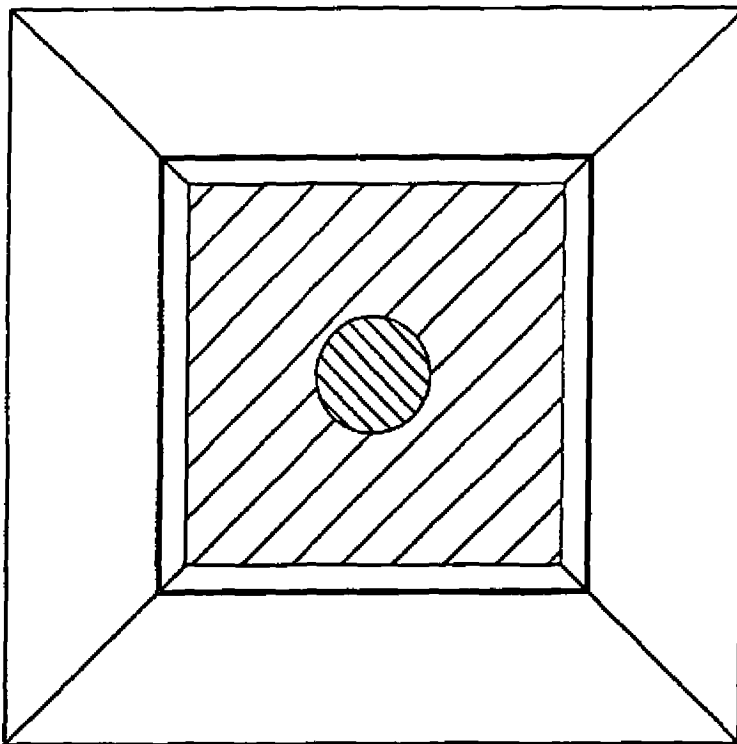
## EXPERIMENTELLE LICHTAUSGABEGEWINNE VON GEFORMTEN ELEMENTEN

**Figur 3**

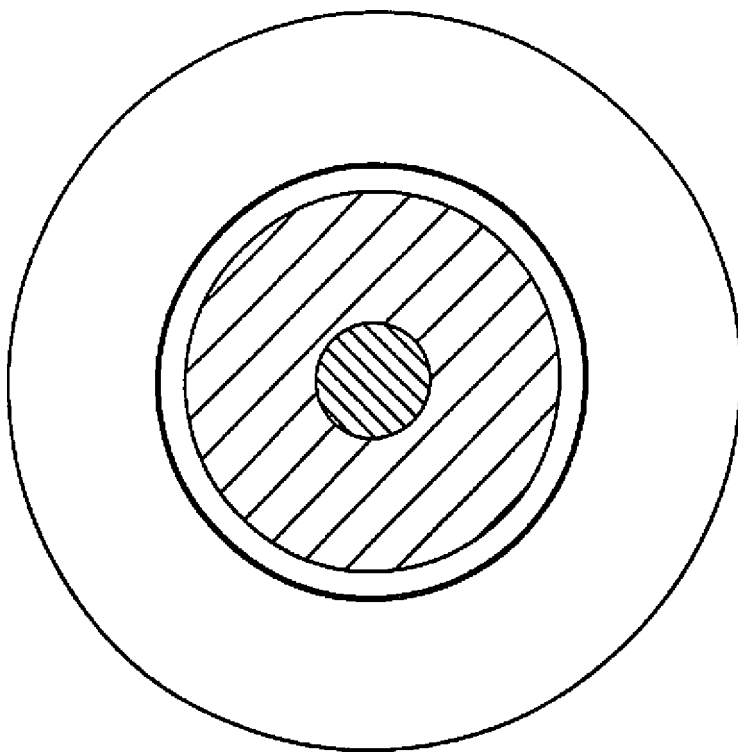
LEDs IN FORM ABGESCHNITTENER PYRAMIDEN: AUSWIRKUNG DER RÜCKKONTAKT-REFLEKTIVITÄT AUF DIE LICHTAUSGABE



