



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 694 32 426 T2 2004.03.11

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 727 830 B1

(51) Int Cl.⁷: H01L 33/00

(21) Deutsches Aktenzeichen: 694 32 426.4

(96) Europäisches Aktenzeichen: 96 106 636.2

(96) Europäischer Anmeldetag: 21.01.1994

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 21.08.1996

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 02.04.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 11.03.2004

(30) Unionspriorität:
36532 19.03.1993 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:
Lumileds Lighting U.S., LLC, San Jose, Calif., US

(72) Erfinder:
Kish, Fred A., San Jose, US; Steranka, Frank M., San Jose, US; Defever, Dennis C., Palo Alto, US; Robbins, Virginia M., Los Gatos, US; Uebbing, John, Palo Alto, US

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

(54) Bezeichnung: **Verbinden von Schichten einer lichtemittierenden Diode**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET**

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich im allgemeinen auf lichtemittierende Dioden und insbesondere auf Verfahren zum Herstellen von lichtemittierenden Dioden.

STAND DER TECHNIK

[0002] Lichtemittierende Dioden (LED) werden bei einer großen Vielzahl von Anwendungen verwendet. LED werden beispielsweise bei der optischen Datenübertragung verwendet, um Datensignale über ein Lichtwellenleiterkabel zu senden.

[0003] Anders als Laser erzeugen LED keine scharf fokussierten Lichtstrahlen. Statt dessen strahlt ein LED Licht in alle Richtungen aus. Das heißt, die Lichtemission ist isotrop. Die Schichten vieler herkömmlicher LED werden auf einem optisch absorbierenden Material mit einer Energielücke, die geringer ist als die Emissionsenergie der aktiven Region der LED, aufgewachsen. Das Substrat absorbiert einen Teil des Lichts, das in der aktiven Region erzeugt wird, und reduziert dadurch die Effizienz des Elements. Ein Beispiel einer herkömmlichen Aluminiumgalliumarsenid- (AlGaAs-) LED des Einfach-Heteroübergang-Typs ist in **Fig. 1** gezeigt. Eine Epitaxieschicht **10** aus p-dotiertem AlGaAs und eine Epitaxieschicht **12** aus n-dotiertem AlGaAs werden auf einer Oberfläche eines p-dotierten Galliumarsenid- (GaAs-) Substrats **14** aufgewachsen. Das Leiten von Strom durch den Übergang der Epitaxieschichten **10** und **12** erzeugt Licht. Da die Energielücke des absorbierenden Substrats **14** jedoch geringer ist als die Emissionsenergie, wird Licht absorbiert, das nach unten in Richtung des Substrats **14** emittiert oder intern reflektiert wird.

[0004] **Fig. 2** ist eine Doppelheteroübergangs-AlGaAs-LED auf einem absorbierenden Substrat **16**. Eine Epitaxieschicht **18** aus n-dotiertem AlGaAs und zwei Schichten **20** und **22** aus p-dotiertem AlGaAs werden auf dem absorbierenden Substrat **16** aufgewachsen. Die Bandlücken der Epitaxieschichten **18 – 22** sind ausgewählt, um zu bewirken, daß Licht in der aktiven Schicht **20** erzeugt wird, und durch die Epitaxieschichten **18** und **22** verläuft, ohne absorbiert zu werden. An dem Substrat **16** tritt jedoch Absorption von Licht auf.

[0005] Durch Verwenden eines transparenten Substrats, das eine Energielücke aufweist, die größer ist als die Emissionsenergie der aktiven LED-Region, kann eine verbesserte Leistungsfähigkeit erreicht werden. Der Effekt des transparenten Substrats ist es, das nach unten emittierte oder gerichtete Licht davon abzuhalten, absorbiert zu werden. Statt dessen verläuft das Licht durch das transparente Substrat und wird von einem Bodenmetallhaftmittel und einer reflektierenden Schale reflektiert. Das reflektierte

Licht wird dann von der Oberseite oder den Kanten des Chips emittiert, um die Effizienz der LED wesentlich zu verbessern.

[0006] Es gibt mehrere Techniken zum Herstellen von LEDs mit transparenten Substraten. Eine erste Technik ist es, den p-n-Übergang auf einem transparenten Substrat epitaxial aufzuwachsen. Ein Problem bei dieser Technik ist jedoch, daß abhängig von der Gitterkonstante der LED-Epitaxieschichten eine akzeptierbare Kristallgitteranpassung schwer zu erreichen ist. Eine zweite Technik ist es, die LED-Epitaxieschichten der auf einem absorbierenden Substrat aufzuwachsen, das später entfernt wird. Beispielsweise können in **Fig. 3** das n-dotierte transparente Substrat **24** und die p-dotierten Epitaxieschichten **26** und **28** auf einem absorbierenden Substrat, das nicht gezeigt ist, epitaxial aufgewachsen werden. Das transparente „Substrat“ **24** wird durch Aufwachsen einer mehr als 75 µm dicken, optisch transparenten und elektrisch leitfähigen Epitaxieschicht auf dem kristallgitterangepaßten absorbierenden Substrat hergestellt. Die anderen Schichten **26** und **28** werden dann auf dem epitaxialen „Substrat“ **24** aufgewachsen und das absorbierende Substrat wird entfernt. Alternativ können die dünneren Schichten **26** und **28** vor dem dickeren transparenten „Substrat“ **24** aufgewachsen werden.

[0007] Die oben beschriebenen Techniken zum Herstellen von LEDs mit transparenten Substraten leiden unter inhärenten Nachteilen. Zunächst kann das epitaxiale Aufwachsen eines „dicken“, optisch transparenten, elektrisch leitfähigen „Substrats“ nicht praktisch oder sogar unmöglich sein, wenn einige Aufwachstechniken für bestimmte Halbleitermaterialien verwendet werden. Zweitens, selbst wenn es möglich ist, erfordert eine „dicke“ Epitaxieschicht eine lange Wachstumszeit, wodurch der Herstellungsduachsatz solcher LEDs begrenzt wird. Drittens ist nach der Entfernung des absorbierenden Substrats die resultierende LED-Schicht relativ dünn, z. B. etwa 76,2–152,4 µm (3–6 Tausendstel Zoll). Die dünnen Wafer sind schwierig Handzuhaben, ohne zu zerbrechen, was die Herstellung erschwert. Darüber hinaus verursachen dünne Wafer Schwierigkeiten während dem Befestigen der Wafer in einem LED-Gehäuse. Epoxid, dem Silber zugesetzt ist, wird typischerweise zum Befestigen und Kontaktieren des Bodens des Elements verwendet. Das Epoxid tendiert dazu, über die Kanten der dünnen Wafer zu fließen, was das Kurzschließen der Diode (LED) bewirkt. Außerdem sind dünne Wafer nicht so mechanisch widerstandsfähig wie die Elemente der **Fig. 1** und **2**, die auf „dicken“ Substraten von zumindest 254 µm (10 Tausendstel Zoll) aufgewachsen werden. Solche „dünnen“ LEDs können erhöhte Elementausfallprobleme aufweisen, wenn dieselben in Epoxidlampen befestigt sind. Folglich gibt es einander widersprechende Dickeprobleme, wenn diese zweite Technik verwendet wird, da die transparente Schicht „zu dick“ für praktische Kristallwachstumsprozesse und „zu dünn“

für Elementanwendungen sein kann.

[0008] Folglich kann es im Zusammenhang mit der Auswahl zwischen einem absorbierenden Substrat oder einem transparenten Substrat eine Abwägung geben. Abhängig von den Wachstums- und Herstellungstechniken kann eine LED mit einem absorbierenden Substrat mechanische Charakteristika besitzen, die denen einer LED mit transparentem Substrat überlegen sind, aber die LED mit absorbierendem Substrat ist im allgemeinen weniger effizient. Bei der Verwendung eines transparenten Substrats ist eine erhöhte Effizienz möglich, eine Fehlanpassung der Kristallgitter kann jedoch Schwierigkeiten verursachen, wenn die Epitaxieschichten auf einem transparenten Substrat mit einer unterschiedlichen Gitterkonstante aufgewachsen werden. Außerdem können die sich widersprechenden Dickeprobleme auftreten, wenn ein „dickes“, transparentes „Substrat“ epitaxial aufgewachsen wird.

[0009] Der Effekt einer absorbierenden Schicht oder eines absorbierenden Substrats kann durch Aufwachsen eines Bragg-Reflektors zwischen den Standard-LED-Epitaxieschichten und dem absorbierenden Substrat minimiert werden. Eine Erhöhung der Effizienz wird erreicht, da der Bragg-Reflektor Licht reflektiert, das in der Richtung des absorbierenden Substrats emittiert oder intern reflektiert wird. Im Vergleich zu Techniken mit dem transparenten Substrat ist die Verbesserung jedoch begrenzt, weil der Bragg-Reflektor nur Licht mit normalem bzw. senkrechten Einfall reflektiert. Licht, das von einem normalen Einfall um einen signifikanten Betrag abweicht, wird nicht reflektiert und verläuft zu dem Substrat, wo es absorbiert wird. Darüber hinaus sind LEDs mit Bragg-Reflektoren schwieriger herzustellen, da sie das wiederholte Aufwachsen von vielen dünnen Epitaxieschichten erfordern, typischerweise in der Größenordnung von 10 nm Dicke.

[0010] Die EP-A-0 611 131, ein Dokument gemäß Artikel 54 (3) und (4) EPC, offenbart ein Verfahren zum Herstellen einer lichtemittierenden Diode mit einem transparenten Substrat. Eine erste Halbleitermehrachsschicht auf einem ersten Halbleitersubstrat wird gebildet. Außerdem wird eine lichtemittierende Schicht auf der ersten Halbleitermehrachsschicht gebildet. Eine zweite Halbleitermehrachsschicht wird auf der lichtemittierenden Schicht gebildet. Ein zweites Substrat, das transparent ist für Licht, das von der lichtemittierenden Schicht emittiert wird, wird unter Verwendung von Druck und erhöhten Temperaturen auf der zweiten Halbleitermehrachsschicht angeordnet, um eine direkte Verbindung zu erreichen. Auf einer Fläche des zweiten Substrats, die mit der zweiten Halbleitermehrachsschicht in Kontakt ist, sind Rillen vorgesehen. Diese Rillen sind gemacht, um mit Verzelungslinien zum Unterteilen der LED-Struktur in Chips ausgerichtet zu sein. Außerdem werden diese Rillen zum Leiten von Gas, das in der Verbindungs-grenzfläche verbleibt, zu der Außenseite verwendet.

[0011] Die DE 40 17 632 A1 offenbart ein lichtemittierendes Halbleiterelement mit einer Schicht zum Ausbreiten eines Stroms, der von einer oberen Elektrode fließt, um eine breite aktive Region, und somit eine hocheffiziente LED zu erhalten, und einer Schicht zum Blockieren des Stroms unterhalb der oberen Elektrode.

[0012] Die Patentzusammenfassungen von Japan, Bd. 11, Nr. 7 (E-469) und JP-A-61 182 280 offenbaren ein Verfahren zum Herstellen eines blaulichtemittierenden Elements. Um einen pn-Übergang zu bilden, wird jede Oberfläche eines p-Typ- und n-Typ-Halbleiters mit vorbestimmter Verbindung abgeflacht, in einen hydrophilen Zustand gebracht, getrocknet, direkt verbunden und bei 200°C oder mehr verbunden bzw. vereint. Dieses Verfahren erreicht einen p-n-Übergang, der nicht gitterverbunden ist.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Die obige Aufgabe wurde durch ein Verfahren erfüllt, das ein temporäres Wachstumssubstrat verwendet, das für das Wachstum von LED-Schichten optimiert wurde, aber dann ein leistungsverbesserndes Substrat liefert, ohne das epitaxiale Aufwachsen dieses Substrats zu erfordern. Bei einem darstellenden Ausführungsbeispiel ist das leistungsverbessernde Substrat ein transparentes Bauglied, das unter Verwendung von Waferverbindungstechniken mit den LED-Schichten verbunden ist. Weil die transparente Schicht nicht mit den LED-Schichten verbunden ist, bis das epitaxiale Aufwachsen der LED-Schichten beendet ist, ist die Kristallgitteranpassung des transparenten Substrats und der Epitaxieschichten nicht von Bedeutung.

[0014] Das temporäre Wachstumssubstrat besteht aus einem Material, das mit der Herstellung von LED-Schichten mit gewünschten mechanischen Charakteristika kompatibel ist. Beispielsweise können Standardmaterialien für absorbierende Substrate verwendet werden, um ein Wachstum mit hoher Kristallqualität zu erreichen und um die Kristallgitteranpassung zu optimieren. LED-Schichten werden dann unter Verwendung eines oder mehrerer einer Vielzahl von Verfahren, einschließlich Flüssigphasenepitaxie, Gasphasenepitaxie, metallorganische chemische Bedampfung und/oder Molekularstrahlepitaxie aufgewachsen. Die LED-Schichten, die eine LED-Struktur bilden, können aus einer lichtemittierenden aktiven Schicht, einer oberen und unteren begrenzenden Schicht, einer Stromverteilungs- und einer Lichtextraktionsschicht und einer oder mehreren Pufferschichten bestehen, aber dies ist nicht wesentlich.

[0015] Nach dem Aufwachsen der LED-Struktur hat das temporäre absorbierende Wachstumssubstrat seinen Zweck des Ermöglichen der Bildung von qualitativ hochwertigen Epitaxieschichten erfüllt. Das Wachstumssubstrat wird vorzugsweise entfernt, da das absorbierende Wachstumssubstrat eine Energielücke aufweist, die geringer oder gleich ist wie die

Emissionsenergie der LED-Struktur. Eine solche Beziehung zwischen der Energielücke und der Emissionsenergie des Elements würde die Effizienz des Elements wesentlich begrenzen. Obwohl das Verfahren des Entfernens des temporären Wachstumssubstrats nicht wesentlich ist, umfassen Alternativen chemisches Ätzen, Läppen/Polieren, reaktives Ionätzen und Ionenstrahlätzen. Das Entfernen des Wachstumssubstrats kann ferner das Entfernen eines Abschnitts der Schicht oder der gesamten Schicht umfassen, die mit dem absorbierenden Substrat in Kontakt ist.

[0016] Ein zweites Substrat wird dann mit der LED-Struktur wafergebondet. Bei diesem darstellenden Ausführungsbeispiel ist der zweite Wafer elektrisch leitfähig und optisch transparent. Im Vergleich zu dem absorbierenden Substrat ist das transparente Substrat eine leistungsverbessernde Schicht. Waferbonden kann an der obersten oder der untersten Schicht der LED-Struktur auftreten. Herkömmlicherweise umfaßt das LED-Element Elektroden an entgegengesetzten Enden zum richtigen Vorspannen des p-n-Übergangs des Elements, so daß das Minimieren der Widerstandsfähigkeit an der Schnittstelle des transparenten Substrats und der aufgewachsenen Schichten wichtig ist. Es hat sich gezeigt, daß die Verwendung von Verbindungen, die Indium enthalten, zum Erreichen von gewünschten ohmischen Charakteristika beiträgt. Zusätzlich zu In-haltigen Verbindungen können andere Verbindungen mit einer hohen Oberflächenmobilität, einem hohen Diffusionsvermögen und/oder hervorragenden Stofftransporteigenschaften (z. B. Hg-haltige, Cd-haltige und Zn-haltige Verbindungen) Vorteile liefern, wenn sie in Festkörperwaferbondanwendungen verwendet werden.