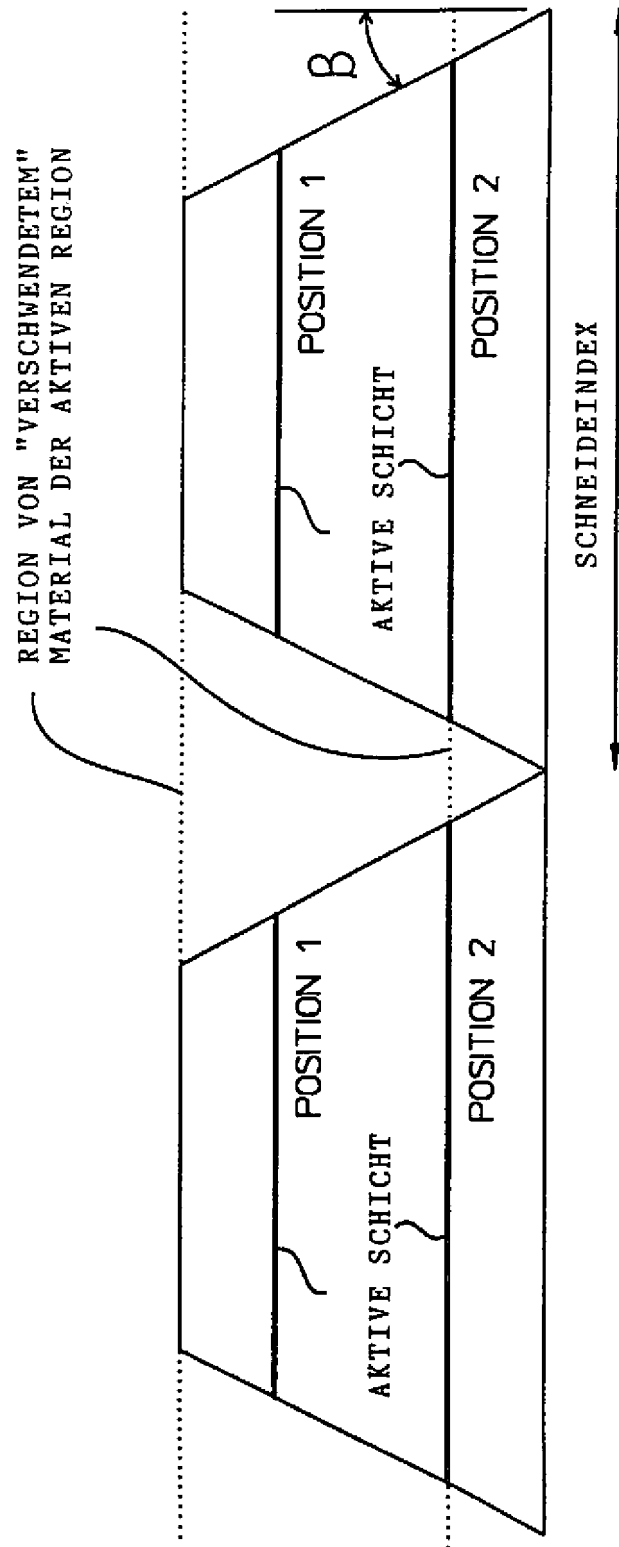
**Figur 4**



*Figur 5*

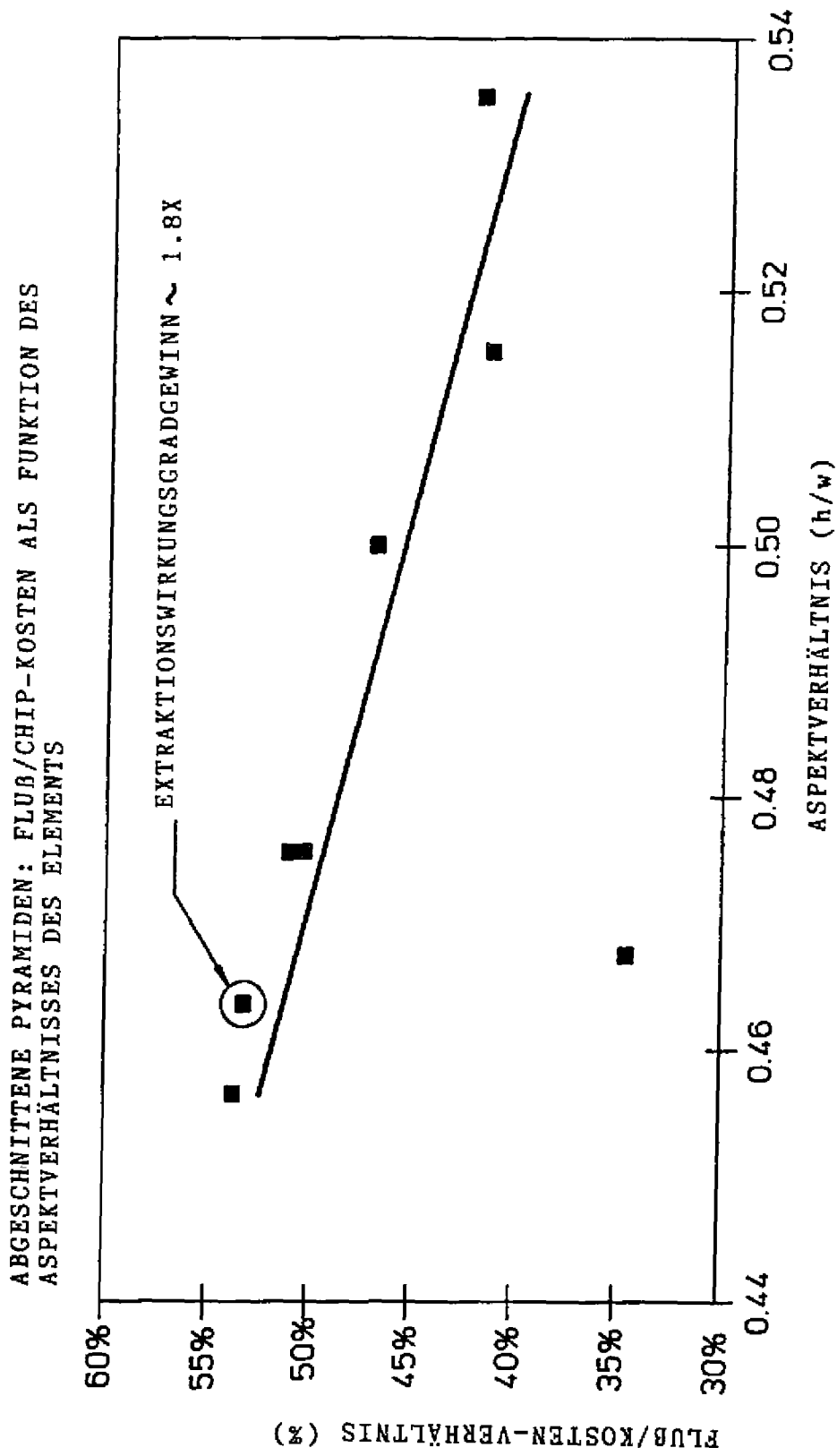


***Figur 6***



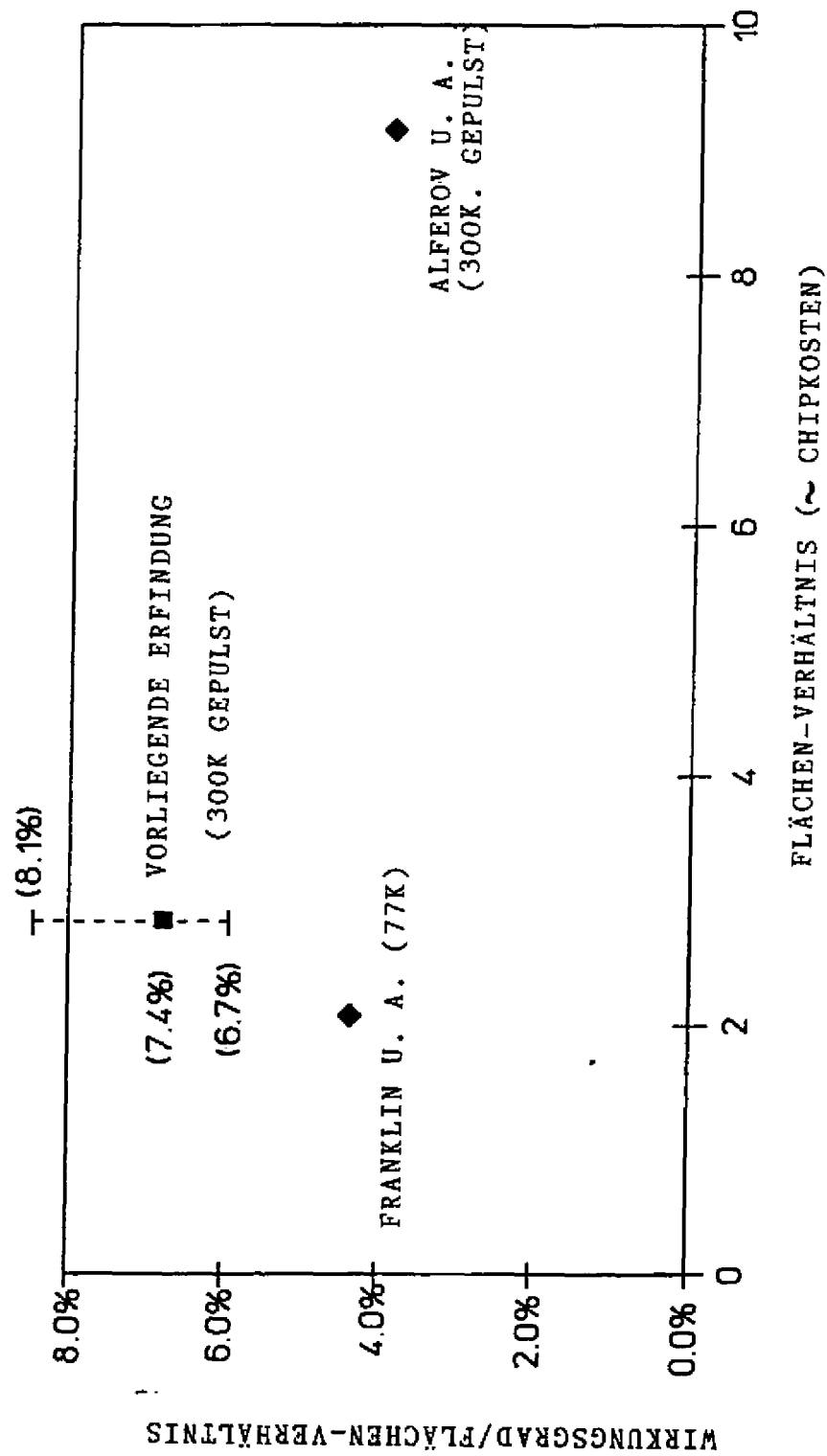
**Figur 7**