[0017] Ein Bedenken beim Verwenden des oben beschriebenen Verfahrens ist es, daß nach der Entfernung des temporären Wachstumssubstrats die verbleibende LED-Struktur extrem dünn sein kann, z. B. weniger als 10 µm, und daher zerbrechlich und schwierig Handzuhaben ist. Bei einem zweiten darstellenden Ausführungsbeispiel wird das temporäre Wachstumssubstrat erst entfernt, nachdem das zweite Substrat an der obersten Schicht der LED-Struktur befestigt wurde. Das Verwenden von Waferbonden des zweiten Substrats statt epitaxialem Aufwachsen des zweiten Substrats ermöglicht die Befestigung eines dicken Substrats, z. B. 203,2 µm (8 Tausendstel Zoll) oder mehr. Dieses zweite Substrat kann transparent sein und als eine leistungsverbessernde Schicht für optische Extraktion und Stromausbreitung dienen und/oder nur als Einrichtung zum Erhalten verbesserter mechanischer Stabilität während den Schritten des Entfernens des Wachstumssubstrats und des Durchführens eines zweiten Waferbondens eines transparenten Substrats an der Seite der LED-Struktur, von der das Wachstumssubstrat entfernt wurde, dienen. Falls nur mechanische Stabilität gewünscht wird, kann dieses zweite Substrat nach-

folgend entfernt werden, nachdem der zweite Waferbondingschritt bzw. Schritt des Waferbondens durchgeführt wird.

[0018] Obwohl die eindeutigste Verwendung der Waferbondingtechnik eine ist, bei der ein optisch absorbierendes Substrat entfernt wird und durch ein optisch transparentes Substrat ersetzt wird, ist dies nicht wesentlich. Das temporäre Wachstumssubstrat kann ein transparentes Substrat mit einer niedrigen elektrischen Leitfähigkeit sein, die die Stromausbreitungsfähigkeit desselben beschränkt. Ein solches Substrat würde letztendlich die Effizienz der LED begrenzen. Somit würde die Entfernung des temporären transparenten Wachstumssubstrats für den Austausch mit einem transparenten Substrat mit einer höheren elektrischen Leitfähigkeit die Leistungsfähigkeit des Elements verbessern. Gleichartig dazu kann eine absorbierende Schicht mit einer niedrigen elektrischen Leitfähigkeit mit einer absorbierenden Schicht mit einer höheren elektrischen Leitfähigkeit ausgetauscht werden.

[0019] Das oben beschriebene Verfahren bildet ein lichtemittierendes Halbleiterelement mit einer Waferbondsicht. Eine „Waferbondsicht“ ist hierin definiert als eine Schicht oder ein Substrat, das die Eigenschaften aufweist, die für eine Schicht, die dem Waferbonden unterzogen wurde, charakteristisch sind. Es wird davon ausgegangen, daß eine solche Charakteristik im Vergleich zu einer epitaxial aufgewachsenen fehlangepaßten Heterogrenzfläche eine andere Art von Fehlanpassungsversetzung ist, die an der wafergebondeten Grenzfläche gebildet ist. Es wurde beobachtet, daß eine Grenzfläche, die dem Waferbonden unterzogen wurde, Fehlanpassungsversetzungen zeigt, die überwiegend aus „Kantenversetzungen“ bestehen, deren Burgers-Vektor in der Ebene der wafergebondeten Grenzfläche liegt. Diese Eigenschaften sind im Kontrast zu einer epitaxial aufgewachsenen fehlangepaßten Grenzfläche, die typischerweise eine viel höhere Dichte von „Gewindefersetzung“ aufweist, d. h. Versetzungen, die nicht auf die Ebene der fehlangepaßten Grenzfläche beschränkt sind, und dazu neigen, sich senkrecht zu der Grenzfläche auszubreiten.

[0020] Bei einem weiteren darstellenden Ausführungsbeispiel sind Schichten auf einem ersten Wachstumssubstrat epitaxial aufgewachsen, das nicht notwendigerweise zu einem späteren Zeitpunkt entfernt wird. Viele Al-haltige III-V-Halbleiter sind in feuchten Umgebungen unstabil und werden durch Hydrolyse verschlechtert. Eine solche Verschlechterung kann Zuverlässigkeitssprobleme für LEDs bewirken, die Al-haltige III-V-Epitaxieschichten von wesentlicher Dicke enthalten. Beispielsweise wird eine AlGaAs-LED, wie z. B. diejenige, die in **Fig. 3** gezeigt ist, als Folge einer Oxidation der hohen Al-Zusammensetzungsschicht **28** eine wesentliche Verschlechterung erleiden während nassem Hochtemperaturzuverlässigkeitstesten. Diese Verschlechterung kann durch Verwenden von Waferbonden mög-

licherweise reduziert werden. Beispielsweise kann der Großteil der Dicke der Schicht **28** mit hoher Al-Zusammensetzung durch eine dicke, optisch transparente, elektrisch leitfähige Waferbondschicht ausgetauscht werden, die keine hohe Zusammensetzung von Al enthält. Auf die gleiche Weise kann eine Waferbondschicht aus GaP für einen Hauptabschnitt des transparenten Substrats **24** eingesetzt werden. Das heißt, es ist möglich, die Waferbondingtechnik zu verwenden, um eine Passivierung zu erhalten.

[0021] Bei einem weiteren darstellenden Ausführungsbeispiel kann ein elektrisch leitfähiger Spiegel an die LED-Schichten, die die LED-Struktur bilden, wafergebondet werden. Licht, das in der Richtung des Spiegels emittiert wird, wird dann zu der LED-Struktur zurückreflektiert, um die Effizienz des Elements zu verbessern. Bei diesem darstellenden Ausführungsbeispiel wird der Spiegel typischerweise von einem Substrat getragen, das ein absorbierendes Substrat oder ein transparentes Substrat sein kann, da das Licht das Substrat selbst nicht erreicht. [0022] Das Waferbonden kann ebenfalls verwendet werden, um erhöhte mechanische und/oder Wärmestabilität zu schaffen, unabhängig von optischen Vorteilen. Beispielsweise kann ein robuster III-V-Halbleiterwafer oder ein SiC-Wafer mit einer II-VI-LED-Struktur gebondet werden, um Stabilität hinzuzufügen.

[0023] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist zumindest eine der Waferoberflächen, die wafergebondet werden soll, auf eine Weise strukturiert, um die elektrischen und/oder optischen Eigenschaften des Wafers selektiv zu variieren. Beispielsweise können vor dem Waferbonden an ausgewählten Bereichen Vertiefungen gebildet werden, um gewünschte Stromwege zu der aktiven Region der LED zu definieren. Mögliche Anwendungen umfassen das Reduzieren von Licht, das zu metallisierten Elektroden gerichtet ist, zum Anlegen von Spannungen an LED und Vereinfachen der Herstellung von Punktemittern, sind aber nicht darauf beschränkt. Strukturieren kann ebenfalls verwendet werden, um optische Eigenschaften entlang der Waferoberfläche zu variieren, um Licht in einer gewünschten Weise umzuleiten.

[0024] Wie oben angemerkt, ist die Waferbondgrenzfläche vorzugsweise eine mit einer niedrigen elektrischen Widerstandsfähigkeit und guter mechanischer Stärke. Es wurde herausgefunden, daß Van-der-Waals-Kräfte beim Erhalten der gewünschten ohmschen Charakteristika und strukturellen Integrität typischerweise wirkungslos sind. Es wurde ebenfalls herausgefunden, daß eine Kombination aus Druck und Hochtemperaturverarbeitung die gewünschten ohmschen und mechanischen Charakteristika zuverlässiger erreicht. Außerdem ermöglicht es die Anwendung von Druck bei hohen Temperaturen den Wafern, sich aneinander anzupassen, wodurch Probleme minimiert werden, die durch die Ungleichheit der Waferoberflächen entstehen können,

insbesondere zum Bonden relativ dicker Schichten. [0025] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß die Leistungsfähigkeit der resultierenden LED verbessert ist. Sowohl die Lichtextraktion als auch die Stromausbreitung können verbessert werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0026] **Fig. 1** ist eine Seitenansicht eines herkömmlichen Einfach-Heteroübergangs-LED-Elements mit einem absorbierenden Substrat;

[0027] **Fig. 2** ist eine Seitenansicht eines herkömmlichen Doppelheteroübergangs-LED-Elements mit einem absorbierenden Substrat;

[0028] **Fig. 3** ist eine Seitenansicht eines herkömmlichen Doppelübergangs-LED-Elements mit einem transparenten Substrat;

[0029] **Fig. 4** ist eine Seitenansicht eines Doppelheteroübergangs-LED-Elements mit einem temporären Wachstumssubstrat;

[0030] **Fig. 5** ist eine Seitenansicht einer LED-Struktur, bei der das Wachstumssubstrat von **Fig. 4** entfernt ist;

[0031] **Fig. 6** ist eine Seitenansicht der LED-Struktur von **Fig. 5** mit einem permanenten Substrat, das unter Verwendung von Waferbondingtechniken befestigt ist;

[0032] **Fig. 7** ist eine Seitenansicht der Struktur von **Fig. 6** mit Elektroden an gegenüberliegenden Seiten;

[0033] **Fig. 8** ist eine Seitenansicht einer alternativen LED-Struktur, die durch Waferboden hergestellt ist;

[0034] **Fig. 9** ist eine Seitenansicht eines dritten Ausführungsbeispiels vom Befestigen eines Waferbondsubstrats an das Element von **Fig. 4**;

[0035] **Fig. 10** ist eine Seitenansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels vom Befestigen eines Waferbondsubstrats an die LED-Struktur von **Fig. 5**;

[0036] **Fig. 11** ist eine Seitenansicht der LED-Struktur von **Fig. 5**, die durch Verwendung von Waferbondingtechniken an einem Spiegel befestigt ist;

[0037] **Fig. 12** ist eine Seitenansicht eines gestapelten LED-Elements;

[0038] **Fig. 13** sind Seitenansichten von LED-Elementen, die bis 17 strukturierte Schichten verwenden, die gemäß der Erfindung wafergebondet sind;

[0039] **Fig. 18** ist eine Explosionsansicht einer Waferbondingvorrichtung zum Ausführen der Schritte der vorliegenden Erfindung;

[0040] **Fig. 19** ist eine Graphik von Temperaturprofilen zum Betreiben der Vorrichtung von **Fig. 18**;

[0041] **Fig. 20** ist eine schematische Ansicht einer alternativen Vorrichtung zum Ausführen der Schritte der vorliegenden Erfindung; und

[0042] **Fig. 21** sind unterschiedliche Ausführungsbeispiele von und 22 Graphitbaugliedern für die Verwendung mit der Vorrichtung von **Fig. 20**.

BESTER MODUS ZUM AUSFÜHREN DER ERFINDUNG

[0043] Bezugnehmend auf **Fig. 4** ist es ein erster Schritt beim Ausführen des Waferbondingverfahrens, ein Substrat auszuwählen, auf das eine Mehrzahl von LED-Schichten aufeinanderfolgend aufgewachsen wird. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das Substrat **30** ein temporäres Wachstumssubstrat, "das nachfolgend nach der Herstellung der LED-Schichten entfernt wird. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die elektrischen und optischen Eigenschaften des Substrats für den Betrieb der LED, die hergestellt werden soll, nicht relevant, so daß das Substrat ausschließlich nach Eigenschaften ausgewählt werden kann, die das Wachstum der LED-Schichten beeinflussen. Beispielsweise ist die Kristallgitteranpassung typischerweise ein wichtiges Merkmal bei der Auswahl des Substrats. Bei einigen Ausführungsbeispielen kann jedoch das Substrat übrig bleiben, so daß für diese Ausführungsbeispiele andere Eigenschaften als die Wachstumskompatibilität wichtig sind.

[0044] Ein beispielhaftes temporäres Wachstumssubstrat **30** ist ein GaAs-Substrat in dem Bereich von 200 bis 500 µm Dicke. Vier LED-Schichten **32**, **34**, **36** und **38** werden dann auf dem Wachstumssubstrat **30** aufgewachsen. Die Schichten **32–38** können unter Verwendung eines von einer Vielzahl bekannter Verfahren, einschließlich Flüssigphasenepitaxie, Gasphasenepitaxie, metallorganische chemische Bedampfung und Molekularstrahlepitaxie, aufgewachsen werden. Die Schichten **32 – 38** bilden eine Doppelheteroübergangs-LED, aber die Erfindung kann mit jedem Typ von LED-Element verwendet werden.

[0045] Die Schicht **32** direkt oberhalb des Wachstumssubstrats **30** ist eine n-dotierte Pufferschicht. Oberhalb der Pufferschicht ist eine tiefere Sperrsicht aus n-dotiertem AlGaN_xP aufgewachsen. Die untere Sperrsicht **34** weist eine beispielhafte Dicke von 800 nm auf.

[0046] Eine aktive Schicht **36** aus AlGaN_xP ist zu einer beispielhaften Dicke von 500 nm aufgewachsen. Eine obere Sperrsicht **38** aus p-dotiertem AlGaN_xP vervollständigt dann die Struktur von **Fig. 4**. Die obere Sperrsicht weist eine beispielhafte Dicke von 800 nm auf. Optional kann eine Fensterschicht, die transparent ist und eine höhere elektrische Leitfähigkeit aufweist als die Schichten **34**, **36** und **38**, auf der oberen Sperrsicht **38** aufgewachsen werden, um die Stromausbreitung zu fördern und dadurch die Leistungsfähigkeit der resultierenden Struktur zu verbessern. Eine solche Fensterschicht ist in dem U.S.-Patent Nr. 5,008,718 an Fletcher u. a. beschrieben.

[0047] Ein bestimmter Grad an optischer Absorption und elektrischer Widerstandsfähigkeit kann in den Wachstumsschichten **32–38** toleriert werden, da diese Schichten ausreichend dünn sind, so daß nicht ganz optimale Charakteristika die Leistungsfähigkeit

des Elements nicht ernsthaft beeinträchtigen. Ein optisch absorbierendes temporäres Wachstumssubstrat **30** wird jedoch die Leistungsfähigkeit eindeutig beeinflussen. Bezugnehmend auf **Fig. 5** wurde das Wachstumssubstrat entfernt, wodurch die LED-Struktur, durch die Wachstumsschichten **32–38** gebildet, zurückbleibt. Die Entfernung des Wachstumssubstrats kann auf verschiedenen Wegen, einschließlich chemisches Ätzen, Läppen/Polieren, reaktives Ionenätzen, Ionenstrahlätzen oder einer Kombination derselben erreicht werden. Wie nachfolgend näher beschrieben, ist das Verfahren zum Entfernen des Substrats nicht wesentlich, solange nach der Entfernung eine saubere, Planare Oberfläche vorliegt. Zusätzlich zu dem Wachstumssubstrat kann die Pufferschicht **32** vollständig oder teilweise entfernt werden, und die untere Sperrsicht kann teilweise entfernt werden.

[0048] Nach der Entfernung des temporären Wachstumssubstrats wird ein leistungsverbesserndes Substrat entweder mit der untersten Schicht **32** oder der obersten Schicht **38** der in **Fig. 5** gezeigten LED-Struktur **40** gebondet. Die Position des zu bondenden Wafers hängt von der LED-Struktur **40** und den elektrischen und optischen Eigenschaften der gewachsenen Schichten **32–38** und/oder des Substrats, das zu bonden ist, ab. Eine Waferbondingtechnik wird verwendet. Das Waferbonden bietet im Vergleich zu anderen Verfahren zum Bereitstellen eines leistungsverbessernden Substrats für eine LED eine Vielzahl von Vorteilen.