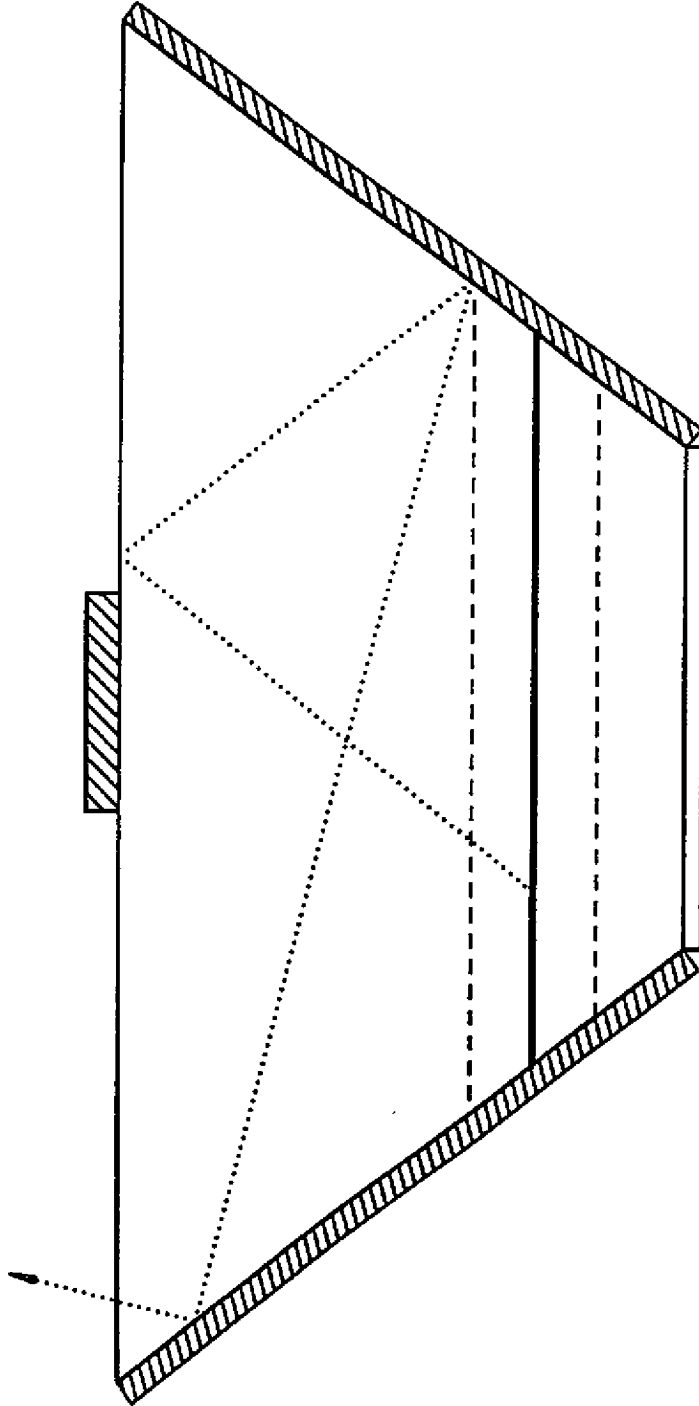


Figur 8

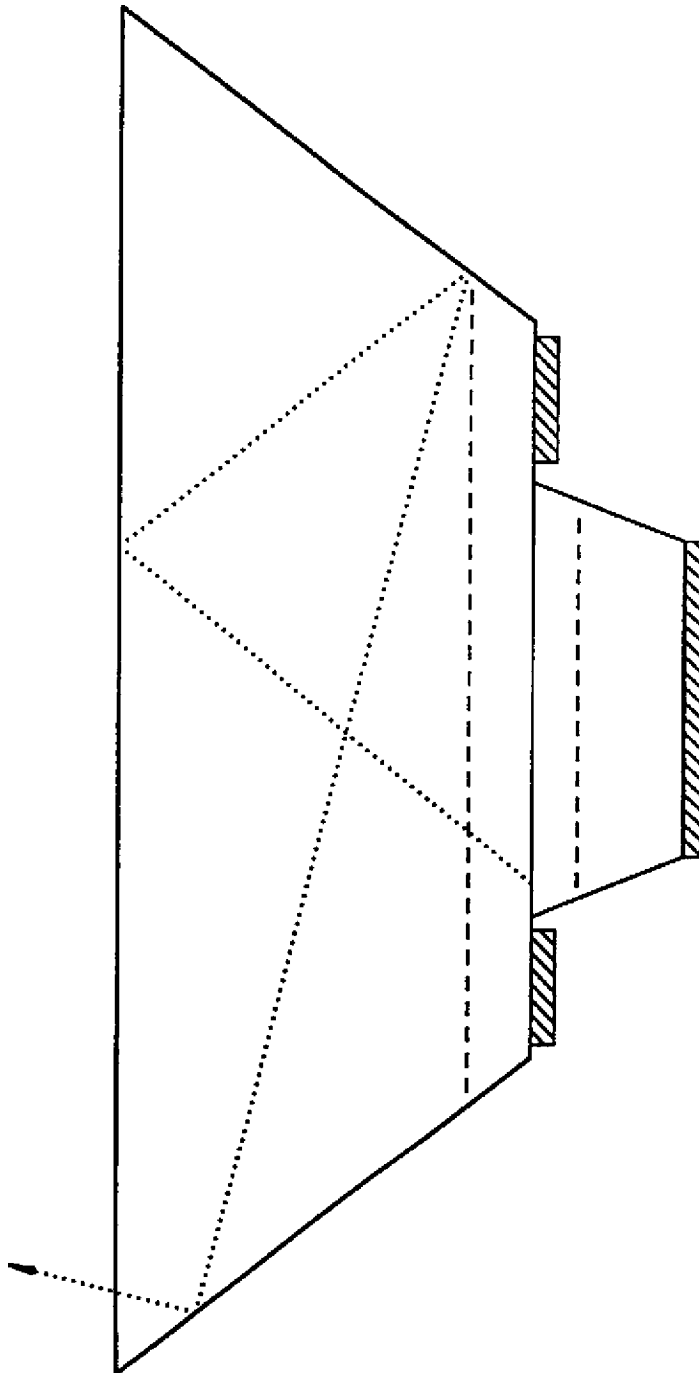
EXPERIMENTELLE DATEN: EXTRAKTIONSWIRKUNGSGRAD ALS FUNKTION  
DER CHIPKOSTEN



*Figur 9*



*Figur 10*



**Figur 11**