[0049] **Fig. 6** stellt ein Beispiel dar, bei dem ein elektrisch leitfähiges, optisch transparentes Substrat **42** an die Pufferschicht **32** wafergebondet wurde. Das Waferbonden liefert den Vorteil, daß ein transparentes Substrat geliefert werden kann, ohne das Wachstum eines solchen Substrats zu erfordern. Vorzugsweise weist das wafergebondete transparente Substrat **42** eine Dicke auf, die 203,2 µm (8 Tausendstel Zoll) überschreitet. Das Aufwachsen eines Substrats mit einer vergleichbaren Dicke wäre unter Verwendung herkömmlicher Techniken schwierig oder unmöglich und würde äußerst lange Zeit dauern. Weil nur die relativ dünnen Schichten **32 – 38** der LED-Struktur **40** aufgewachsen werden müssen, können die Epitaxiewachstumszeiten drastisch reduziert werden, wodurch der Durchsatz maximiert wird. Darüber hinaus liefert der Waferbondingprozeß ein dickes Element mit verbesserten mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu transparenten Substraten, die epitaxial aufgewachsen werden. Weil die resultierenden LED-Elemente leichter Handzuhaben sind und weniger leicht brechen, wird die Herstellung erleichtert und der Elementertrag wird erhöht. Das Waferbonden kann außerdem verwendet werden, um den p-n-Übergang von dem Boden des Elements zu verschieben, um so die Möglichkeit des Kurzschließens des Elements zu reduzieren, wenn dasselbe in leitfähigem silberhaltigem Epoxid befestigt ist, wie es in der Technik üblich ist.

[0050] Bezugnehmend auf **Fig. 7** umfaßt der Rest des Herstellungsprozesses Standard-LED-Techniken. Eine Elektrode **44** wird auf der oberen Sperrschicht **38** gebildet, beispielsweise durch Verdampfung. Ein typisches Material zum Bilden der Elektrode ist eine Gold-Zink-Legierung. Eine zweite Elektrode **46** wird auf dem transparenten Substrat **42** gebildet. Wieder kann Verdampfung verwendet werden, aber dies ist nicht wesentlich. Ein typisches Material ist eine Gold-Germanium-Legierung.

[0051] In einigen Umständen kann es wünschenswert oder sogar notwendig sein, den oben beschriebenen Prozeß zu modifizieren, um Waferbonden durchzuführen. Beispielsweise wurde in **Fig. 8** ein zweites Substrat **48** an die Struktur von **Fig. 4** wafergebondet. Das heißt, ein zweites Substrat wird vor der Entfernung des temporären Wachstumssubstrats **30** wafergebondet. Vorzugsweise ist das zweite Substrat **48** eine „dicke“ Schicht, die 152,4 µm (6 Tausendstel Zoll) überschreitet. Waferbonden vor der Entfernung des Wachstumssubstrats **30** würde die mechanische Stabilität des Elements wesentlich verbessern, da es keinen Zeitpunkt geben würde, zu dem die Epitaxieschichten **32–38** nicht durch ein Substrat getragen wären. Optional kann vor dem Waferbonden auf dem zweiten Substrat **48** eine Pufferschicht epitaxial aufgewachsen werden. Eine solche epitaxiale Pufferschicht kann außerdem mit einem Substrat verwendet werden, das das Wachstumssubstrat **30** an dem Boden der Pufferschicht **32** ersetzt.

[0052] Bei einem weiteren darstellenden Ausführungsbeispiel kann das Element von **Fig. 4** eine herkömmliche Struktur sein, bei der die Schichten **32–38** auf einem transparenten oder absorbierenden Substrat **30** aufgewachsen sind. Die wafergebondete Schicht **48** von **Fig. 8** würde dann eine dicke, elektrisch leitfähige, optisch transparente Schicht sein, wie z. B. die stromausbreitende Fensterschicht, die oben mit Bezugnahme auf das U.S.-Patent Nr. 5,008,718 an Fletcher u. a. beschrieben wurde. Ferner ist es nach dem Bonden der obersten Schicht **48** außerdem möglich, das ursprüngliche Wachstumssubstrat **30** zu entfernen und ein weiteres leistungsverbesserndes Substrat an den Boden der verbleibenden Struktur waferzubonden, aus Gründen der Verbesserung der optischen Extraktion und/oder der Stromausbreitung.

[0053] Darüber hinaus kann das Element von **Fig. 4** eine herkömmliche Transparentschicht **30** aufweisen, die eine niedrige elektrische Leitfähigkeit aufweist, und dadurch die Stromausbreitungsfähigkeit des Elements beschränkt. Unter diesen Umständen wäre es wünschenswert, ein transparentes Substrat mit einer höheren elektrischen Leitfähigkeit waferzubonden. Die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit würde die Leistungsfähigkeit des Elements verbessern. Das transparente Ersatz-Substrat sollte an die freigelegten LED-Schichten mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit wafergebondet werden. Das transparen-

te Ersatz-Substrat mit der höheren elektrischen Leitfähigkeit könnte entweder vor oder nach der Entfernung der transparenten Schicht mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit an die LED-Struktur wafergebunden werden.

[0054] Gleichartig dazu können absorbierende temporäre Wachstumssubstrate durch absorbierende Substrate ersetzt werden, die eine höhere elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Obwohl die Verwendung von Waferbonden zum Befestigen einer absorbierenden Schicht ein weiteres darstellendes Ausführungsbeispiel ist, würde solches Waferbonden die Leistungsfähigkeit des LED-Elements in der Tat verbessern.

[0055] Bezugnehmend auf **Fig. 9** kann Waferbonden außerdem beim Bereitstellen von Passivierung für die Strukturen entweder von **Fig. 4** oder **Fig. 6** verwendet werden. Viele Al-haltige III-V-Halbleiter sind in feuchten Umgebungen instabil, da solche Halbleiter für eine Verschlechterung durch Hydrolyse anfällig sind. Die Verschlechterung kann Zuverlässigkeitssprobleme bei LEDs bewirken, die Al-haltige III-V-Epitaxieschichten **30–38** von signifikanter Dicke aufweisen. Beispielsweise kann eine Verschlechterung von der Oxidation der hoch Al-haltigen Sperrschicht **38** während der Verwendung bei Nässe und hohen Temperaturen herrühren. Die Verschlechterung kann verzögert werden, wenn die Mehrheit der Al-haltigen Schichten durch eine dicke, optisch transparente, elektrisch leitfähige Waferbondsenschicht ausgetauscht wird, die keine hohe Al-Zusammensetzung enthält. Die Waferbondsenschicht kann beispielsweise 50 GaP sein.

[0056] Bezugnehmend auf **Fig. 6** kann die gewünschte elektrische Verbindung zwischen dem transparenten Substrat **42** und der LED-Struktur **40** durch Verwenden eines Metallisierungsschemas sichergestellt werden. Beispielsweise können auf der oberen Oberfläche des Substrats **42**, das wafergebondet werden soll, dünne Kontaktbereiche gebildet werden. Auf der untersten Schicht **32** der LED-Struktur können entsprechende Kontaktbereiche gebildet werden. Kontakte mit einer Dicke von weniger als 100 nm werden bevorzugt. Obwohl die Struktur der Kontakte ausreichend groß sein sollte, um den korrekten elektrischen Kontakt sicherzustellen, sollte der gesamte Bereich, der durch den Kontakt bedeckt wird, ausreichend klein sein, damit die Grenzfläche zwischen der LED-Struktur und dem Substrat **42** den Durchgang von Licht zu und von dem transparenten Substrat ermöglicht. Die Kontakte können legiert sein oder nicht. Die Oberfläche des Substrats wird dann mit der Oberfläche der untersten Schicht **32** in Kontakt gebracht und das Element wird bei erhöhten Temperaturen ausgeheilt. Das Ausheilen erreicht eine Waferverbindung in den nicht-metallisierten Bereichen und liefert eine Bondverbindung an den metallisierten Kontakten.

[0057] Bei der Halbleiter-Glas-Bondverbindung wurde im Vergleich zu der Halbleiter-Halbleiter-Bondverbindung eine hervorragende Bondingstärke beob-

achtet. Das gleiche gilt für Halbleiter-SiO₂-Bondverbindungen im Vergleich zu Halbleiter-Halbleiter-Bondverbindungen. Daher kann es aus Gründen der mechanischen Integrität wünschenswert sein, durch Herstellen einer Schichtstruktur aus Halbleiter-Glas-Halbleiter oder einer Schichtstruktur aus Halbleiter-SiO₂-Halbleiter LEDs mit transparenten Substraten zu bilden. Bezugnehmend auf **Fig. 10** kann eine Schicht **52** aus Glas oder SiO₂ oder anderem Oxid auf einem optisch transparenten, elektrisch leitfähigen Substrat **54** gebildet werden. Die Schicht **52** wird dann strukturiert, um Bereiche für eine Kontaktmetallisierung **56** zu liefern, wie bei dem darstellenden Ausführungsbeispiel, das direkt vorher beschrieben ist. Alternativ oder zusätzlich kann ein Oxid und/oder eine Kontaktmetallisierung **58** auf der untersten Schicht **32** der LED-Struktur strukturiert werden. Wiederum sollten die Kontakte strukturiert sein, um einen ausreichenden Bereich für guten elektrischen Kontakt herzustellen, während dieselben einen Gesamtbereich setzen, der die Grenzfläche nach wie vor überwiegend optisch transparent beläßt. Die Oberfläche der Schicht **52** wird dann mit der Oberfläche der Pufferschicht **32** in Kontakt gebracht, und die Bearbeitung bildet eine Waferbondverbindung zwischen den Schichten. Das Ausheilen verbessert die Bondingstärke zwischen den Materialien.

[0058] Bezugnehmend auf **Fig. 11** kann die oben beschriebene LED-Struktur **40** an einen Spiegel **60** wafergebondet werden. Der Spiegel **60** reflektiert dann alles nach unten emittierte oder vorher reflektierte innere Licht. Die Reflexion erhöht das Lichtausgangssignal bzw. die Lichtausgabe des Elements. Vorzugsweise wird der Spiegel **60** durch ein Substrat **62** getragen. Die optischen Eigenschaften des Substrats sind nicht relevant, da das Licht reflektiert wird, bevor es das Substrat erreicht.

[0059] Der Spiegel **60** und das Substrat **62** sollten aus elektrisch leitfähigem Material hergestellt sein, und es einer Elektrode ermöglichen, mit dem Substrat gekoppelt zu sein, um die LED-Struktur **40** vorzuspannen. Es ist anzumerken, daß der Spiegel auch aus einem epitaxial aufgewachsenen oder aufgetragenen Bragg-Reflektor bestehen kann. Materialien, wie z. B. Silizium, GaAs, oder selbst einige Metalle können verwendet werden, um das Substrat **62** zu bilden. Diese Materialien können weitere Verbesserungen des Elements schaffen, falls das Element bei hohen Temperaturen oder hohen Strömen betrieben wird, da einige dieser Materialien, z. B. Si, eine relativ hohe thermische Leitfähigkeit aufweisen.

[0060] Gestapelte LED-Elemente können ebenfalls unter Verwendung des Waferbondingprozesses gebildet werden. Eine solche Vorrichtung ist in **Fig. 12** gezeigt. Ein solches Element ist in **Fig. 12** gezeigt. Mehrfach-LED-Strukturen **40** und **64** können zusammengebondet werden und/oder an andere Schichten gebondet werden, falls die Grenzflächen derart sind, daß eine hohe elektrische Leitfähigkeit durch das Element beibehalten wird. Der Dotiertyp der Schich-

ten **34** und **38** der oberen LED-Struktur **40** entspricht dem Dotiertyp der Schichten **70** bzw. **66** der unteren LED-Struktur **64**. Somit sind die beiden LED-Strukturen **40** und **64** mit der gleichen Polarität angeordnet. Außerdem sollten die Oberflächen, die wafergebondet werden sollen, so präpariert werden, daß sie sehr stark dotiert sind. Somit, wird ein stark dotierter Tunnelübergang **72** mit der entgegengesetzten Polarität der LED-Strukturen gebildet, wenn die Strukturen zusammengebondet werden. Alternativ kann der Tunnelübergang epitaxial aufgewachsen werden als ein Teil von einer der LED-Strukturen mit Waferbonden, das an der freigelegten Oberfläche dieses Übergangs auftritt.

[0061] Das Element von **Fig. 12** wird durch Anlegen einer Spannung an eine obere Elektrode **74** und einer Spannung an untere Elektroden **76** betrieben, so daß die einzelnen LED-Strukturen **40** und **64** vorwärts vorgespannt werden. Die unteren Elektroden sind eine strukturierte Metallisierung auf einem elektrisch leitfähigen, optisch transparenten Substrat **78**. Die Vorspannung in Vorwärtsrichtung der gestapelten Vorrichtung spannt den stark dotierten Tunnelübergang **72** in Rückwärtsrichtung vor und bewirkt, daß der Tunnelübergang leitet. Auf diese Weise kann eine beliebige Anzahl von LEDs für ein verbessertes Lichtausgangssignal und verbesserte Effizienz zusammengepakt werden. Das LED-Element, das aus dem Stapel von LED-Strukturen **40** und **64** besteht, würde bei der Summe von Spannungen der einzelnen LED-Strukturen betrieben werden, falls die LED-Strukturen nicht zusammengepakt wären. Es ist nicht wesentlich, daß die aktiven Schichten **36** und **68** die gleiche Emissionsenergie besitzen. Das Substrat **78** weist jedoch vorzugsweise eine Energielücke auf, die größer ist als die Emissionsenergien der einzelnen LED-Strukturen. Es wird angemerkt, daß der Stapel ebenfalls gebildet werden kann, wenn alle der Leitfähigkeitstypen invertiert sind.

[0062] Eine beliebige Anzahl von Substraten kann bei der Bildung eines LED-Elements wafergebondet werden. Bei dem darstellenden Ausführungsbeispiel ist die Waferbondsicht ein Halbleiter mit einer Dicke, die 25,4 µm (1 Tausendstel Zoll) überschreitet. Akzeptable Materialien umfassen Si, Ge, AlP, AlSb, GaN, AlN, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, InSb, ZnS, ZnSe, CdSe, CdTe, SiC oder jede Kombination von Legierungen der obigen. Das Waferbondsubstrat ist im Handel erhältlich oder kann aus epitaxial aufgewachsenen Schichten bestehen, die einem im Handel erhältlichen Substrat hinzugefügt werden. Die epitaxial aufgewachsenen Schichten werden aus Gründen, wie z. B. dem Erhöhen der Bondingstärke des Substrats oder der elektrischen Leitfähigkeit der Waferbondgrenzfläche, hinzugefügt. Es ist außerdem möglich, daß das Waferbondsubstrat nur eine dicke, d. h. stärker als 25,4 µm (1 Tausendstel Zoll) epitaxiale Schicht der oben aufgelisteten Materialien ist, die von einem temporären Wachstumssubstrat entfernt wurde. Es ist außerdem möglich, daß die

Waferbondsicht eine dünnere, z. B. 2 µm, epitaxiale Schicht ist, die auf einem temporären Wachstumssubstrat gebildet ist. Eine solche Schicht wird dann wafergebondet und dieses Wachstumssubstrat nachfolgend entfernt.

[0063] **Fig.** 13 stellt ein Ausführungsbeispiel dar, bei dem ein strukturierter Halbleiterwafer **126** an eine LED-Struktur **128** wafergebondet ist, die eine obere Sperrsicht **130**, eine aktive Schicht **132** und eine untere Sperrsicht **134** umfaßt.

[0064] Die LED-Struktur kann auf einem Substrat **136** aufgewachsen werden oder kann an das Substrat **136** wafergebondet werden. Der strukturierte Halbleiterwafer **126** kann eine stromausbreitende Fensterschicht sein, wie z. B. diejenige, die mit Bezugnahme auf **Fig.** 8 beschrieben wurde, aber dies ist nicht wesentlich. Der strukturierte Wafer **126** wird an einer unteren Oberfläche **138** geätzt, um eine Vertiefung **140** zu bilden. Das Vorliegen der Vertiefung wird sowohl bei den elektrischen als auch den optischen Eigenschaften Variationen bewirken, wenn der strukturierte Wafer mit der LED-Struktur verbunden wird.

[0065] In **Fig.** 14 wurde der strukturierte Halbleiterwafer **126** an die obere Sperrsicht **130** der LED-Struktur **128** wafergebondet. Elektroden **142** und **144** werden dann auf der oberen Oberfläche des strukturierten Wafers **126** und der unteren Oberfläche des Substrats **136** gebildet. Die Vertiefung **140** in dem strukturierten Wafer erzeugt einen Hohlraum oder eine Leerstelle. Das Anlegen einer Spannung an die Elektrode **142** bewirkt die Leitung von Strom zu der LED-Struktur **128**, aber kein Strom fließt zu der Region direkt unterhalb des Hohlraums, wie es durch die Stromflußpfeile in **Fig.** 14 gezeigt ist.

[0066] Elektrodenregionen sind typischerweise absorbierende Regionen. Folglich verbessert das Beschränken des Stromflusses auf die Weise, die in **Fig.** 14 dargestellt ist, die Effizienz des LED-Elements und liefert ein unkompliziertes Verfahren zum Auswählen elektrischer Stromflußwege.

[0067] Andere LED-Elemente, wie z. B. Anzeigen und Punktemitter, können von dem beschränkten Stromfluß profitieren. **Fig.** 15 zeigt einen Punktemitter **142**, der eine LED-Struktur **144** auf einem Substrat **146** enthält. Vertiefungen **148** und **150** sind in einer Waferbondsicht **152** gebildet. Die Hohlräume an der Grenzfläche der LED-Struktur und die Waferbondsicht wirken, um den Stromfluß von den Elektroden **154** und **156** zu der Grenzfläche zu definieren. Der definierte Flußweg liefert eine Strominjektionsregion zwischen den Vertiefungen **148** und **150**, da die Vertiefungen den Bereich des elektrischen Kontakts an der Grenzfläche begrenzen. Die Strominjektion und das Lichtausgangssignal an einer mittleren Region sind bei solchen Anwendungen wünschenswert, da sie den Punktemitter **142** mit einem Lichtwellenleiterelement koppeln. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Vertiefungen **148** und **150** unterschiedliche Abschnitte eines einzigen ringförmigen

gen Hohlraums, bei dem der Innendurchmesser die mittlere Strominjektionsregion definiert.

[0068] Das Strukturieren eines Halbleiterwafers, der wafergebondet werden soll, kann außerdem vorteilhafterweise verwendet werden, um Licht, das von den LED-Schichten emittiert wurde, strategisch umzuleiten. Das Umleiten von Licht hängt von der Geometrie, Anwendung und Befestigung des Elements ab. Ein Beispiel ist in **Fig.** 16 gezeigt. LED-Schichten **156** sind zwischen einer oberen Schicht **158** und einer unteren Schicht **160** angeordnet. Die äußeren Schichten **162** und **164** sind an entgegengesetzten Seiten wafergebondet. Nicht gebondete Regionen **166**, **168** und **170** werden ausreichend weit von den Elektroden **172** gebildet, um es Strom zu ermöglichen, sich um die nicht gebondeten Regionen auszubreiten. Die Hohlräume liegen jedoch ausreichend nahe an den Elektroden, um Licht umzuleiten, das andernfalls durch die Elektroden absorbiert würde. Somit kann eine Erhöhung der Lichtextraktion realisiert werden.

[0069] Die Leitung von Strom von der Elektrode **172** zu den LED-Schichten **156** ist durch die nicht gebondeten Regionen **166**, **168** und **170** im wesentlichen nicht beeinträchtigt, aber Licht, das von den LED-Schichten geleitet wird, ist beeinträchtigt. Das Umleiten von Licht tritt als eine Folge einer Differenz des Brechungsindex zwischen den nichtgebondeten Regionen **166**-**170** und der benachbarten Schicht auf. Der Brechungsindex des umgebenden Halbleiters kann etwa 3 sein, während derselbe in dem Hohlraum etwa 1 beträgt. Der exakte Brechungsindex an den nicht-gebondeten Regionen hängt von dem Halbleiterwaferbondverfahren ab. Typischerweise tritt das Bonden in einer gasförmigen Umgebung auf, wie z. B. in H₂ oder PH₃. Somit würde ein Hohlraum dazu neigen, sich mit dem Gas zu füllen. Solche Gase weisen einen Brechungsindex auf, der bei einem Standarddruck und einer Standardtemperatur nahe bei 1 liegt. Der Brechungsindex des Halbleiters ist Idealerweise größer als der des Hohlraums, so daß Licht nicht dazu neigt, innerhalb des Hohlraums gefangen zu werden, aber dies ist nicht wesentlich.

[0070] Eine weitere Möglichkeit zum Durchführen von strukturiertem Halbleiterwaferbonden für LEDs ist es, eine der LED-Schichten vor dem Bonden der LED-Schichten an einem strukturierten oder unstrukturiertem Substrat zu strukturieren. In **Fig.** 17 umfaßt eine strukturierte LED-Schicht **174** Vertiefungen **176**. Eine strukturierte Schicht **174** kann ursprünglich epitaxial aufgewachsen sein oder kann auf darunterliegende LED-Schichten **178** auf einem Substrat **180** wafergebondet sein. Nach der Bildung der Vertiefungen **176** wird ein zweites Substrat **182** an die obere Oberfläche der strukturierten LED-Schicht wafergebondet. Alternativ kann die LED-Schicht **174** und/oder das Substrat **182** strukturiert werden. Ferner ist es möglich, zwei Schichten getrennt waferzubinden, von denen zumindest eine strukturiert ist, und dann die beiden Schichten an epitaxiale

LED-Schichten waferzubonden.

[0071] Bezugnehmend auf **Fig. 13** können die Vertiefungen **140** in dem Halbleiterwafer **126** durch Standardätztechniken gebildet werden. Andere Verfahren, die in der Technik gut bekannt sind, können ebenfalls beim Strukturieren der Oberflächen von zu bondenden Wafern verwendet werden. Nur als Beispiel würden andere Verfahren selektive Diffusion oder Innenimplantation umfassen, um in Rückwärtsrichtung vorgespannte vergrabene p-n-Übergänge zu bilden, das Wachstum oder das Auftragen von isolierenden Oxidschichten in selektiven Strukturen und jede Kombination der verschiedenen verfügbaren Verfahren. Bezuglich der Oxidschichten beträgt der Brechungsindex der meisten Oxide etwa 1,6, was einen ausreichenden Index liefert, um Licht auf eine Weise umzuleiten, die ähnlich ist wie die oben beschriebenen Hohlräume, die durch Ätzen und Waferbonden gebildet sind.

[0072] Das Waferbonden einer strukturierten Schicht wurde unter Verwendung von n-GaP-Substraten getestet. Ein strukturiertes n-GaP-Substrat wurde unter Verwendung von Techniken, die nachfolgend beschrieben werden, an ein unstrukturiertes n-GaP-Substrat gebondet. Das strukturierte Substrat wurde durch Ätzen runder Vertiefungen mit einem Durchmesser von etwa 175 µm und einer Tiefe von etwa 15 µm gebildet. Die Vertiefungen wurden um etwa 125 µm voneinander beabstandet. Für diese Abmessungen wurde das Substratstrukturieren leicht erreicht und die Bondverbindung wies ausreichend mechanische Stärke auf, um es den Substraten zu ermöglichen, gespalten zu werden. Vertiefungen mit kleineren Abmessungen, etwa 40 µm, wurden ebenfalls gezeigt. Ausdehnungen auf Abmessungen von weniger als 10 µm sollten ebenfalls möglich sein, um eine fein skalierte Stromdefinition und Lichtstreuungsfähigkeiten zu ermöglichen. GaP-GaP-Bondverbindungen mit niedrigem elektrischem Widerstand und InGaP-GaP-Bondverbindungen entweder für einpolare n-Typ- oder p-Typ-Bondverbindungen wurden unter Verwendung der nachfolgend beschriebenen Techniken erhalten, so daß strukturierte Wafer in der Lage sein sollten, Strom über gebondete Regionen zu leiten, während sie einen Stromfluß über nicht gebondete Hohlräume verhindern.

REDUZIERUNG AUF DIE PRAXIS

[0073] **Fig. 18** stellt ein bekanntes Element zum Erreichen einer Waferbondverbindung eines Paares von Wafern **80** dar. Das Paar von Wafern wird einander gegenüberliegend in einem mit einer Aussparung versehenen Bereich **82** in einem ersten Graphitbauglied **84** plaziert. Der mit einer Aussparung versehene Bereich **82** ist ein Bereich von 1,27 cm (0,5 Zoll) mal 2,03 cm (0,8 Zoll) in dem ersten Graphitbauglied. Ein zweites Graphitbauglied **86** enthält Löcher **88**, die positioniert sind, um Ausrichtungsstifte **90** aufzunehmen, die von dem ersten Graphitbauglied hervorste-

hen. Graphitscheiben, die nicht gezeigt sind, können in dem mit einer Aussparung versehenen Bereich **82** plaziert werden, um Schwankungen von Versuch zu Versuch bei der Dicke des Paars von Wafern **80**, die zusammengebondet werden sollen, auszugleichen. [0074] Nachdem das erste und das zweite Graphitbauglied **84** und **86** unter Verwendung der Ausrichtungsstifte **60** gekoppelt sind, wird die Anordnung in eine eng angepaßte Quarzröhre **92** eingefügt, die dann in einen Offenrohrhofen geladen wird. Die Temperatur wird in einer H₂-Umgebung mit einer Flußrate von 1,0 Liter/min. auf 850–1.000°C erhöht. Der Temperaturzyklus besteht aus einer Rampe auf die gewünschte Temperatur, gefolgt von einer 5-Sekunden- bis einstündigen Ausheilung. Danach folgt eine Abkühlperiode.

[0075] Während dem Erhitzen wird das Paar von Wafern **80** komprimiert. Die Kompressionskraft wird entwickelt durch die Differenz der Koeffizienten der thermischen Ausdehnung der Quarzröhre **92** ($5,5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$) und der Graphitbauglieder **84** und **86** ($8,4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) entwickelt. Darüber hinaus ist der Koeffizient der thermischen Ausdehnung der Wafer **80** (z. B. $5, 8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ für GaP) signifikant und trägt weiter zu der Kompressionskraft bei. Bei erhöhten Temperaturen werden III-V-Halbleiterwafer etwas formbar. Folglich neigen die Waferoberflächen dazu, sich einander anzulegen, wenn sie komprimiert werden, was dazu beiträgt, alle Unebenheiten der Waferoberflächen auszugleichen.

[0076] Vor dem Laden in die Waferbondingvorrichtung von **Fig. 18** müssen die Wafer **80** gereinigt werden, um jegliche Verunreinigung oder jegliche Oxide von den Waferoberflächen zu entfernen. Eine organische Verunreinigung wird typischerweise durch Entfettungstechniken entfernt. Für die Materialien In_xGa_{1-x}P und GaP werden die Oxide typischerweise durch Ätzen in NH₄OH entfernt. Nach dem Ätzen werden die Wafer sofort in Methanol gelegt, um jegliches verbleibendes NH₄OH von den Wafern zu entfernen. Die zu bondenden Oberflächen werden in Kontakt gebracht, während sich die Proben nach wie vor in dem Methanol befinden.

[0077] Die kontaktierenden Wafer **80** werden dann von dem Methanol entfernt. Das Methanol verdampft schnell und hinterläßt die Wafer **80** durch Van-der-Waal-Kräfte gebondet. Die Van-der-Wall-Bondverbindung liefert jedoch im allgemeinen nicht ausreichend mechanische Stärke und liefert im allgemeinen nicht ausreichend elektrische Leitfähigkeit, um bei der LED-Element-Herstellung, wie sie oben beschrieben ist, verwendet zu werden. Somit ist weiteres Festkörperbonden erforderlich. Daher wird die Waferbondvorrichtung von **Fig. 18** verwendet.

[0078] Für die nachfolgend beschriebenen Experimente bestanden die Wafer aus GaP : S- ($n \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) Substraten [$(100) + 2^\circ$ in Richtung **(110)** oder $(100) + 10^\circ$ in Richtung **(110)**] und aus GaP : Zn- ($p \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) „Pseudosubstraten“ (präpariert aus

50,8 µm (2 Tausendstel Zoll) dickem Gasphasenepitaxie-GaP, das auf GaAs gewachsen ist). Außerdem wurden Schichten verwendet, die aus ~1 µm $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$: Te ($n \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) bestehen und durch metallorganische chemische Aufdampfung (MOCVD) auf GaAs : Te ($n \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und $\text{In}_{0,5}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0,5}\text{P}$ -Doppelheterostruktur-LEDs aufgewachsen sind, die durch MOCVD auf GaAs aufgewachsen sind. GaAs-Substrate wurden in (100) + 2° in Richtung (100) ausgerichtet. Nach dem Festkörperwaferbonden wurden thermische Beschädigungen von den freigelegten Oberflächen im allgemeinen durch Ätzen in $\text{HCl} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = (1 : 1 : 1)$ entfernt. Die Wafer werden dann mit AuGe für n-Typ-Kontakte und/oder AuZn für p-Typ-Kontakte metallisiert, legiert und in Chips vereinzelt.

[0079] Es wurde entdeckt, daß eine wichtige Überlegung beim Ausführen dieser Schritte, um die gewünschten ohmschen elektrischen Charakteristika an der Grenzfläche von zwei Waferbondschichten **80** zu erreichen, die Oberflächenpräparation der Wafer vor dem Kontakt ist. Wie oben angemerkt, umfassen die bevorzugten Schritte das Präparieren der Wafer mit einem NH_4OH -Ätzmittel, gefolgt durch in Kontaktbringen der zu bondenden Oberflächen, während die Wafer **80** sich in einer Lösung aus Methanol befinden. Die Wafer, die nach einer Präparation gebondet werden, die diese beiden Schritte umfaßte, wurden mit Wafern verglichen, die nach dem alternativen Präparationsprozeß mit einem HF : deionisierten Wasser(1 : 10) Ätzmittel, gefolgt durch Spülen in deionisiertem Wasser und Trocknen mit N_2 gebondet wurden. In beiden Fällen bestanden die gebondeten Wafer aus einem n-Typ-GaP-Substrat und n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$ (auf GaAs : Te). Nach dem alternativen Oberflächenpräparationsprozeß wurden die Wafer in der Waferbondingvorrichtung von **Fig. 18** plaziert. Die Wafer wurden genauso für eine Stunde bei 1.000°C ausgeheilt. Die Stromspannungscharakteristika zeigten eindeutig eine ohmsche Bondverbindung mit relativ niedrigem Widerstand für die Wafer, die mit NH_4OH -Methanol präpariert wurden. Die Wafer, die durch Ätzen in HF : deionisiertem Wasser präpariert wurden, zeigten nichtohmsche Charakteristika, als ob eine „Schranke“ an der Grenzfläche des gebondeten Wafers vorliegen würde. Solche nichtohmschen Charakteristika sind im allgemeinen nicht tolerierbar bei Anwendungen, bei denen Strom von einem wafergebondeten Substrat zu einem anderen wafergebondeten Substrat weitergeleitet werden soll.

[0080] Die NH_4OH -Methanol-Oberflächenpräparation wird derzeit als die bevorzugte Präparation zum Erreichen der gewünschten ohmschen elektrischen Charakteristika angesehen, wenn n-Typ-InGaP mit n-Typ-GaP gebondet wird. Andere Oberflächenpräparationen, wie z. B. NH_4OH -Ätzen, Spülen in Methanol und dann Trocknen mit N_2 vor dem Kontakt, führen zu nichtohmschen Charakteristika. Die gleiche Präparation, wenn sie zum Bonden von

n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$ (auf n-Typ-GaAs : Te) an n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$ (GaAs : Te) verwendet wurde, führte zu den gewünschten ohmschen Bondingcharakteristika. Die Unterschiede können von der Unfähigkeit der Oberflächenpräparation herrühren, alle Oxide von dem GaP zu entfernen, während dieselbe für das $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$ ausreichend ist. Eine weitere mögliche Erklärung für die Unterschiede ist es, daß für Inhaltige Verbindungen verbesserte Bondingeigenschaften gezeigt wurden.

[0081] Zwischen (a) festkörpergebondeten Wafern, die aus n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$, gebondet an n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$, bestehen und (b) festkörpergebondeten Wafern, die aus n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$, gebondet an n-Typ-GaP, bestehen, wurde ein Vergleich angestellt. Beide Sätze von Wafern führten zu Waferbondverbindungen mit wünschenswerten ohmschen elektrischen Charakteristika . Die (a) unipolare n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}/\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$ -Bondverbindung zeigte jedoch im Vergleich zu der (b) unipolaren n-Typ- $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}/\text{GaP}$ -Bondverbindung einen wesentlich niedrigeren Widerstandswert an der Grenzfläche. Für (a) betrug der Widerstandswert etwa 1,5 Ohm, während der Widerstandswert für (b) etwa 5 Ohm betrug ($0,508 \times 0,508 \text{ mm}^2$ (20×20 Tausendstel Zoll) Chip). Zusätzlich war die $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}/\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$ -Bondverbindung mit niedrigem Widerstandswert in der Lage, über den gesamten Waferbereich bei einer niedrigen Temperatur von etwa 975°C gebildet zu werden, im Vergleich mit der $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}/\text{GaP}$ -Bondverbindung, die bei 1.000°C erreicht wurde.

[0082] Die Ergebnisse der Experimente zeigen, daß In-haltige Verbindungen für Festkörperwaferbonden zur Verwendung bei der LED-Herstellung wünschenswert sind. Eine mögliche Erklärung dafür ist, daß während dem Halbleiterwaferbondingprozeß durch Schearspannung, Verdampfung-Kondensation und Stofftransport Material übertragen werden kann. Das verbesserte Bonden, das mit In-haltigen Verbindungen beobachtet wurde, kann wünschenswert sein als ein Ergebnis einer höheren Oberflächenmobilität von In-Atomen im Vergleich zu Ga-Atomen oder von verbesserten Stofftransporteigenschaften von $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$ im Vergleich zu GaP. Außerdem ist es bekannt, daß In in AlGaAs-GaAs-InGaAs-Strukturen eine relativ hohe Diffusion zeigt. Gleichzeitig dazu kann das In während dem Festkörperwaferbondingprozeß in das GaP diffundieren oder legieren, und eine $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ -($x < 0,5$) Legierung um die gebondete Grenzfläche bilden.

[0083] Zusätzlich zu In-haltigen Verbindungen können andere III-Voder II-VI-Verbindungen mit ähnlichen Charakteristika, d. h. einer hohen atomischen Oberflächenmobilität und/oder verbesserten Stofftransporteigenschaften, ebenfalls vorteilhafterweise für Festkörperwaferbonden verwendet werden. So mit sind Hg-haltige, Cd-haltige und Zn-haltige Verbindungen die Hauptkandidaten für solche Anwendungen.

[0084] Ein weiterer wichtiger Parameter für die Bildung von Festkörperwaferbondverbindungen mit wünschenswerten ohmschen elektrischen Eigenschaften ist das Temperaturprofil, das verwendet wird, wenn die Wafer **80** in der Vorrichtung von **Fig. 18** ausgeheilt werden. **Fig. 19** zeigt zwei unterschiedliche Profile. In dem oberen Profil wurde eine „schnelle“ Rampe zu einer Temperatur von 1.000°C geliefert, während in dem unteren Profil eine „langsame“ Rampe zu 1.000°C geliefert wurde. In beiden Fällen folgte der Rampe auf 1.000°C eine Ausheilung von einer Stunde. Es sind identische Kühlungsprofile gezeigt.

[0085] Die untere, „langsame“ Rampe führte im allgemeinen zu ohmschem Bonden bei tieferen Temperaturen und über im wesentlichen größere Bereiche. Dieses Phänomen kann daher röhren, daß die gebondeten Oberflächen während einem Abschnitt der Hochtemperaturrampe nicht komprimiert sind. Dies würde einen gewissen Grad an Oberflächenzersetzung oder thermischer Oxid-Desorption vor dem Waferboden ermöglichen. Außerdem könnten solche Unterschiede von einem längeren effektiven Ausheilen herröhren, das durch die „langsame“ Rampe geliefert wurde. Die Wirkung wurde jedoch nur beim Bonden von n-Typ- an n-Typ-Wafers beobachtet. Beim Bonden von p-Typ- an p-Typ-Wafer wurde keine solche Abhängigkeit beobachtet.

[0086] Es gibt einige Anzeichen dafür, daß es leichter sein kann, zwischen p-Typ-Wafers ohmsche Bondverbindungen zu bilden als zwischen n-Typ-Wafers. Waferboden von p-GaP an p-GaP und ebenfalls von n-GaP an n-GaP wurde durchgeführt. In beiden Fällen wurde das Bonden für eine Stunde bei 1.000°C durchgeführt. Ohmsches Bonden trat über die gesamten Probenbereiche auf, sowohl für n-Typ- als auch für p-Typ-Bonden. Der Bondingwiderstandswert war jedoch für die unipolaren GaP/GaP-p-Typ-Waferbondverbindungen signifikant niedriger (weniger als 0,9 Ohm) als für die unipolaren GaP/GaP-n-Typ-Waferbondverbindungen (etwa 5 Ohm) für $304,8 \times 304,8 \mu\text{m}^2$ (12 × 12 Tausendstel Zoll) Chips. Die relative Leichtigkeit des Bildens von ohmschen Bondverbindungen zwischen p-Typ-Proben kann ein Ergebnis der höheren Diffusionsrate von p-Typ-Dotierstoffen im Vergleich zu n-Typ-Dotierstoffen sein.

[0087] Eine deutliche Verbesserung bei dem Lichtausgangssignal von etwa einem Faktor von 2 wurde durch Entfernen des absorbierenden GaAs-Substrats und durch Festkörperwaferboden eines transparenten GaP-Substrats an eine $\text{In}_{0,5}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0,5}\text{P}$ -LED erreicht, im Vergleich mit der gleichen LED-Struktur, bei der das ursprüngliche absorbierende GaAs-Wachstumsubstrat verbleibt.

[0088] Obwohl die Waferbondingvorrichtung von **Fig. 18** die gewünschten Ergebnisse erzielt, erlaubt es die Vorrichtung unvorteilhafterweise nicht, daß Kompressionskraft unabhängig von der Temperatur angelegt wird. Dies liegt daran, daß die Vorrichtung

die Kompressionskraft als eine Folge der thermischen Ausdehnung von Materialien entwickelt, und eine getrennte Steuerung von Kompression und Temperatur ist nicht möglich. Folglich wurde ein Reaktor der **Fig. 20** und **21** entwickelt. **Fig. 20** zeigt eine Draufsicht des Reaktors **94**. Der Reaktor umfaßt zwei Graphitbauglieder **96** und **98** zum Komprimieren eines Waferpaars. Ausrichtungsstifte **100** von einem Graphitbauglied **96** werden innerhalb von Einkerbungen des anderen Graphitbauglieds **98** aufgenommen.

[0089] Die Graphitbauglieder **96** und **98** sind innerhalb einer Ofenröhre **102** positioniert. Das hintere Graphitbauglied **96** ist durch Aufnehmen eines Schafts **106** in einer bogenförmigen Öffnung **108** des Graphitbauglieds bezüglich der Ofenröhre **102** in Position fixiert. Das vordere Graphitbauglied **98** ist innerhalb der Ofenröhre beweglich. Ein Luftkolben ist an einem Schaft **104** befestigt, der innerhalb einer Öffnung **112** des Graphitbauglieds **98** aufgenommen wird. Der Luftkolben kann pneumatisch gesteuert werden, um einen variablen Druck an die Graphitbauglieder anzulegen, und dadurch an das Waferpaar, das bei **110** positioniert ist.

[0090] Bezugnehmend auf **Fig. 21** ist das Waferpaar **112** und **114** als anfangs getrennt gezeigt. Im Vergleich zeigt **Fig. 22** ein erstes und zweites Graphitbauglied **116** und **118**, bei denen zwei Wafer **120** anfangs in Kontakt sind. Das Ausführungsbeispiel von **Fig. 22** wurde getestet und vorläufige Daten zeigen an, daß Festkörperwaferboden über eine gesamte Grenzfläche durchgeführt werden kann. Ein angelegtes Druckprofil als eine Funktion von Temperatur ist wichtig, um das Reißen und Brechen der Wafer **120** zu minimieren. Durch Anlegen eines hohen Drucks bei einer Temperatur, bei der die Wafer nicht biegsam sind, kann Reißen bewirkt werden.

[0091] Das darstellende Ausführungsbeispiel von **Fig. 21**, das es den Wafers **112** und **114** ermöglicht, anfangs getrennt zu sein, kann bevorzugt werden, da dieses Ausführungsbeispiel vor dem Verbinden der Wafer eine thermische Desorption von Oxiden von den Waferoberflächen ermöglicht. Außerdem kann eine bestimmte Zersetzung der zu bondenden Oberflächen wünschenswert sein. Das Ausführungsbeispiel von **Fig. 21** würde diese Bondingbedingungen ermöglichen.

[0092] Eine weitere Möglichkeit ist es, die Oxide trennt von der Waferoberfläche zu desorbieren und die Oberflächen mit einer As-Abdeckung oder einer P-Abdeckung abzudecken, um eine nachfolgende Oxidation zu verhindern. Die abgedeckten Wafer würden dann zwischen Graphitbauglieder plaziert. Ob die abgedeckten Wafer in physikalischem Kontakt sind oder nicht ist nicht wesentlich, da die Abdeckungen die Oberflächen der Wafer selbst effektiv trennen. Die abgedeckten Wafer würden dann auf Temperaturen erhitzt, die 500°C übersteigen, um die Abdeckung von den Wafers zu entfernen, wodurch oxidfreie Oberflächen für das Bonden übrig bleiben. Die

Wafer würden dann in Kontakt gepreßt werden und die Temperatur für Festkörperwaferbonden erhöht.

[0093] Ferner kann während dem Bonden ein Dotierungsgas durch die Ofenröhre **102** von **Fig. 20** fließen, um die Trägerkonzentration an den gebondeten Grenzflächen zu erhöhen. Geeignete Dotierungsgase können H₂Se, H₂S, DETe und DMZn umfassen. Dies kann besonders für n-Typ-Bonden wichtig sein, das schwieriger zu sein scheint als p-Typ-Bonden.

[0094] Der Reaktor **94** von **Fig. 20** kann das Bilden von ohmschen Festkörperwaferbondverbindungen bei niedrigeren Temperaturen ermöglichen, als sie für die Vorrichtung von **Fig. 18** erforderlich sind. Niedrigere Temperaturen würden jede Schichtvermischung der epitaxialen LED-Schichten minimieren. Was noch wichtiger ist, niedrigere Temperaturen würden die Bewegung des p-n-Übergangs in den Elementschichten minimieren.

[0095] Eine weitere Anwendung des Waferbondens für LED-Anwendungen besteht aus dem Bonden eines stabilen Halbleiterwafers an weniger stabilen Halbleiterschichten, um die mechanische und thermische Stabilität der Wafer zu verbessern. Eine spezifische Anwendung ist bei II-VI-LED-Strukturen, die im allgemeinen als weniger stabil angesehen werden als III-V-, IV- oder IV-IV-Halbleiter, sowohl bezüglich der mechanischen Belastung als auch der thermischen Belastung. Folglich kann es wünschenswert sein, einen stabilen III-V-Halbleiter oder ein SiC-Substrat mit einer II-VI-Schicht festkörperwaferzubunden, um die mechanische und/oder thermische Stabilität des LED-Elements zu verbessern.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Bilden einer lichtemittierenden Diode (LED) mit einer Mehrzahl von Schichten, die eine benachbarte erste und zweite Schicht (**126**, **130**) umfassen, die an einer Grenzfläche verbunden sind, wobei das Verfahren folgende Schritte umfaßt: Strukturieren einer ersten Oberfläche (**138**) der ersten Schicht (**126**), wodurch zumindest entweder die optische oder die elektrische Eigenschaft selektiv entlang der Grenzfläche der ersten und der zweiten Schicht (**130**) variiert; und

Waferboden der ersten Oberfläche der ersten Schicht mit der zweiten Schicht, derart, daß Versetzungen an der Grenzfläche überwiegend aus Versetzungen bestehen, die auf die Ebene der Grenzfläche begrenzt sind.

2. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, das ferner das epitaxiale Aufwachsen von LED-Schichten (**130**, **132**, **134**) und das Strukturieren der ersten Oberfläche (**138**) der ersten Schicht (**126**) einschließlich des Auswählens einer Struktur, um einen gewünschten elektrischen Stromweg zu den epitaxial gewachsenen LED-Strukturen zu definieren, um die innere Lichtabsorption durch Elektrodenregionen der lichtemittierenden Diode zu reduzieren, umfaßt.

3. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Strukturieren der ersten Oberfläche (**138**) der ersten Schicht (**126**) das Entfernen von Material von der ersten Schicht umfaßt, um eine Vertiefung (**140**) entlang der ersten Oberfläche zu bilden.

4. Das Verfahren gemäß Anspruch 3, das ferner das Bilden einer Elektrode (**142**), die mit der Vertiefung (**140**) ausgerichtet ist, zum Anlegen einer Spannung umfasst, wobei die Elektrode an einer Seite der ersten Schicht (**126**) positioniert ist, die der zweiten Schicht (**130**) gegenüber liegt.

5. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die erste Schicht (**126**) aus einem Material ausgewählt ist, um eine Stromausbreitungsfenerschicht zu bilden.

6. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Strukturieren der ersten Oberfläche (**138**) das Auswählen einer Struktur umfaßt, um eine Lichtreflexionsstruktur für Licht zu definieren, das durch die LED (**128**) erzeugt wird.

7. Ein Verfahren zum Bilden einer lichtemittierenden Diode (LED) mit einer aktiven Region und einer Mehrzahl von Schichten, die eine benachbarte erste und zweite Schicht (**126**, **130**) umfassen, die an einer Grenzfläche verbunden sind, wobei das Verfahren folgende Schritte umfaßt:

Strukturieren einer ersten Oberfläche (**138**) der ersten Schicht (**126**);

Waferboden der ersten Oberfläche der ersten Schicht mit der zweiten Schicht, derart, daß Versetzungen an der Grenzfläche hauptsächlich aus Versetzungen bestehen, die auf die Ebene der Grenzfläche begrenzt sind; und

Vereinzeln der gebondeten ersten und zweiten Schicht (**126**, **130**) in lichtemittierende Dioden, wobei bei jeder der lichtemittierenden Dioden das Strukturieren der ersten Oberfläche (**138**) eine selektive Variation von zumindest entweder der optischen oder der elektrischen Eigenschaft entlang der Grenzfläche der ersten und zweiten Schicht (**130**) bewirkt, um eine interne Lichtabsorption zu reduzieren, wobei sich die elektrische Eigenschaft auf Stromwege zu der aktiven Region bezieht, und sich die optische Eigenschaft auf ein Umleiten von Licht bezieht, das durch die aktive Region emittiert wird.

8. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, das ferner das epitaxiale Aufwachsen von LED-Schichten (**130**, **132**, **134**) und das Strukturieren der ersten Oberfläche (**138**) der ersten Schicht (**126**) einschließlich des Auswählens einer Struktur, um einen gewünschten elektrischen Stromweg zu den epitaxial gewachsenen LED-Strukturen zu definieren, um die innere Lichtabsorption durch Elektrodenregionen der lichtemittierenden Diode zu reduzieren, umfaßt.

9. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Strukturieren der ersten Oberfläche (**138**) der ersten Schicht (**126**) das Entfernen von Material von der ersten Schicht umfaßt, um eine Vertiefung (**140**) entlang der ersten Oberfläche zu bilden.

10. Das Verfahren gemäß Anspruch 3, das ferner das Bilden einer Elektrode (**142**), die mit der Vertiefung (**140**) ausgerichtet ist, zum Anlegen einer Spannung umfaßt, wobei die Elektrode an einer Seite der ersten Schicht (**126**) positioniert ist, die der zweiten Schicht (**130**) gegenüber liegt.

11. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die erste Schicht (**126**) aus einem Material ausgewählt ist, um eine Stromausbreitungsfensterschicht zu bilden.

12. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Strukturieren der ersten Oberfläche (**138**) das Auswählen einer Struktur umfaßt, um eine Lichtreflexionsstruktur für Licht zu definieren, das durch die LED (**128**) erzeugt wird.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

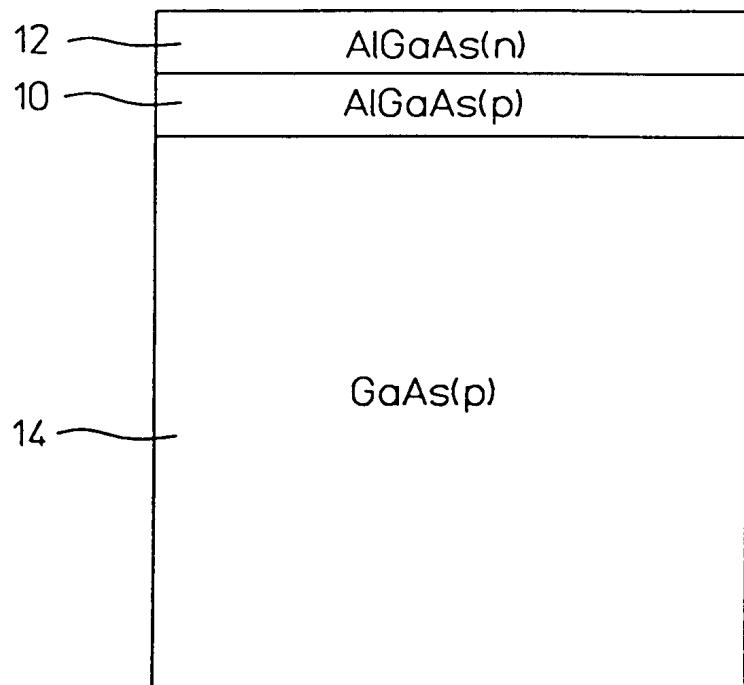


FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

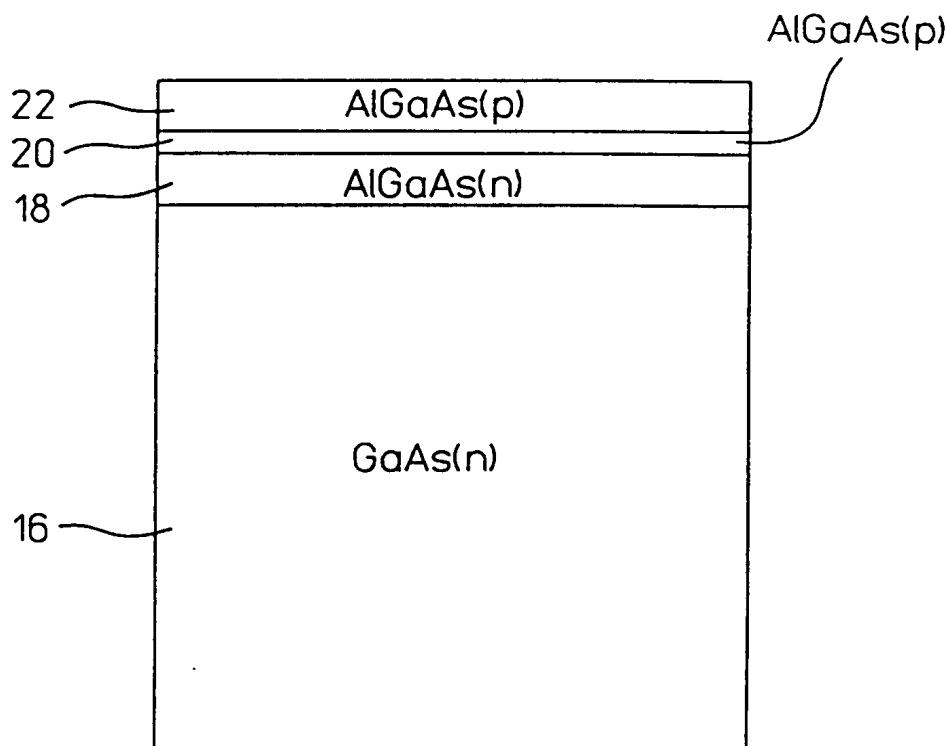


FIG. 2 (STAND DER TECHNIK)

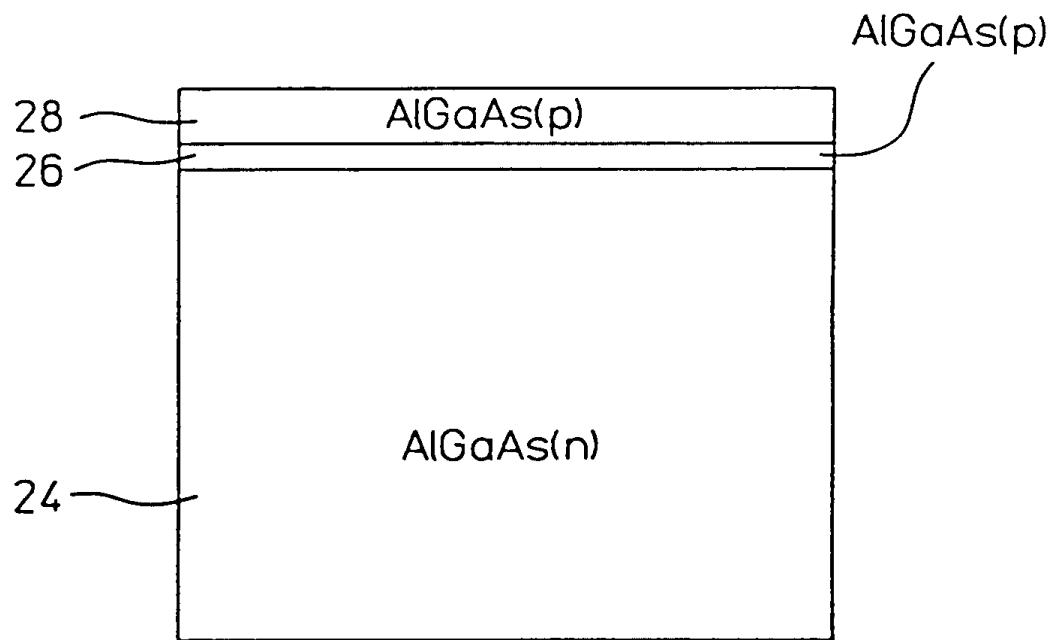


FIG. 3 (STAND DER TECHNIK)

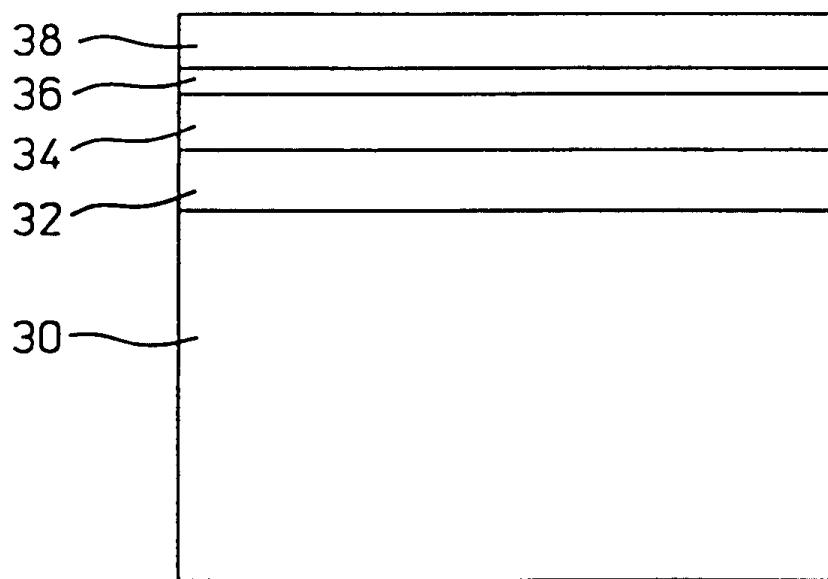
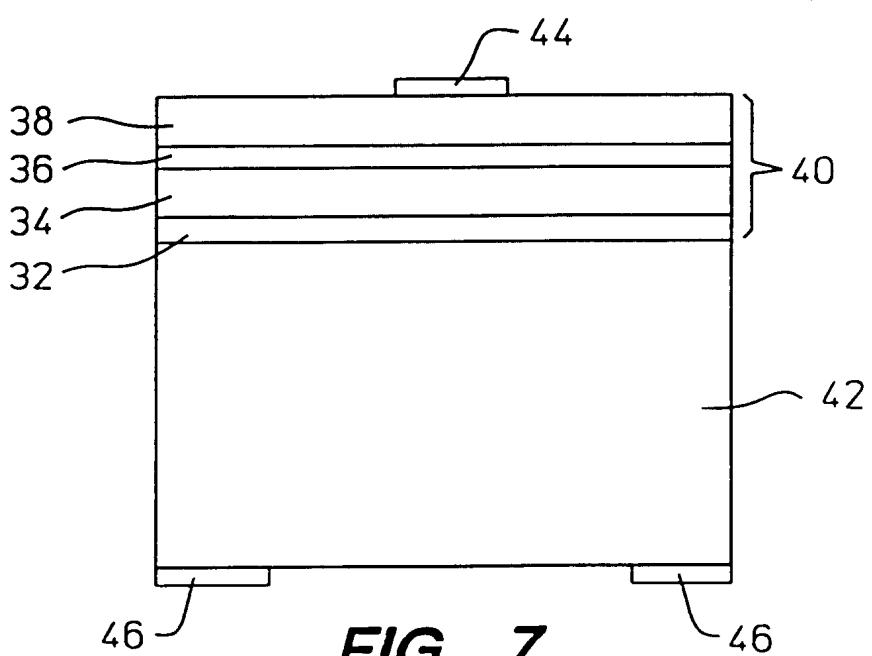
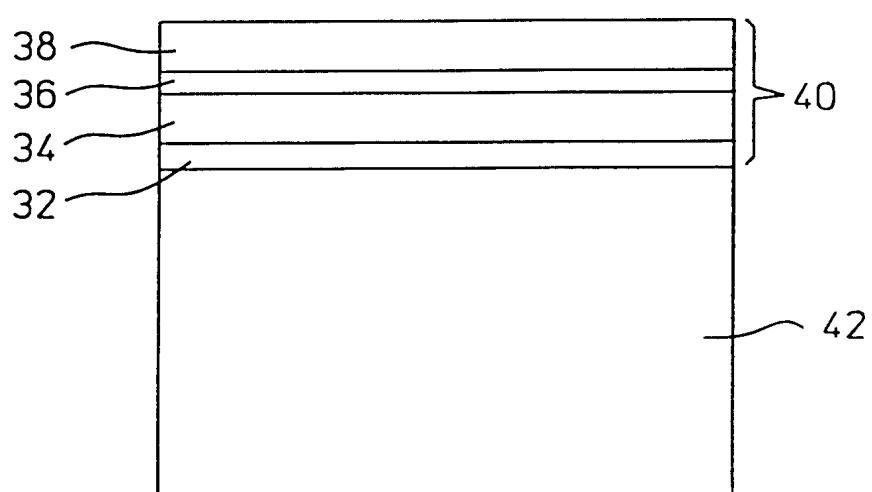
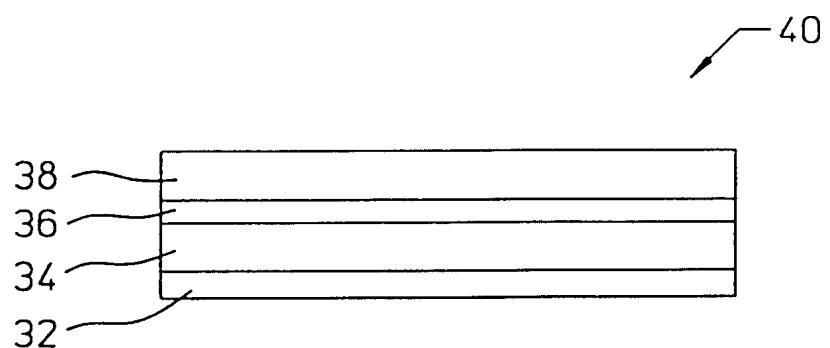


FIG. 4



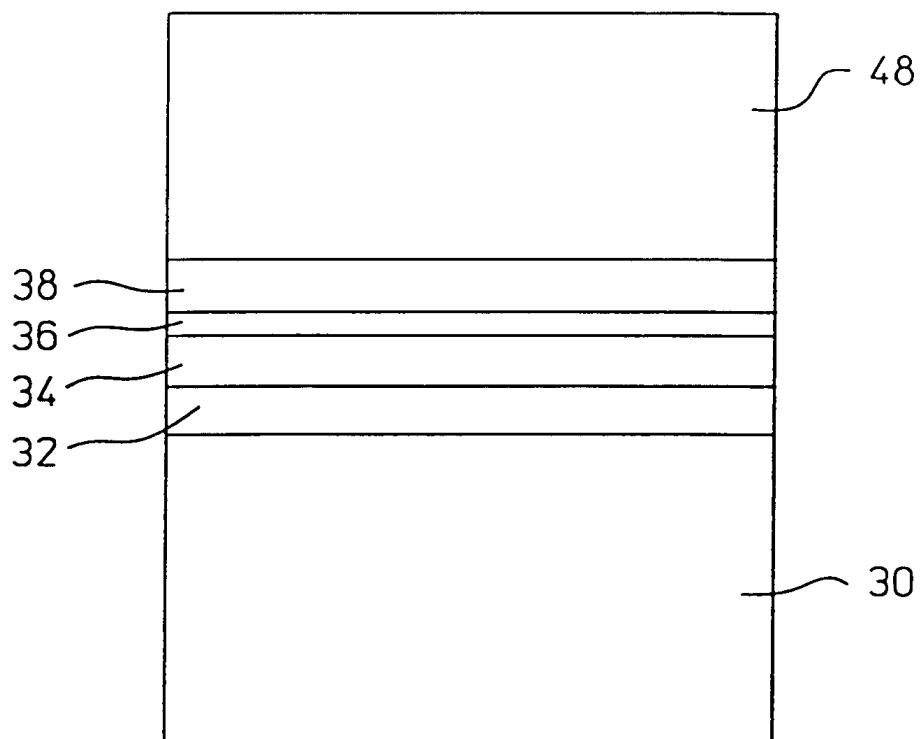


FIG. 8

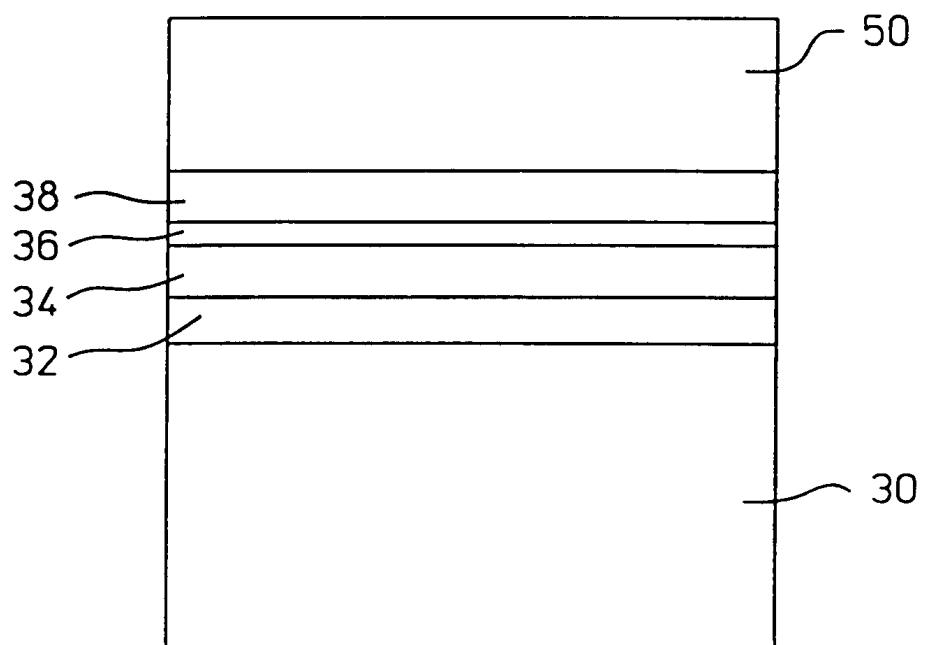


FIG. 9

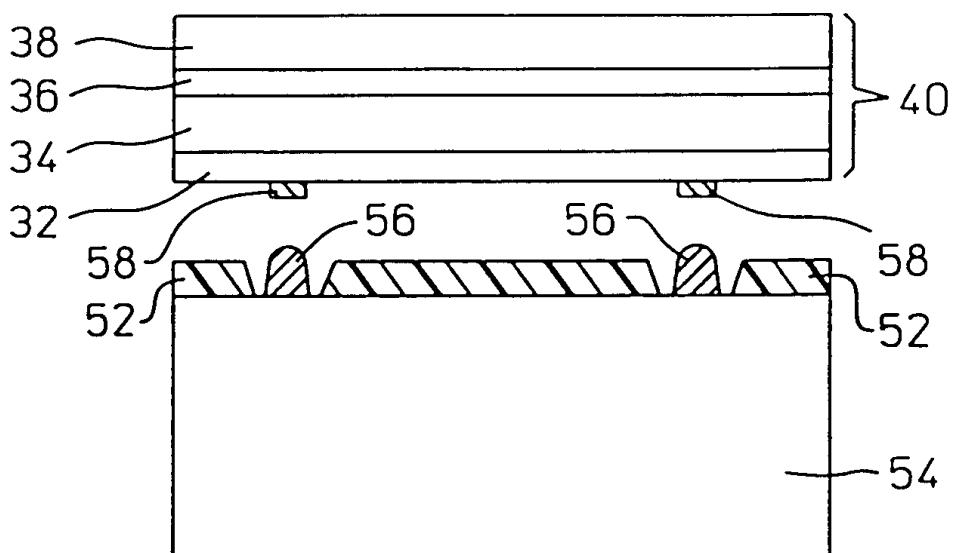


FIG. 10

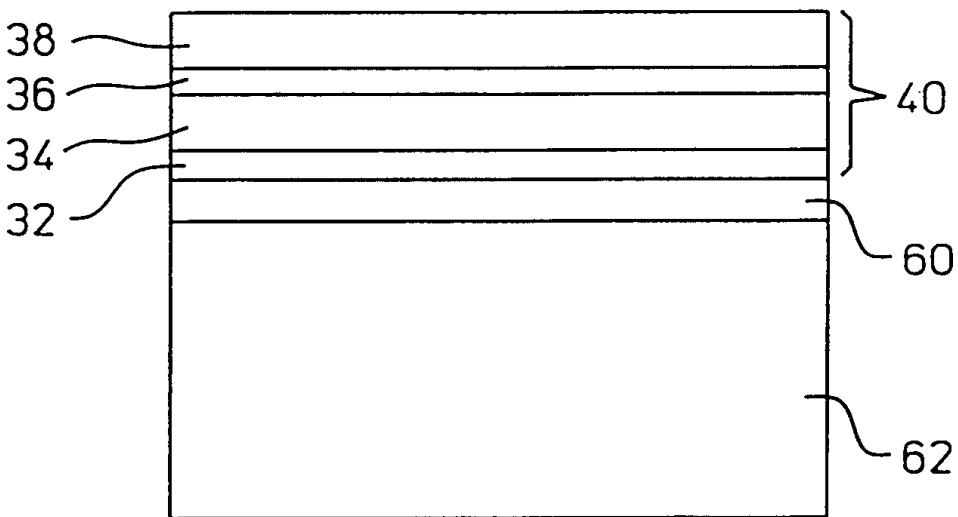


FIG. 11

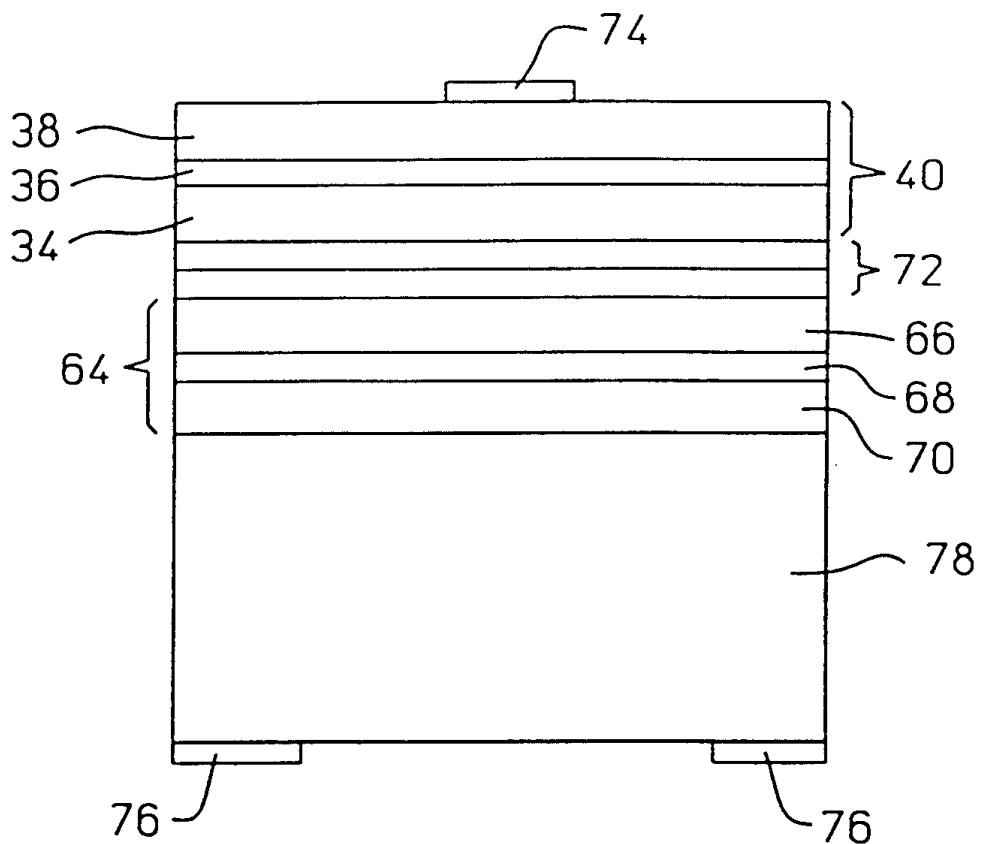


FIG. 12

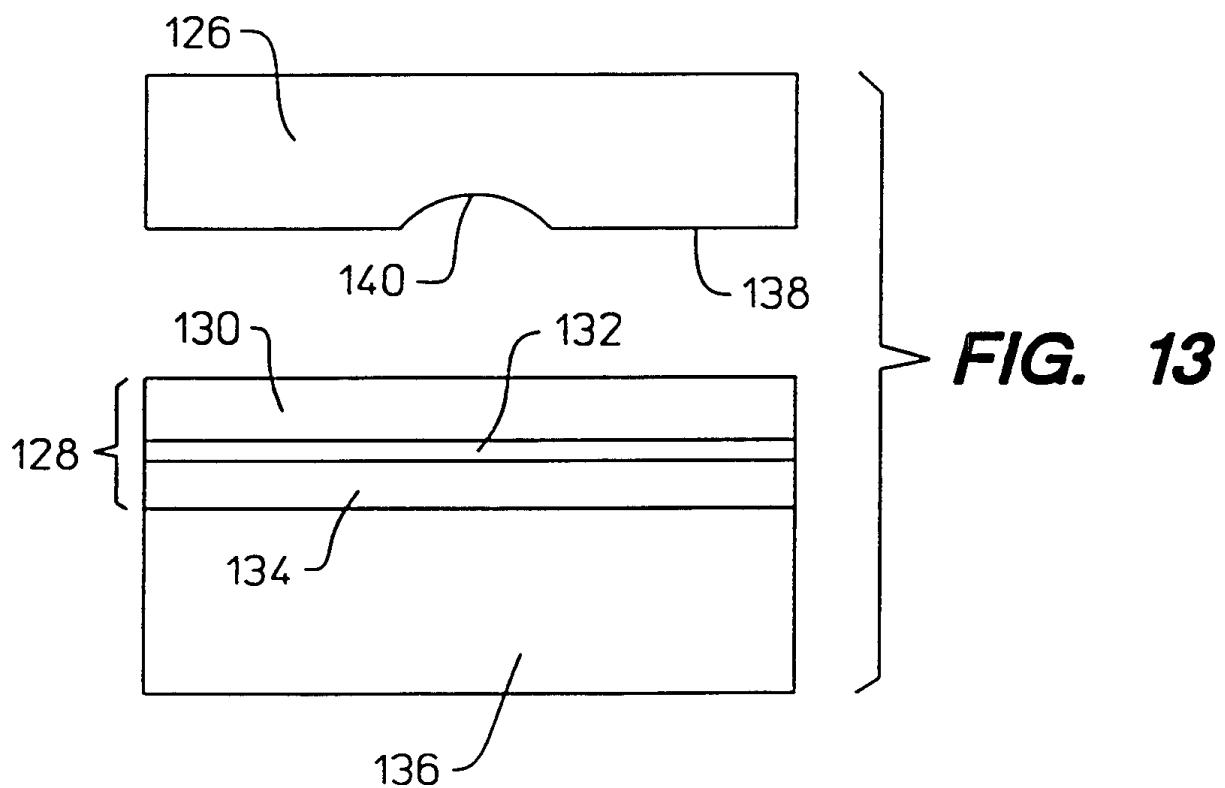


FIG. 13

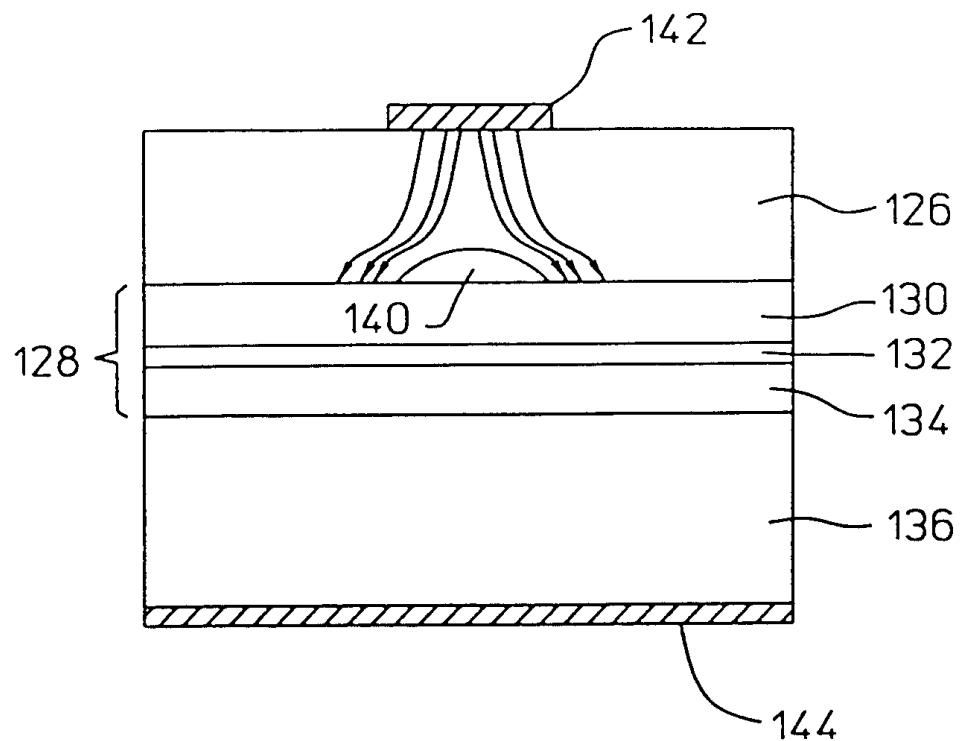


FIG. 14

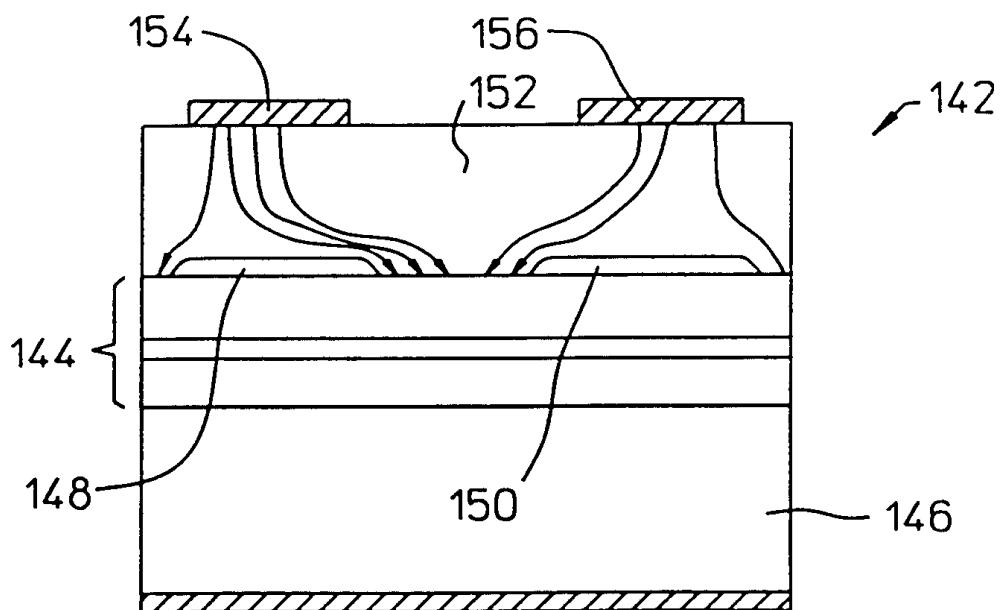


FIG. 15

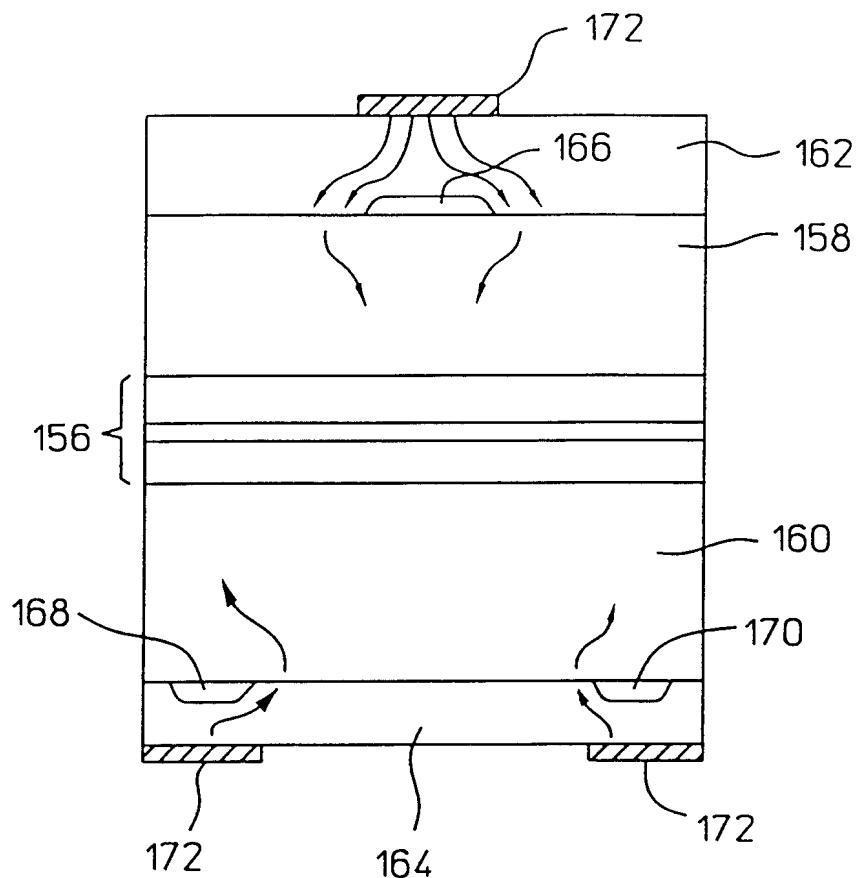


FIG. 16

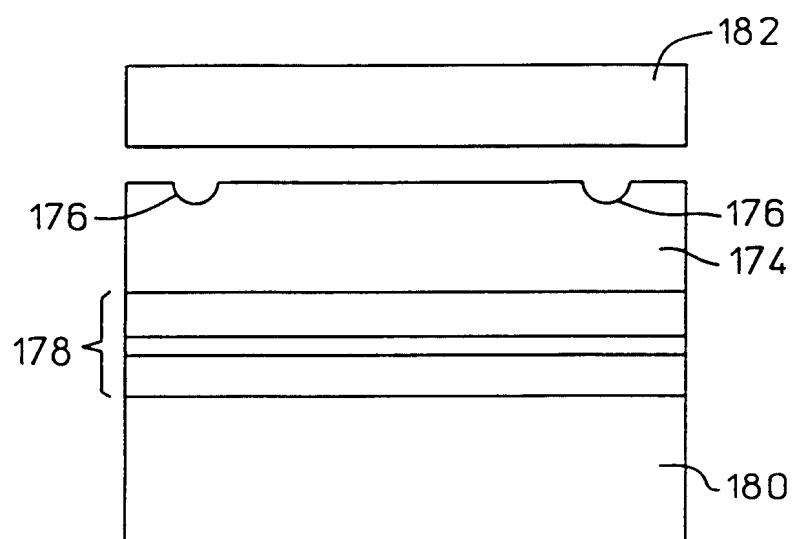
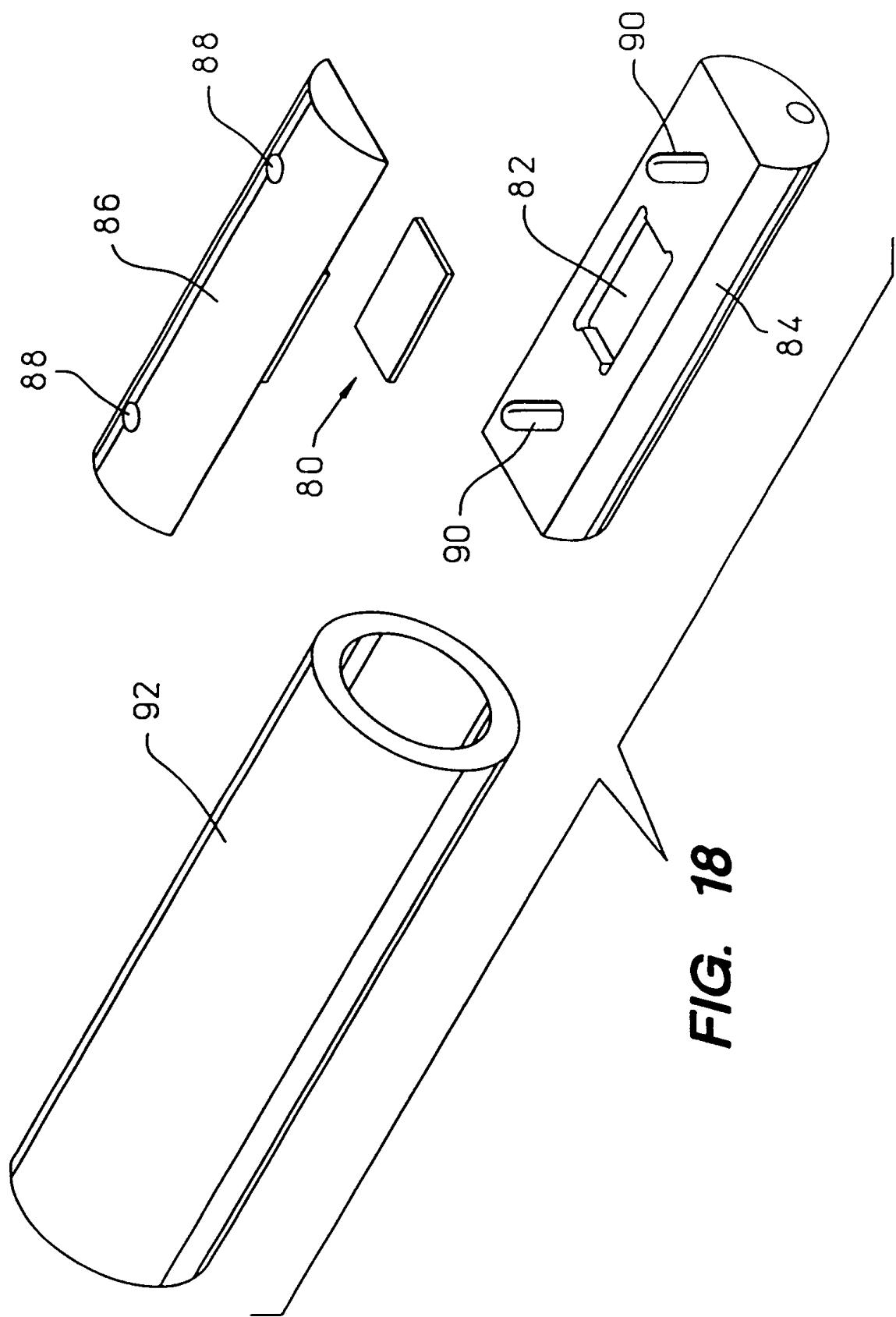
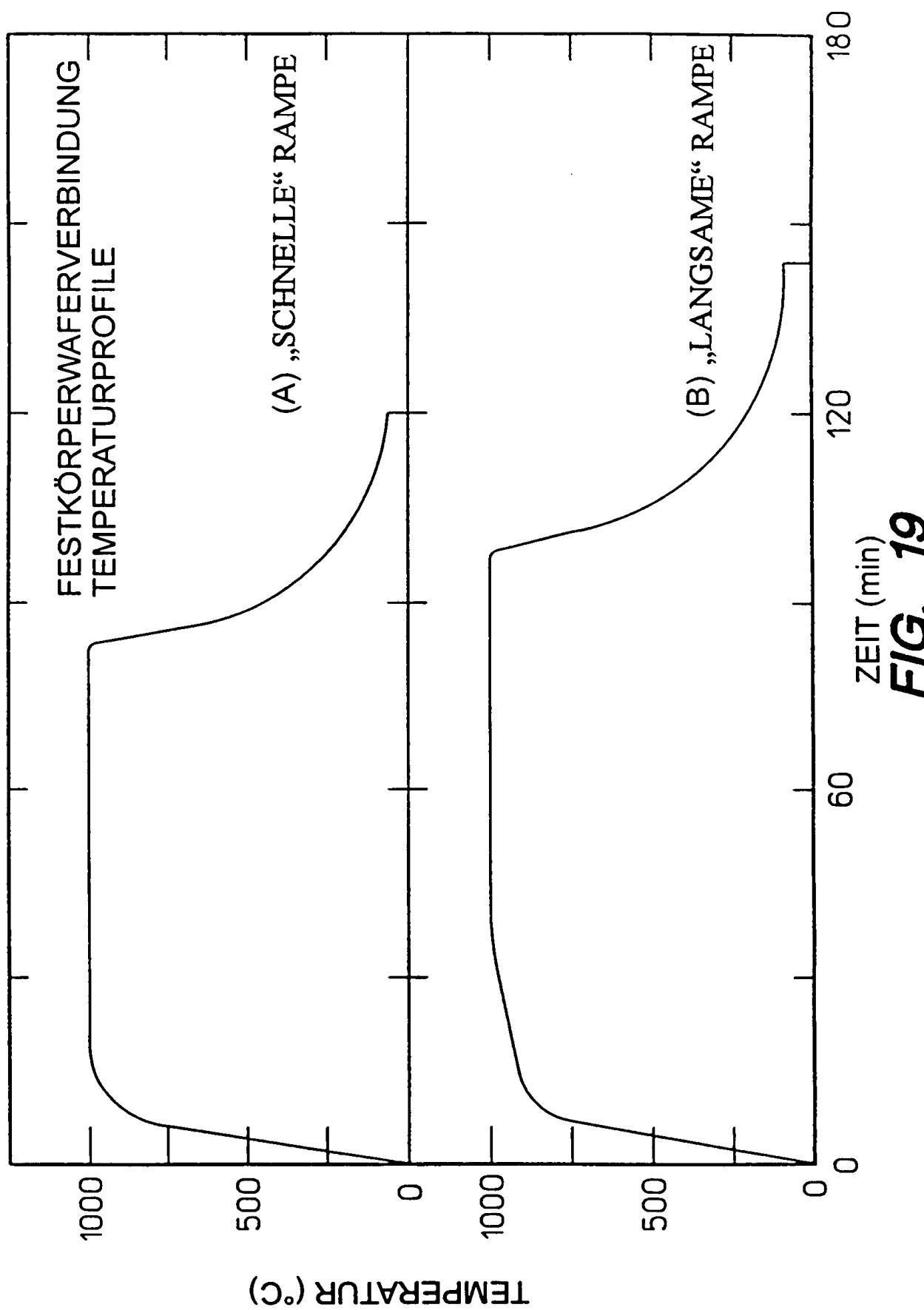


FIG. 17





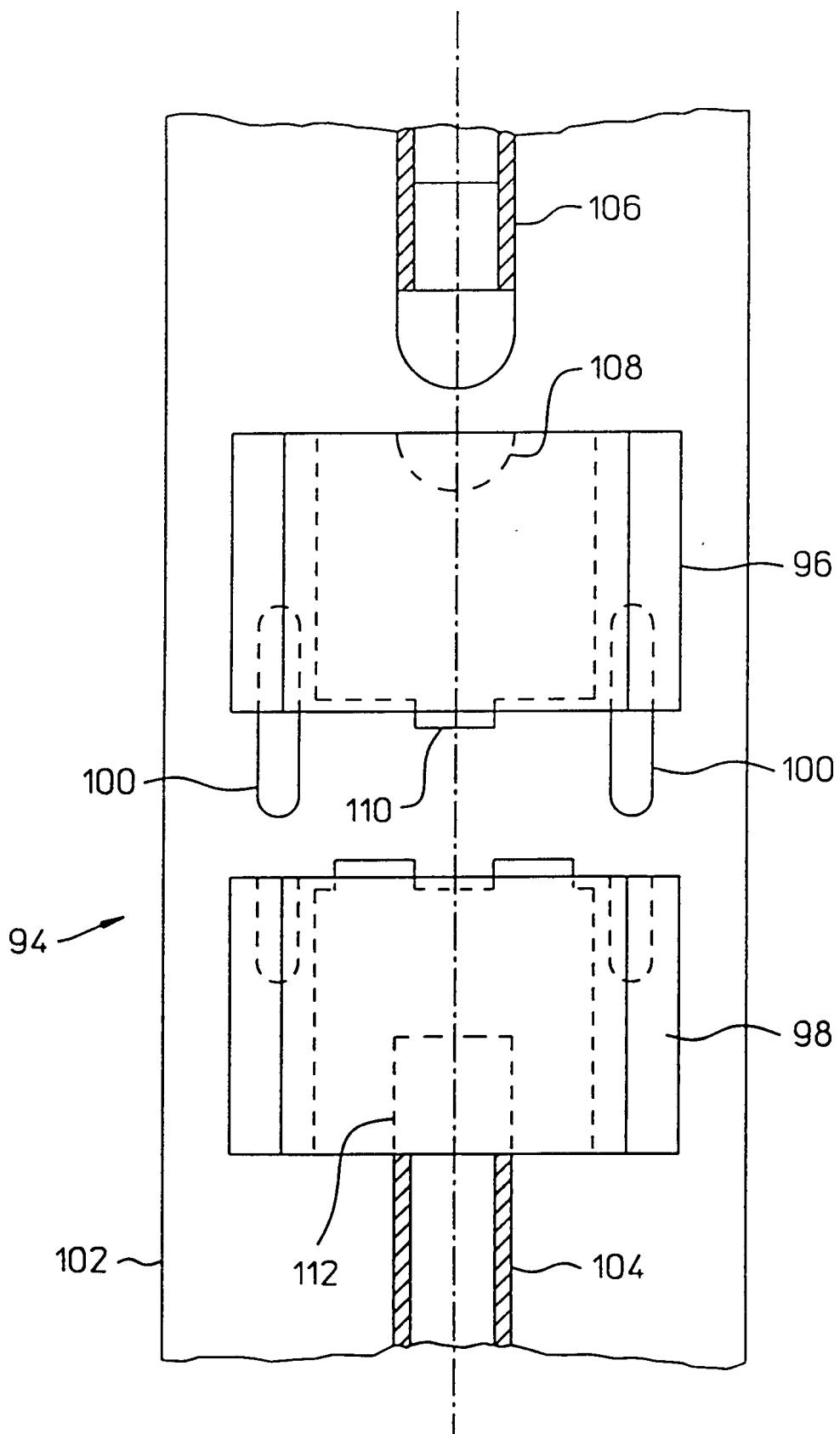


FIG. 20

